



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Angewandte Psychologie

**Situation Awareness von Lokführenden
während sicherheitskritischer Ereignisse im Bahnverkehr**

Bachelor Thesis
2013

Autorin

Nicole Stoller
Fachhochschule Nordwestschweiz Olten

Begleiter

Dr. Bartholomäus Wissmath
scians GmbH

Praxispartner

Jürg Suter
Technische Universität Braunschweig

Situation Awareness von Lokführenden
während sicherheitskritischer Ereignisse im Bahnverkehr

Autorin

Nicole Stoller
nicole_stoller@hotmail.com

Begleiter

Dr. Bartholomäus Wissmath
b.wissmath@scians.ch

Praxispartner

Jürg Suter
j.suter@desm.ch

Zürich, 04.06.2013

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Bachelor Thesis selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benutzung nur der angegebenen Quellen verfasst zu haben.

Zürich, 04. Juni 2013

Nicole Stoller

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Begleiter, Herrn Dr. Bartholomäus Wissmath für die fachkundige Betreuung dieser Bachelor Thesis bedanken. Ein grosser Dank geht ebenfalls an meinen engagierten Auftraggeber, Jürg Suter, an die gesamte Einsatzgruppe während der Experimente, sowie an alle Versuchspersonen. Ohne sie wäre dieses Projekt nicht möglich gewesen.

Weiter bedanke ich mich bei Mitstudierenden und Mitarbeitenden, bei Freundinnen und Freunden, die mir während des Bachelorprojekts in irgendeiner Form hilfreich zur Seite gestanden sind.

Mein besonderer Dank gilt meiner Partnerin und meiner Familie für viel Geduld und Unterstützung.

ABSTRACT

Korrekte Entscheide und sichere Handlungen von Lokführenden basieren auf einer ganzheitlichen Erfassung der Situation sowie deren mentaler Projektion in die unmittelbare Zukunft. Das Modell der *Situation Awareness* bildet diesen aktuellen Wissenszustand zur sicherheitskritischen Sachlage ab und zeigt die wichtigsten beteiligten Faktoren auf. Die vorliegende Arbeit stellt die Rolle der Situation Awareness von Lokführenden in den Fokus und beleuchtet dieses psychologische Konstrukt aus verschiedenen Blickwinkeln. Nach einem ersten Zugang über die Wissenschaftsliteratur und über die Analyse von Unfallberichten werden Experimente mit Lokführenden im Fahrsimulator durchgeführt. Die Messung der Situation Awareness erfolgt dabei über die objektive Performanz einerseits und über eine subjektive Selbsteinschätzung andererseits. Zudem sollen die Experimente den Effekt des Faktors Zeitdruck überprüfen, eines für den Bahnverkehr typischen und in der Theorie oft beschriebenen Stressors in sicherheitskritischen Situationen. Die Resultate der empirischen Untersuchungen weisen darauf hin, dass Zeitdruck die Performanz von Lokführenden bei erhöhter Komplexität während der Simulationsfahrten negativ beeinflusst (104'605 Zeichen inkl. Leerzeichen).

Schlüsselwörter: Situation Awareness, Railway, Human Factors, Situation Awareness Training, Aviation

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
1.	EINLEITUNG	1
1.1	EINFÜHRUNG IN DAS THEMA	1
1.2	AUFTRAGGEBER UND KONTEXT DES BACHELORPROJEKTS	2
1.3	AUFBAU DER BACHELOR THESIS	2
2.	FRAGESTELLUNG	3
2.1	FRAGESTELLUNG	3
2.2	ABGRENZUNG	3
II.	THEORETISCHER HINTERGRUND UND HYPOTHESENBI- L- DUNG	4
3.	THEORETISCHER HINTERGRUND	4
3.1	SITUATION AWARENESS	4
3.1.1	Das Modell der Situation Awareness nach Endsley	4
3.1.2	Fehler und „Dämonen“ der Situation Awareness	6
3.2	MENTALE MODELLE	9
3.2.1	Definitionen	9
3.2.1	Bedeutung der mentalen Modelle	9
3.3	ENTSCHEIDUNG UNTER UNSICHERHEIT	10
3.3.1	Naturalistic Decision Making	10
3.3.2	Recognition-Primed Decision Model	11
3.4	PSYCHISCHE BELASTUNG UND STRESS	12
3.4.1	Belastungs- und Beanspruchungskonzept	12
3.4.2	Stress und Stressauswirkung	13
3.5	MENSCHLICHE FEHLER	14
3.5.1	Fehlerentstehung	14
3.5.2	Fehlerklassifikation	15
4.	HYPOTHESENBI- L- DUNG	16
III.	EMPIRISCHER TEIL A: DOKUMENTENANALYSE VON UNFALLBERICHTEN	17
5.	METHODISCHES VORGEHEN	17
5.1	METHODENWAHL	17
5.2	DATENMATERIAL	17
5.3	STICHPROBE	17
5.4	DURCHFÜHRUNG	18
6.	ERGEBNISSE UND INTERPRETATION	19
IV.	EMPIRISCHER TEIL B: EXPERIMENTE MIT DEM FAHRSIMULATOR	21
7.	METHODISCHES VORGEHEN	21
7.1	EXPERIMENTELLE SZENARIEN	21
7.2	OPERATIONALISIERUNG	21
7.2.1	Situation Awareness	21
7.2.2	Zeitdruck	22
7.3	ERHEBUNGSINSTRUMENTE	22
7.3.1	Performanz	22
7.3.2	Selbsteinschätzung	22
7.4	DESIGN	23
7.5	STICHPROBE	24

7.5.1	Rekrutierung	24
7.5.2	Stichprobenbeschreibung	24
7.6	APPARATE	25
7.7	PROZEDERE	25
7.8	DATENAUFBEREITUNG	26
8.	ERGEBNISSE UND INTERPRETATION	28
8.1	ZUSAMMENHANG PERFORMANZ UND SELBSTEINSCHÄTZUNG	28
8.2	PERFORMANZ	28
8.2.1	SA-Performanz	29
8.2.2	SA-Performanz Stufe 8-11	30
8.3	SELBSTEINSCHÄTZUNG	32
8.4	VERGLEICHE DER SZENARIEN A UND B	34
V.	DISKUSSION, LÖSUNGSANSÄTZE UND FAZIT	35
9.	DISKUSSION	35
9.1	ERGEBNISDISKUSSION	35
9.2	METHODENDISKUSSION	35
9.3	GRENZEN DES BACHELORPROJEKTS UND IDEEN FÜR NACHFOLGEPROJEKTE	36
10.	LÖSUNGSANSÄTZE	37
10.1	AUFGABEN- UND UMGEBUNGSFAKTOREN	37
10.2	INDIVIDUELLE FAKTOREN	38
11.	FAZIT UND AUSBLICK	39
12.	LITERATURVERZEICHNIS	40
13.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	43
14.	TABELLENVERZEICHNIS	44
	ANHANG	

I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

1. EINLEITUNG

1.1 Einführung in das Thema

Das Berufsbild der Lokführenden hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund von technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen stark geändert. Durch kürzere Ausbildungsdauer, hohe Personalfuktuation und rasch wechselnde Routen und Triebfahrzeuge fehlt Lokführenden oft die nötige praktische Erfahrung in sicherheitskritischen Momenten (Wilson & Norris, 2006). Zunehmende Automatisierung und vermehrte Überwachungstätigkeiten erschweren ihnen das Aufrechterhalten von technischem Systemwissen und operationellen Fähigkeiten. Diese Bereiche sind jedoch elementar für das richtige Handeln bei einem ausserordentlichen Ereignis, wie z. B. dem Ausfall eines automatisierten Systems. Der anspruchsvolle Arbeitsalltag von Lokführenden kann zudem durch sehr unterschiedliche und extreme mentale Belastungsformen geprägt sein. Je nach Einsatzgebiet kann die Belastung dabei die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit bei monotonen Fahrten darstellen oder auch die Anforderung, mehrere Aufgaben gleichzeitig auszuführen. Letzteres geschieht dabei häufig unter Zeitdruck oder unter anderen psychischen oder physischen Belastungen wie beispielsweise Kundenerwartungen, Verantwortungsdruck, Hitze oder Lärm. Die Eisenbahnunternehmen mögen angesichts solcher Arbeitsbedingungen die Priorisierung von Sicherheit, Pünktlichkeit, Wirtschaftlichkeit und Kundenorientierung zwar vorgeben, die entsprechende praktische Umsetzung dieser oft konkurrierenden Ziele jedoch stellt Lokführende im Alltag vor schwierige Entscheidungen.

In einem technisch dominierten, komplexen Bahnsystem ist der Mensch daher von grosser Wichtigkeit für die Sicherheit. Die menschlichen Faktoren sollten dabei nicht erst im Anschluss an einen fatalen Unfall Beachtung finden, sondern bereits bei der Aus- und Weiterbildung, sowie bei der Arbeitsgestaltung und -organisation thematisiert und sinnvoll eingesetzt werden. Dies kann dazu beitragen, unsichere Handlungen im Bahnverkehr zu minimieren und somit proaktiv Unfälle zu verhindern.

Ein möglicher Ansatzpunkt für die Verbesserung der Sicherheit im Bahnverkehr bietet das Situationsbewusstsein, häufiger verwendet unter dem englischen Begriff der *Situation Awareness*. Korrekte Handlungsentscheide in sicherheitskritischen Momenten hängen stark von der ganzheitlichen Erfassung der Situation und der aktuellen Aufgabe ab. Situation Awareness bildet diesen aktuellen Wissenszustand zur sicherheitskritischen Sachlage ab und zeigt uns die wichtigsten beteiligten Faktoren auf. Nach dem Modell von Endsley (1995a) wird die Situation Awareness dabei in drei Ebenen unterteilt und beschrieben als die Wahrnehmung der Situationselemente innerhalb von Zeit und Raum (Ebene 1), das Verständnis dieser Information (Ebene 2), sowie die Vorhersage der Situation für die unmittelbare Zukunft (Ebene 3).

Die Relevanz der Situation Awareness ist in der Aviatik bereits seit vielen Jahren bekannt und findet Beachtung in Ausbildungen und Trainings wie auch in der wissenschaftlichen Forschung. Im Vergleich dazu gehörte der Bahnverkehr in Bezug auf Situation Awareness lange Zeit zur „vergessenen Branche“ (Wilson & Norris, 2006, S. 4), wodurch auch der Begriff selber unter Lokführenden praktisch unbekannt geblieben ist.

Die Situation Awareness von Lokführenden steht daher im Zentrum dieser Bachelor Thesis. Diese beleuchtet das Konstrukt der Situation Awareness aus verschiedenen Perspektiven und eruiert Faktoren, welche sicherheitsrelevantes Handeln beeinflussen. Dabei stützt sich die Arbeit in einem ersten Teil auf die aktuelle Wissenschaftsliteratur sowie auf Fallstudien öffentlicher Unfallberichte. In einem zweiten Teil wird versucht, die Situation Awareness von Lokführenden anhand von experimentellen Tests im Lok-Simulator und anhand von Befragungen zu erfassen, gleichzeitig werden deren Beeinflussbarkeit durch erschwerte Bedingungen untersucht.

1.2 Auftraggeber und Kontext des Bachelorprojekts

Dieses Bachelorprojekt ist eingebettet in ein übergeordnetes Projekt, welches der Auftraggeber als Promotionsstudent am Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig in Deutschland durchführt. Unter dem Titel *Dynamisches Eisenbahn System Modell DESM* (Suter, 2013) wird dabei die Modellierung eines Eisenbahnsystems in Zeit und Raum angestrebt. Das berufliche Engagement des Auftraggebers als ehemaliger Zugverkehrsleiter und aktueller wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Sicherheit im Bundesamt für Verkehr ermöglichte eine gute Projektvorbereitung durch sicherheitsbezogene Fachdiskussionen mit dem Auftraggeber selber wie auch mit weiteren Expertinnen und Experten. Die Gelegenheit, Lokführende während der Arbeit zu begleiten, lieferte einen zusätzlichen, wertvollen Beitrag dafür, die Bedeutung von Situation Awareness für den praktischen Arbeitsalltag im Bahnverkehr zu verstehen.

Ziel des Auftraggebers für die vorliegende Bachelorarbeit war die Untersuchung psychologischer Aspekte der Arbeitsbedingungen von Lokführenden, um einen möglichen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit im Bahnverkehr zu leisten. Ein weiteres Ziel war die Durchführung von Experimenten im Fahrsimulator, wodurch gleichzeitig auch für das Promotionsprojekt wertvolle Daten erhoben werden konnten.

1.3 Aufbau der Bachelor Thesis

Die Bachelor Thesis, welche die Situation Awareness von Lokführenden beleuchtet, ist in fünf Hauptteile gegliedert, deren Inhalte nachfolgend erläutert werden. Hauptteil I führt in das Thema ein und beschreibt die Herleitung der Fragestellung des Bachelorprojekts. Im Hauptteil II werden der theoretische Hintergrund und die darauf basierenden Hypothesen erläutert. Der Hauptteil III entspricht dem empirischen Teil A, der die Durchführung einer Dokumentenanalyse von Unfallberichten beschreibt. Der Hauptteil IV entspricht dem empirischen Teil B, welcher die Durchführung der Experimente mit dem Fahrsimulator beschreibt. Bei beiden empirischen Teilen folgen zur besseren Lesbarkeit jeweils Methodik, Ergebnisse und Interpretation direkt aufeinander. Der Hauptteil V umfasst das Vorangegangene mit einer Diskussion, zeigt Lösungsansätze auf und schließt die Arbeit mit einem Fazit ab.

Für den nachfolgenden Bericht werden, wo immer möglich, geschlechtsneutrale Formulierungen verwendet. Wo dies die Lesbarkeit behindern würde, wird jeweils entweder die männliche oder die weibliche Form verwendet.

2. FRAGESTELLUNG

2.1 Fragestellung

Die vorliegende Bachelor Thesis setzt sich mit der folgenden, offen formulierten Kernfrage auseinander:

Welche Rolle spielt die Situation Awareness von Lokführenden während sicherheitskritischer Ereignisse?

Um die Fragestellung beantworten zu können, wird das psychologische Konstrukt der Situation Awareness von verschiedenen Seiten beleuchtet. Die erste Sichtweise beschreibt die Situation Awareness sowie beeinflussende Faktoren und angrenzende Modelle anhand der Wissenschaftsliteratur. Die zweite Sichtweise erfolgt mittels einer Analyse von Unfallberichten aus dem Bahnverkehr, wodurch Faktoren aus realen, sicherheitskritischen Ereignissen der letzten Jahre aufgezeigt werden können. Die dritte Sichtweise untersucht die Situation Awareness von Lokführenden unter experimentellen Bedingungen im Fahrsimulator (Abbildung 1).

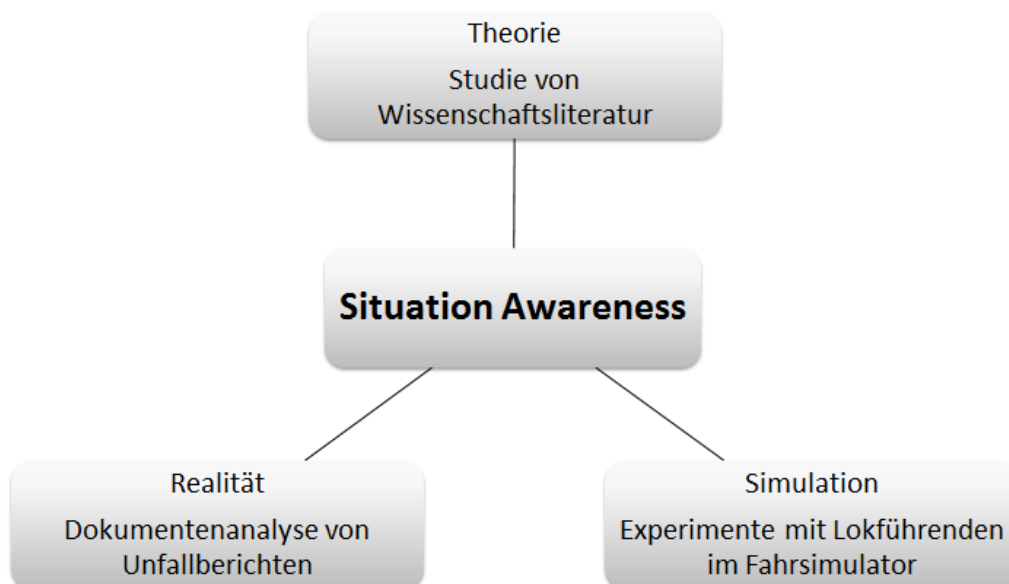


Abbildung 1. Situation Awareness im Fokus dreier Sichtweisen

2.2 Abgrenzung

Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, beleuchtet diese Arbeit die Situation Awareness von Lokführenden. Obwohl auch die Zusammenarbeit zwischen Lokführenden und Zugverkehrsleitenden oder anderen Berufsgruppen im Bahnverkehr in Bezug auf Situation Awareness oder gemeinsame mentale Modelle von großer Wichtigkeit ist, kann im Rahmen dieser Bachelor Thesis darauf nicht eingegangen werden.

II. THEORETISCHER HINTERGRUND UND HYPOTHESENBILDUNG

3. THEORETISCHER HINTERGRUND

In diesem Kapitel werden einige für diese Arbeit relevante psychologische Modelle und Theorien vorgestellt. Entsprechend der Fragestellung liegt der Schwerpunkt dabei auf der Situation Awareness. Weitere wichtige Themen sind die mentalen Modelle, Entscheidung unter Unsicherheit, psychische Belastung und Stress sowie menschliche Fehler.

3.1 Situation Awareness

Die Situation Awareness, auf Deutsch Situationsbewusstsein, gilt als wesentlicher Vorläufer von Entscheidungen und Handlungen und hat besonders in den Bereichen Aviatik und Militär einen wichtigen Stellenwert erhalten. Der Begriff findet seinen Ursprung in der strategischen Kriegsführung, wo er zur Beschreibung des spezifischen Denkens und Handelns US-amerikanischer Militärpiloten bei Kampfeinsätzen im Korea- und Vietnamkrieg gebraucht wurde. Es wurde angenommen, dass eine dem Feind überlegene Situation Awareness dem Piloten ermöglichte, die Entscheidungen und nächsten Schritte des Gegners vorherzusehen (Watts, 1996, zitiert nach Schaub, 2008). Seit den 90-er Jahren gehört die Situation Awareness zum festen Bestandteil der Human Factors Terminologie und wird wissenschaftlich oft beschrieben und viel diskutiert. Einfachheit halber und analog zur Verwendung in der Literatur wird Situation Awareness in der Folge häufig mit SA abgekürzt.

3.1.1 Das Modell der Situation Awareness nach Endsley

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf das wohl bekannteste SA-Modell von Mica R. Endsley (1995a), einer amerikanischen Systemingenieurin, welche zu diesem Thema zahlreiche Bücher geschrieben und Artikel publiziert hat. Endsley (1995a) definiert die Situation Awareness als „the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future“ (S. 36). SA bedeutet somit:

1. die **Wahrnehmung** der Situationselemente innerhalb von Zeit und Raum,
2. das **Verständnis** dieser Information und
3. die **Vorhersage** der Situation in die unmittelbare Zukunft.

Das Modell der SA beschreibt einen ständig zu aktualisierenden Wissensstand der Umgebung in Bezug auf eine bestimmte Aufgabe, die in der Regel im Rahmen einer Mensch-Technik-Interaktion zu lösen ist. Wie in der Abbildung 2 ersichtlich ist, stehen bei dem Modell die drei Ebenen, bzw. die kognitiven Funktionen Wahrnehmung, Verständnis und Vorhersage der operierenden Person im Mittelpunkt. Beeinflusst werden diese drei Ebenen einerseits von Umgebungsfaktoren wie z.B. Arbeitsbelastung oder Displaydesign und andererseits von individuellen Faktoren wie z.B. Erfahrung oder Gedächtnis. Durch diese Interaktion zwischen Mensch und Umgebung wird also die SA gebildet und somit die darauffolgende Entscheidung und Handlungsausführung stark geprägt.

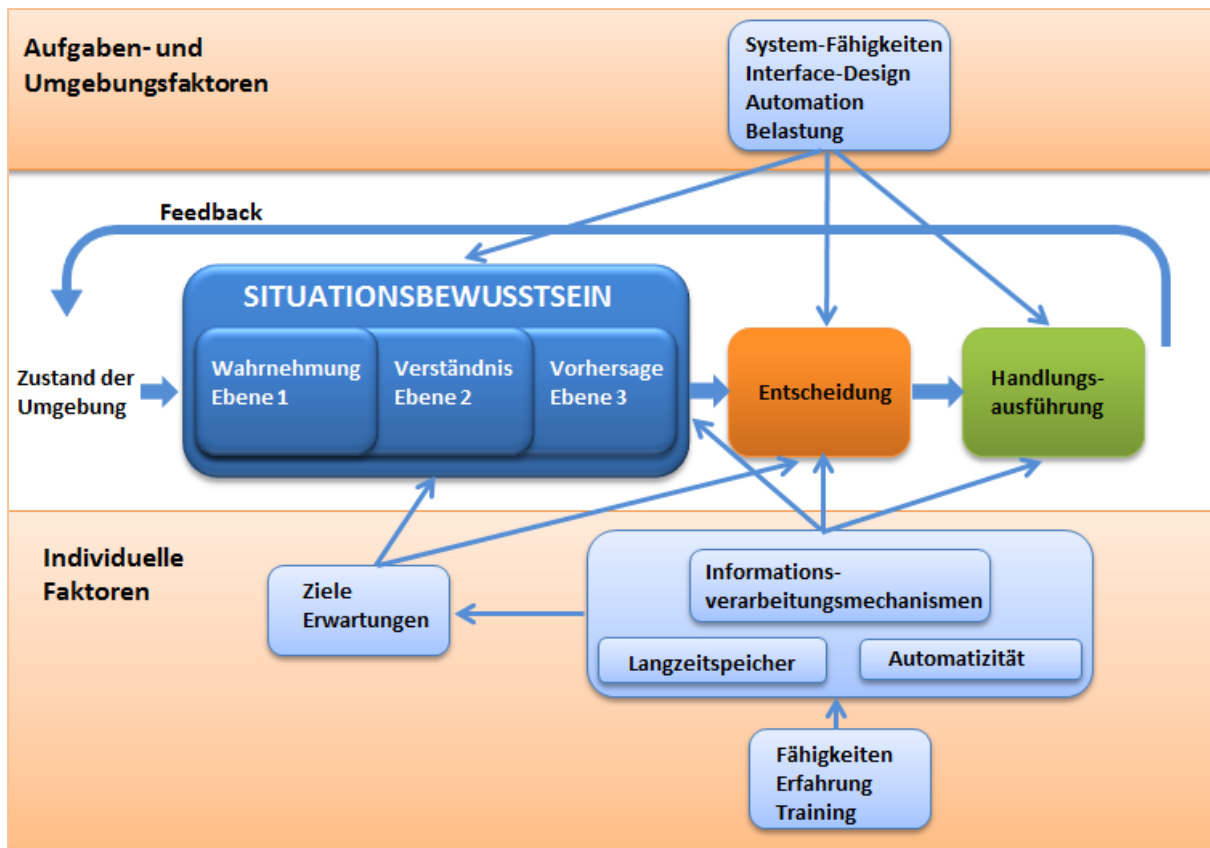


Abbildung 2. Das Modell des Situationsbewusstseins in dynamischen Systemen nach Endsley (übernommen von Fischer, Gasser & Höniger, 2010)

Endsley (1995a) weist darauf hin, dass das Konstrukt der SA, trotz enger Verbindungen, separat von Entscheidung und Handlung betrachtet werden muss. Lokführende können in bestimmten Situationen trotz unvollständiger SA die korrekte Handlung auswählen und ausführen. Gleichzeitig können Lokführende trotz adäquater und vollständiger SA die falsche Entscheidung fällen oder unkorrekte Handlungen ausführen aufgrund fehlender Erfahrung oder mangelnder Fähigkeiten. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass eine vollständige SA die Wahrscheinlichkeit von richtiger Entscheidung und guter Performanz im dynamischen System erhöht, diese jedoch nicht garantiert (Endsley, 1995a). Weiter wird betont, dass auch andere Faktoren wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis oder Stress die SA zwar beeinflussen, aber als gesonderte Konstrukte betrachtet werden müssen. Ein Einschluss dieser Faktoren in die Definition der Situation Awareness würde der unabhängigen und interaktiven Natur all dieser Faktoren nicht gerecht werden (Endsley, 1995a).

Nachfolgend werden die drei Ebenen der SA genauer beschrieben und anhand von Beispielen in den Kontext von Lokführenden gesetzt:

Ebene 1. Relevante Situationselemente werden über die Sinnesorgane wahrgenommen. Ebene 1 gilt als Basis für die Erreichung der nächsten Ebenen. Für Lokführende sind dies Elemente wie beispielsweise Geschwindigkeit des Zugs, Displayanzeigen, Geräusche des Triebwerks, Signallichter, Wetterlage, usw. (Schaub, 2008).

Ebene 2. Die wahrgenommenen Elemente werden erfasst und verstanden. Sie können zu einem Gesamtbild oder einem Muster der aktuellen Situation zusammengefügt werden. Aus diesem Muster oder auch mentalen Modell wird nun die Bedeutung der

Gesamtheit der Elemente und somit der Situation erkannt (Schaub, 2008). Der Lokführer sieht nicht nur das rote Licht, sondern erkennt es z.B. als Alarmanzeige für ein ausgefallenes Gerät.

Ebene 3. Der zukünftige Zustand der Situation wird vorhergesagt. Die dritte Ebene basiert auf dem in der zweiten Ebene erreichten Verständnis der Elemente. Voraussetzung für diese Projektion ist ein entsprechendes Systemwissen und gut entwickelte mentale Modelle der Aufgabe und des zu lösenden technischen Problems (Endsley, Bolté & Jones, 2003). Lokführende können durch dieses antizipierende Verhalten z. B. berechnen, wann der hinterste Wagen die Kurve hinter sich lässt und somit wieder beschleunigt werden kann.

3.1.2 Fehler und „Dämonen“ der Situation Awareness

Das Situationsbewusstsein ist in der Regel durch die Kapazität der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses einer Person limitiert. Aufmerksamkeit, Wahrnehmung sowie Interpretation der Umgebungselemente werden dabei von vorherrschenden Zielen und Erwartungen gelenkt (Endsley, 1995a). Diese Limitierung und Lenkung kann bei der Erfüllung einer Aufgabe zu Problemen führen und Fehler verursachen. Die häufig auftretenden SA-Fehler sowie deren Ursachen zu erkennen, kann helfen, geeignete Methoden zur Verbesserung von SA zu finden. Bei einer Studie in der Aviatik haben Jones & Endsley (1996) Unfallberichte aus dem NASA's Aviation Safety Reporting System analysiert und die jeweiligen Unfallursachen einer von Endsley (1995a) aufgestellten Taxonomie von SA-Fehlern zugeordnet. Ein SA-Fehler wird beschrieben als Unvermögen, die notwendige Ebene 1 bzw. 2 oder 3 zu erlangen. Interessant waren bei dieser Analyse nicht nur die neu gebildeten Kategorien pro Ebene, sondern insbesondere auch die prozentuale Verteilung der Fehler zu den drei SA-Ebenen. Abbildung 3 zeigt einen Auszug dieser Studienergebnisse. Eine deutsche Übersetzung der detaillierten Taxonomietabelle ist im Anhang A einzusehen.

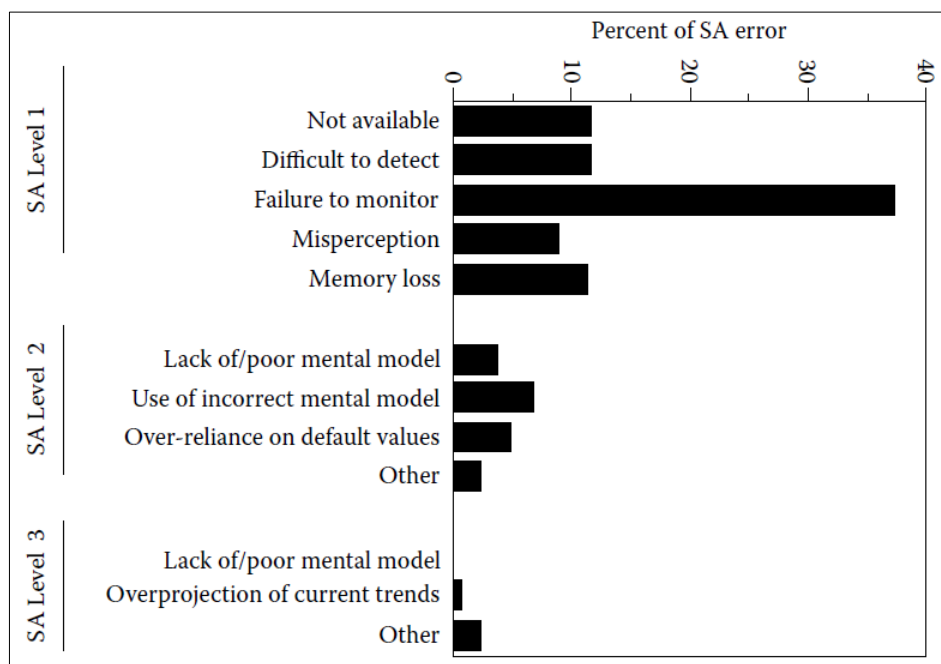


Abbildung 3. Ursachen von SA-Fehlern (Jones & Endsley, 1996)

Die Abbildung zeigt, dass mehr als Dreiviertel der SA-Fehler der Ebene 1 zugeschrieben werden. Innerhalb der Ebene 1 fällt der hohe Prozentsatz der SA-Fehler bei *failure*

to monitor auf, was etwa mit *Nicht beobachtete Information* übersetzt werden kann. Mögliche Ursachen sehen Jones & Endsley (1996) hier in reduzierter Aufmerksamkeit durch Ablenkung, erhöhte Arbeitsbelastung und weitere die Wahrnehmung reduzierende Faktoren.

Diese Fehlerursachen, welche die Bildung und Aufrechterhaltung einer adäquaten Situation Awareness erschweren oder verhindern, werden später von Endsley et al. (2003) als sogenannte *SA-Dämonen* beschrieben. Vier dieser SA-Dämonen werden in der Folge erläutert:

Tunnelblick. Zur Aufrechterhaltung einer adäquaten SA müssen ständig verschiedene Aspekte der komplexen Umgebung beachtet und in das aktuelle Bild integriert werden. So müssen Lokführende ständig wissen, wo sich ihr Zug befindet, wie schnell er fährt, welche Signale für sie relevant sind usw. Da diese Informationen meist nicht alle simultan aufgenommen werden können, werden häufig sogenannte Scans angewendet, wodurch alle paar Sekunden oder Minuten die wichtigsten Hinweise erfahren werden können. Dies erfordert die Fähigkeit eines raschen Wechsels der Aufmerksamkeit von einer Informationsquelle zur anderen (Endsley, 1995a, Endsley et al., 2003).

In begrenztem Masse können wir unsere Aufmerksamkeit mehreren Quellen gleichzeitig zuwenden. Gelingt uns diese sogenannte geteilte Aufmerksamkeit jedoch nicht, kann das Phänomen des Tunnelblicks auftreten (Baddley, 2012). Beim Tunnelblick wird die Aufmerksamkeit nur auf die vermeintlich wichtigste Informationsquelle gelegt, während die anderen Hinweise vernachlässigt werden (Abbildung 4). Leider sind es oft genau diese vernachlässigten Hinweise, welche zu einer unvollständigen SA und somit zu einem Fehler führen können (Endsley et al., 2003). Dies geschah auch dem Lokführer im analysierten Unfallbericht Nr. 18 (Anhang B), dessen Aufmerksamkeit hauptsächlich auf den Defekt des Fahrgastinformationssystems gerichtet war, so dass er ein Halt zeigendes Signal übersah.

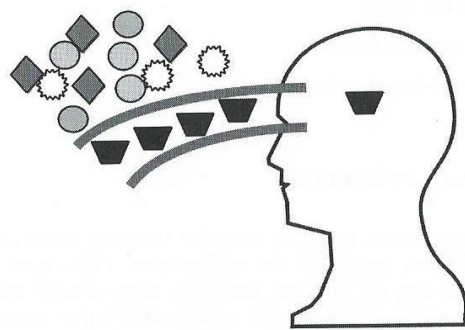


Abbildung 4. Tunnelblick (Endsley et al., 2003)

SA-Stressoren. In vielen Arbeitsbereichen wird SA stark beeinflusst von äußeren und inneren Stressoren. Diese können psychischer, physischer oder organisationaler Natur sein, wie z. B. Zeitdruck, mentale Arbeitsbelastung, unklare Ziele, rasch wechselnde Bedingungen oder Kälte. Jeder dieser Faktoren kann die Bildung des Situationsbewusstseins erschweren. Einerseits wird durch die Stressoren ein Teil der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses besetzt, andererseits werden wir unter Einfluss von derartigen Stressoren in der Regel desorganisiert beim Scannen der Information, neigen zum eben beschriebenen Tunnelblick oder zu voreiligen Entscheidungen (Endsley et al., 2003; Semmer, 2003) (Abbildung 5).

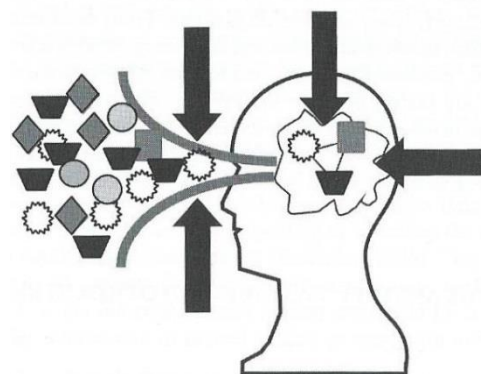


Abbildung 5. SA-Stressoren (Endsley et al., 2003)

Out-of-the-loop Syndrom. Die Ursache dieses von Endsley et al. (2003) als SA-Dämon beschriebenen Phänomens liegt in der Automatisierung. Während uns automatische Abläufe von Arbeitsschritten zwar in vielen Fällen helfen, übermäßige Arbeitsbelastung zu reduzieren, kann diese Automatisierung in anderen Fällen verhindern, eine korrekte SA aufzubauen und so zu schwerwiegenden Fehlern führen. Von „Out-of-the-loop“ wird gesprochen, da wir uns außerhalb des üblichen Regelkreises mit aktiver Teilnahme befinden. Als passive Überwachende in einem automatisierten System, neigen wir zu sogenannter Self-Complacency, also einer Form von Unbekümmertheit oder Selbstzufriedenheit aufgrund von Kontrollübergabe an das automatische System, was in der Regel zu einer herabgesetzten Vigilanz (Wachsamkeit) führt (Endsley et al., 2003) (Abbildung 6). Als Beispiel im Bahnverkehr ist hier das ETCS (European Train Control System) zu nennen, ein komplexes Zugsicherungssystem, welches verschiedene Faktoren überwacht und die Aussensignalisierung praktisch hinfällig macht. Falls jedoch dieses System aufgrund eines Defekts oder auch nur eines Moduswechsels nicht mehr automatisch funktioniert, muss die operierende Person diesen Moduswechsel erstens bemerken, und zweitens fähig sein, das Problem dahinter zu erkennen und die Aufgabe manuell durchzuführen. Dies ist oft schwierig und dauert relativ lange, fehlt hier doch nicht nur Systemwissen bezüglich der automatisierten Technik, sondern auch die Fertigkeit der manuellen Übernahme aufgrund mangelnden Trainings (Endsley et al., 2003).

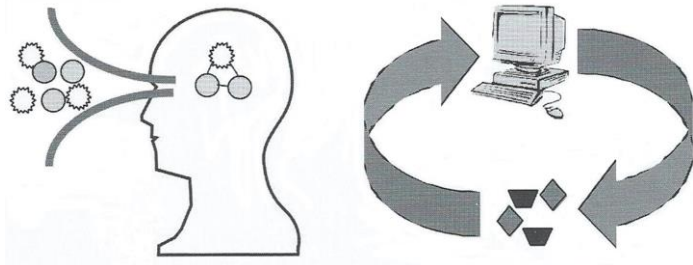


Abbildung 6. Out-of-the-loop Syndrom (Endsley et al., 2003)

verschiedene Faktoren überwacht und die Aussensignalisierung praktisch hinfällig macht. Falls jedoch dieses System aufgrund eines Defekts oder auch nur eines Moduswechsels nicht mehr automatisch funktioniert, muss die operierende Person diesen Moduswechsel erstens bemerken, und zweitens fähig sein, das Problem dahinter zu erkennen und die Aufgabe manuell durchzuführen. Dies ist oft schwierig und dauert relativ lange, fehlt hier doch nicht nur Systemwissen bezüglich der automatisierten Technik, sondern auch die Fertigkeit der manuellen Übernahme aufgrund mangelnden Trainings (Endsley et al., 2003).

Gedächtnisfalle. Beim Entwickeln der SA speichern wir Eigenschaften der aktuellen Situation vorübergehend in unserem Arbeitsgedächtnis, wo die aufgenommenen Informationsteile bearbeitet und zu einem Ganzen zusammengeführt werden. Die Bildung einer adäquaten SA ist somit in hohem Masse abhängig von einem Arbeitsgedächtnis, dessen Speicherkapazität jedoch begrenzt ist. SA-Fehler gründen oft auf dieser Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses oder auf dem natürlichen Zerfall von Information (Abbildung 7). Dies geschieht beispielsweise, wenn Lokführende auditive Instruktionen erhalten, diese im Arbeitsgedächtnis speichern müssen, um sie in aktuelle Information aus Displayanzeigen oder Umweltfaktoren zu integrieren. Da Information nach 20-30 Sekunden im Arbeitsgedächtnis zerfällt, müssen andere Strategien zur Erinnerung entwickelt werden. Dabei können organisatorische wie technische Anpassungen den Lokführenden entgegenkommen (Endsley et al., 2003).

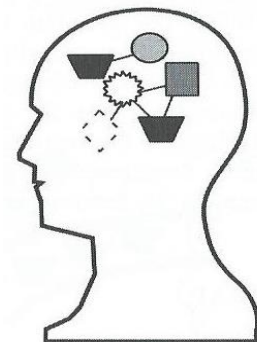


Abbildung 7. Gedächtnisfalle (Endsley et al., 2003)

Um trotzdem größere Informationsmengen speichern zu können, bilden wir sogenannte *Chunks* (engl. für *Haufen*). Dabei führen wir einzelne Elemente zu einem Ganzen zusammen. Lokführende müssen nicht jedes einzelne Licht eines Signals lesen, sondern kennen die Gesamtbedeutung dieser Lichtkombination. Sie haben einen Chunk gebildet. Es hat sich gezeigt, dass Expertise maßgeblich als Fähigkeit zur Bildung sehr großer Chunks charakterisiert werden kann (Endsley et al., 2003).

3.2 Mentale Modelle

Im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis sind der Speicherkapazität des Langzeitgedächtnisses praktisch keine Grenzen gesetzt. Große Wissenseinheiten im Langzeitgedächtnis werden dabei als *mentale Modelle* bezeichnet. Mentale Modelle helfen uns, die Umgebung zu verstehen und unsere Handlungen zu antizipieren (Endsley et al., 2003).

3.2.1 Definitionen

Der Begriff des mentalen Modells hat eine lange Geschichte und wird von zahlreichen Autoren, und je nach akademischer Disziplin, unterschiedlich beschrieben. Nach Endsley et al. (2003) ist ein mentales Modell „a systematic understanding of how something works“ (S. 22). Hacker (1998) umschreibt die mentalen Modelle als eine Art „innerer Modelle der Umwelt und des eigenen Handelns, welche notwendige Handlungsfolgen und damit künftige Umweltsituationen einschliessen“ (S. 187). Die Definition von Trimmel (2011) scheint für das Thema der Sicherheit im Bahnverkehr besonders geeignet, verbindet sie doch den Begriff des mentalen Modells hauptsächlich mit komplexen (Mensch-Maschine-) Interaktionen. Er beschreibt die mentalen Modelle als „subjektive Funktionsmodelle für technische, physikalische oder soziale Prozesse sowie für komplexe Gegebenheiten“ (S. 113).

Das sogenannte *Schema* steht dem Begriff des mentalen Modells sehr nahe. Es ist eine Art kognitiver Struktur, mit der unsere Erfahrungen im Langzeitgedächtnis eingeordnet und erklärt werden. Ein Schema kann auch beschrieben werden als vereinfachte Form eines mentalen Modells für ein bestimmtes System (Endsley, 1995a).

▪ Bedeutung der mentalen Modelle

Mentale Modelle vereinfachen die Komplexität unserer Umwelt und dienen dem Verstehen von Situationen und der Planung sowie Steuerung von Handlungen (Trimmel, 2011). Als wichtige Strukturen des Langzeitgedächtnisses spielen mentale Modelle wie auch Schemata eine bedeutende Rolle bei der Bildung und Verbesserung der Situation Awareness (Endsley et al., 2003) (Abbildung 8).

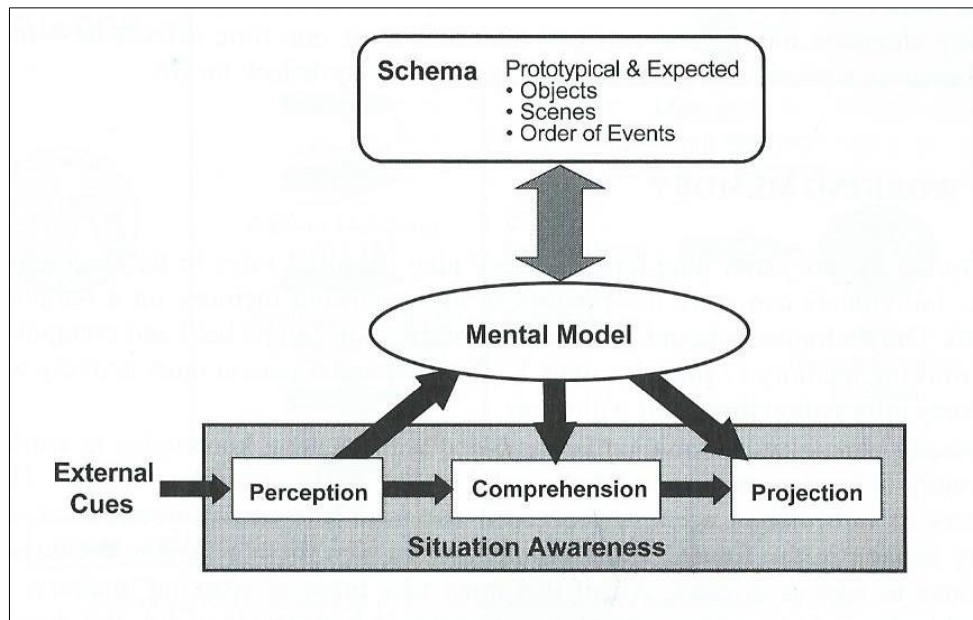


Abbildung 8. Schemata, mentale Modelle und Situation Awareness (Endsley et al., 2003)

Die wahrgenommenen Hinweisreize lassen uns ein bestimmtes mentales Modell auswählen. Daraus abgeleitet können wir die Situation verstehen und die Projektion in die nahe Zukunft vornehmen. Die mentalen Modelle und Schemata werden laufend gegenseitig abgeglichen und angepasst (Endsley et al. 2003). Mentale Modelle lenken aber auch unsere Aufmerksamkeit auf bestimmte Hinweisreize, so dass wir möglicherweise nur wahrnehmen, was gerade zu unserem inneren Bild passt, bzw. was wir in dieser Situation erwarten (Endsley, 1995a).

Im Bahnverkehr hat die Lokführerin ein subjektives mentales Modell der Funktionsweise eines Bremssystems oder des Vorgehens nach einem eingegangenen Notruf. Probleme können auftreten, wenn die mentalen Modelle durch schnell wechselnde Umgebung nicht mehr passen. Während z. B. in der Schweiz die Züge in der Regel links verkehren, die Signale auf der linken Seite stehen und auch die Armatur des Führerstands dementsprechend angeordnet ist, herrscht in Deutschland Rechtsverkehr, mit entsprechender rechtsseitiger Ausrichtung von Signalisierung und Armaturen. Für Lokführende mit Fahrten über die Landesgrenze oder mit allfälligen Wechseln in deutsche Zugfahrzeuge ist somit ein rasches und anspruchsvolles Anpassen der mentalen Modelle nötig. Durch starkes Vorherrschen eines bestimmten mentalen Modells kann es geschehen, dass so bei schnellen Entscheiden „reflexartig“ das falsche Signal beachtet oder der falsche Knopf betätigt wird.

Mentale Modelle sind oft nicht korrekt oder sind unvollständig. Dennoch helfen sie uns, leichter durch den Alltag zu kommen. Durch Rückgriff auf bekannte Sachverhalte können wir Analogien bilden und so schneller handeln (siehe auch RPD-Modell, Kapitel 3.3.2). Mentale Modelle reduzieren dadurch unseren kognitiven Aufwand, der ohne sie um ein vielfaches höher wäre (Trimmel, 2011).

3.3 Entscheidung unter Unsicherheit

Wir treffen häufig Entscheidungen, die aus rationaler Sichtweise nicht optimal oder nicht logisch erscheinen. Da der menschlichen Informationsverarbeitung und somit auch unserer Rationalität gewisse Grenzen gesetzt sind, weicht das tatsächliche Entscheiden oftmals vom Erwarteten ab. Wie sollten wir entscheiden – und wie entscheiden wir tatsächlich? Diese Grundfragen der normativen und der deskriptiven Entscheidungstheorie weisen vor allem bei *Entscheidungen unter Unsicherheit* in unterschiedliche Richtungen. *Unter Unsicherheit* bedeutet hier, dass im Moment der Entscheidungsfindung die möglichen Konsequenzen der verschiedenen Optionen nicht klar sind. Wesentliche Informationen fehlen oder nicht kontrollierbare Ereignisse können die Folgen der gewählten Option beeinflussen, was so zu einer unsicheren Entscheidungssituation führt (Jungermann, Pfister & Fischer, 2005).

Während die klassische Entscheidungsforschung diese Entscheidungen unter Unsicherheit vorwiegend unter künstlichen Laborbedingungen untersucht hat, richtet die aktuellere Forschung der natürlichen Entscheidungsfindung oder der sogenannten *Naturalistic Decision Making* seit den späten Achtzigerjahren ihre Aufmerksamkeit auf Entscheidungen „in the wild“ oder eben im echten Leben. Erst dabei tritt die Komplexität des alltäglichen Entscheidens zutage und zeigt auf, wo die Schwächen und Stärken des menschlichen Entscheidungsprozesses liegen (Klein, 2008a).

3.3.1 Naturalistic Decision Making

Naturalistic Decision Making (NDM) analysiert also Entscheidungen in komplexen und dynamischen Alltagssituationen. Diese natürlichen Entscheidungssituationen können nach dem Entscheidungsforscher Gary Klein (1989) charakterisiert werden durch folgende Merkmale:

- Unvollständige oder mehrdeutige Information
- Zeitdruck
- Widersprüchlich oder nicht klar definierte Ziele
- Schlecht einschätzbare Risiken
- Notwendigkeit der Mustererkennung
- Hohe Valenz (emotionale Wertung)

Ende der Achtziger-Jahre war soweit bekannt, wie Entscheidungen unter Unsicherheit nicht ablaufen. Es war bekannt, dass wir nicht nach Nutzen und Wahrscheinlichkeiten abwägen und uns dann nach reiflicher Überlegung für eine Option entscheiden. Doch wie entscheiden wir dann? Nach dem Ansatz des NDM wurden Feldstudien durchgeführt, um Strategien der Entscheidungsfindung im echten Leben zu studieren. Dabei war von Interesse, wie Menschen wichtige Entscheidungen in komplexen und schwierigen Situationen, d. h. mit unklaren Zielen, wechselhaften Bedingungen oder unter Zeitdruck fällten (Klein, 2008a). Kleins Untersuchungen von Feuerwehrleuten im Einsatz lieferten wichtige Erkenntnisse. Er stellte fest, dass die untersuchten Entscheidungen nicht durch Abwägen mehrerer Optionen gefällt werden, sondern vielmehr durch eine kurze Situationsprüfung mit der anschließenden Einleitung der angemessenen Handlung (Klein, 1989). Dieses Phänomen der erkennens-basierten Entscheidung wird im folgenden Kapitel beschrieben.

3.3.2 Recognition-Primed Decision Model

Das Modell der Recognition-Primed Decision (RPD) beschreibt, wie wir schnell und beinahe automatisch Situationen erfassen, die entsprechenden Entscheidungen fällen und Handlungen ausführen können.

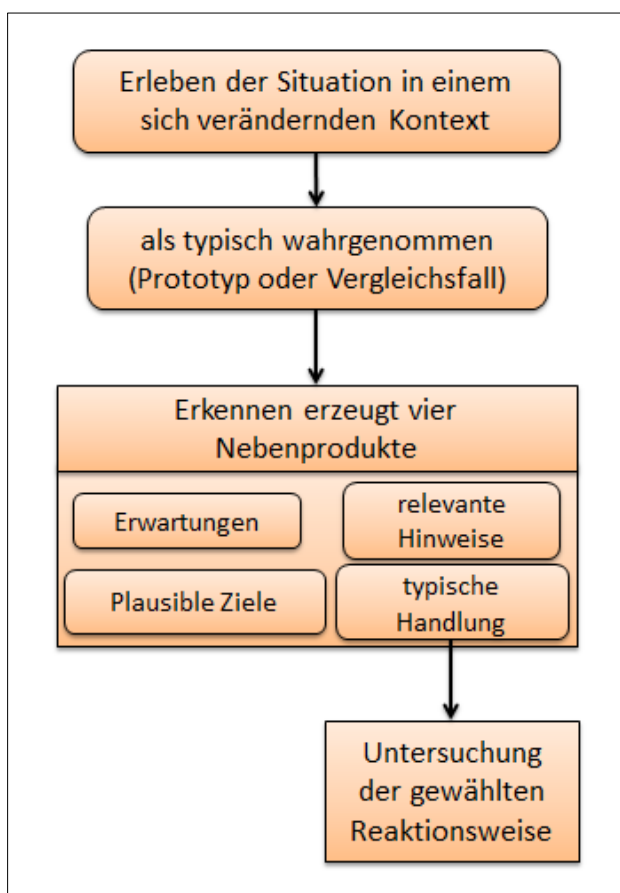


Abbildung 9. Recognition-Primed Decision Model (nach Klein, 1989)

Dies gelingt aufgrund eines raschen Abgleichs der Situation mit vorhandenen Mustern oder Modellen, welche wir durch Erfahrung gelernt und in unserem Langzeitgedächtnis angelegt haben. Finden wir in unserem Repertoire das zur Situation passende Muster, so sind wir in der Lage, erfolgreich sehr schnelle, wichtige Entscheidungen zu treffen (Klein, 2008b). Daher spricht man, wie der Name sagt, von erkennens-basierter Entscheidung. Abbildung 9 stellt eine einfache Form des RPD-Modells nach Klein (2008b) dar. Er sieht darin Analogien zu Endsley's Situation Awareness Modell. Das Erleben der Situation, im oberen Teil der Abbildung, entspricht der Ebene 1, der Wahrnehmung der Situationselemente. Die prototypische Erkennung der Sachlage beschreibt die Ebene 2, das Verständnis der Situation. Die durch das Erkennen generierten Erwartungen und die entsprechende mentale Simulation zur Handlungsplanung passen mit der Ebene 3 überein, welche für die Projektion der Situation in die unmittelbare

Zukunft steht (Klein, 2008b). Klein (2008a) sieht in diesem meist unbewussten Vorgehen die Erklärung dafür, wie wir gute Entscheidungen treffen, ohne zeitaufwändige Optionenvergleiche vorzunehmen. Das RPD-Modell erklärt ebenfalls die Wichtigkeit von Wissensrepräsentation und mentalen Modellen in der Problemlösung sowie den entsprechenden Unterschied zwischen Novizen und Experten. Durch schnelles Abrufen der kritischen Hinweise kann der Experte mit nur geringem kognitivem Aufwand eine Situation erfassen und rasch handeln, während freie mentale Kapazität für weitere Aufgaben zur Verfügung steht. Aufgrund mangelnder Erfahrung stehen dem Novizen weniger abgespeicherte Muster zur Verfügung und er neigt eher zur analytischen, also abwägenden Entscheidungsfindung, welche mehr Zeit und kognitive Ressourcen benötigt (Klein, 2008a). Für Lokführende zeigt dies die Wichtigkeit von zahlreichen praktisch durchgeführten oder zumindest miterlebten Situationen, die während der Ausbildung, im Arbeitsalltag oder bei Simulator-Trainings erfahren werden. Nur so kann ein entsprechendes Repertoire an Mustern für den schnellen Abruf im Falle einer sicherheitskritischen Situation angelegt werden.

3.4 Psychische Belastung und Stress

3.4.1 Belastungs- und Beanspruchungskonzept

Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt, wird die Entscheidungsfindung in dynamischen Systemen durch diverse Belastungen beeinflusst. Diese äusseren oder inneren Belastungen können verschiedene Formen annehmen wie beispielsweise physische (Lärm, Hitze, Kälte, Zwangshaltungen usw.) oder toxische Belastungen (Rauch, Drogen, usw.). Dieses Kapitel legt den Fokus auf die psychischen Belastungen und deren Auswirkungen, wenn auch Lokführende potentiell jeder Form der soeben genannten Belastungen ausgesetzt sein können.

Spricht man also von psychischen Belastungen, so sind damit Faktoren wie Unsicherheit, Zeitdruck, Angst vor Jobverlust, hohe Verantwortung, Kundenerwartungen usw. gemeint. Wenn auch nicht immer klar abgrenzbar zu anderen Belastungsformen, so bezeichnet Lazarus (1993) diejenigen Belastungen als psychisch, welche der Mensch als schädlich, bedrohlich oder herausfordernd empfindet. Eine psychische Belastung wie z. B. Zeitdruck ist also nicht an sich negativ. Sie kann je nach subjektiver Bewertung oder nach vorhandenen Ressourcen entweder als bedrohlich oder als aktivierend und motivierend empfunden werden. Eine aktuelle Studie von Widmer, Semmer, Kälin, Jacobshagen und Meier (2012) hat gezeigt, dass im Falle von Zeitdruck sogar gleichzeitig ein Stressempfinden wie auch ein Motiviertheitsgefühl durch die Chance eines Erfolgserlebnisses ausgelöst wird. Er wird daher von ihnen auch als anregender Stressor – im Gegensatz zu einem behindernden Stressor – bezeichnet.

Als Beanspruchung bezeichnet man die subjektive Auswirkung, welche Belastungen auf den einzelnen Menschen haben. Fünf Minuten Verspätung und 30° Celsius im Lokführerstand sind für alle Lokführenden dieselben Belastungen, die Beanspruchung wird jedoch nicht von allen gleichermassen empfunden. Dieses Belastungs- und Beanspruchungskonzept ist in der Arbeitswissenschaft, z. B. in der Ergonomie oder in der Arbeitsmedizin sehr verbreitet. Es hat seinen begrifflichen Ursprung in der technischen Mechanik und kann modellhaft anhand einer Blechbiegeprobe (Abbildung 10) veranschaulicht werden.

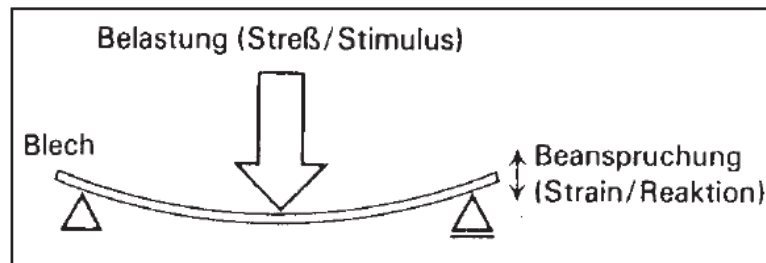


Abbildung 10. Belastung und Beanspruchung analog der technischen Mechanik (Frieling & Sonntag, 1999)

3.4.2 Stress und Stressauswirkung

Der Begriff „Stress“ wird in der Literatur wie auch im Alltag sehr unterschiedlich verwendet. Im Folgenden wird vorwiegend auf die kurzfristigen Auswirkungen von Stress eingegangen.

Während Stress im oben erwähnten Belastungs- und Beanspruchungskonzept (siehe Abbildung 10) als reine „Kraft“ oder als „Gewicht“ und damit als objektive Belastung bezeichnet wird, bevorzugen andere Konzepte den subjektiven Ansatz, nach dem Stress in Zusammenhang mit der individuellen Bewertung gebracht wird. Nach Greif, Bamberg und Semmer (1991, zitiert nach Frieling & Sonntag, 1999) kann Stress bezeichnet als ein subjektiv unangenehmer Spannungszustand, der aus der Befürchtung entsteht, die Kontrolle über die zu meisternde Situation zu verlieren.

Die Reaktion auf Stress besteht aus einer Kombination von unangenehmen Gefühlen, körperlicher Erregung und vereinfachtem Handeln (Semmer, 2013). In Bezug auf Arbeitsaufgaben in einem sicherheitskritischen Umfeld, wie dem von Lokführenden, können unter Stresseinfluss in der Regel Routineaufgaben relativ gut ausgeführt werden, während die Durchführung komplexer Aufgaben erschwert ist. Wir neigen zu unkontrolliertem, riskantem Verhalten – und somit zu erhöhter Unfallgefahr (Semmer, 2013).

Die erhöhte Erregung oder Aktivierung unter Stress kann sich jedoch bis zu einem gewissen Grad auch positiv auf die Leistung auswirken, was dem Yerkes-Dodson-Gesetz (Yerkes & Dodson, 1908) entspricht. Dieses beschreibt den Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung anhand einer umgekehrt U-förmigen Kurve (Abbildung 11).

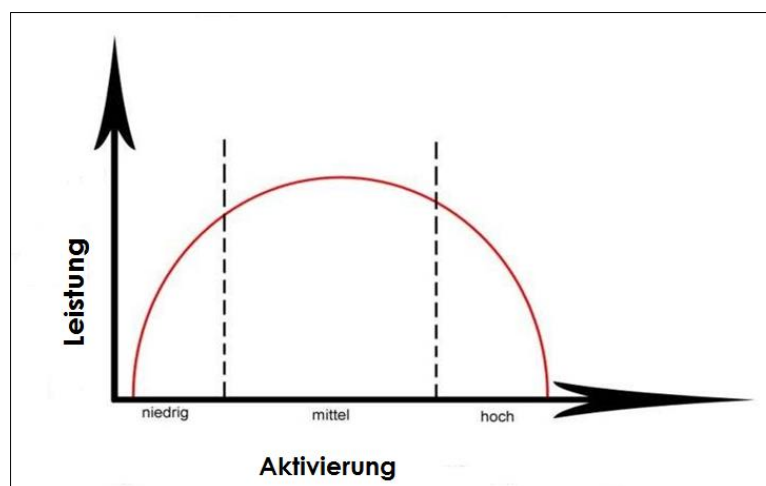


Abbildung 11. Yerkes-Dodson-Kurve. Zusammenhang von Aktivierung und Leistung (nach Yerkes & Dodson, 1908)

Die Kurve zeigt auf, dass die Leistung bei steigender Aktivierung zunimmt, bei einem mittleren Aktivierungsgrad ein Optimum erreicht, während bei weiter ansteigender Aktivierung die Leistung wieder abnimmt (Yerkes & Dodson, 1908). In Bezug auf die Situation Awareness weist auch Endsley (1995a) darauf hin, dass leichter Stress durch eine Aufmerksamkeitssteigerung die SA verbessern kann, dass sich jedoch erhöhter Stress durch eine mögliche Überlastung des Arbeitsgedächtnisses negativ auf die Bildung der SA auswirkt. Von besonderer Bedeutung ist in dem Zusammenhang der linke Bereich der Yerkes-Dodson-Kurve, welcher Arbeitsaufgaben mit Vigilanzanforderung entspricht. Vigilanz kann genauer beschrieben werden als Bereitschaft, seltene und vorhersehbare Ereignisse in variierenden Zeitabschnitten zu entdecken und auf diese zu reagieren (Mackworth, 1948, zitiert nach Haarmann, 2007). Diese Form von Dauer-aufmerksamkeit ist typisch für Arbeitsaufgaben mit Monitor-Überwachung wie z. B. im Cockpit während Langstreckenflügen, in der Überwachungszentrale von Kernkraftwerken oder auch im Lokführerstand bei langen, monotonen Fahrten. Trotz sehr selten auftretenden Ereignissen muss die Konzentration ständig aufrechterhalten werden, so dass im Eintretensfall schnell und korrekt reagiert werden kann. Ohne auftretende Ereignisse tritt in der Regel nach ca. 30 Minuten ein deutlicher Leistungsabfall auf, bei Schlafmangel auch früher (Peters & Peters, 2008).

3.5 Menschliche Fehler

Nach dem englischen Fehlerforscher James Reason (1990) können menschliche Fehler nach zwei Ansätzen betrachtet werden. Der **Person-Ansatz** fokussiert auf den unsicheren Akt, welcher am sogenannten scharfen Ende, z. B. durch Pflegefachleute, Fabrikarbeitende oder Lokführende ausgeführt wird. Das Individuum wird der Vergesslichkeit, Motivationsschwäche, Nachlässigkeit oder Unaufmerksamkeit beschuldigt und muss mit Sanktionen rechnen (Reason, 2000). Diese Haltung des *naming, blaming, shaming* ist auch heute in vielen Unternehmen anzutreffen (Hofinger, 2008). Beim **System-Ansatz** wird davon ausgegangen, dass Irrren menschlich ist und somit in jeder Organisation Fehler zu erwarten sind. Der eigentliche unsichere Akt wird dabei als Folge einer Reihe von vorangegangenen unsicheren Handlungen oder Bedingungen gesehen, wie beispielsweise unklare Kommunikation, mangelhafte Wartung, Ermüdung durch Schichtarbeit o. ä.

3.5.1 Fehlerentstehung

Sinnbild für den oben erwähnten System-Ansatz der menschlichen Fehler ist das Schweizer Käsescheibenmodell von Reason (2000). Das Modell stellt dar, unter welchen Bedingungen Unfälle zustande kommen (Abbildung 12).

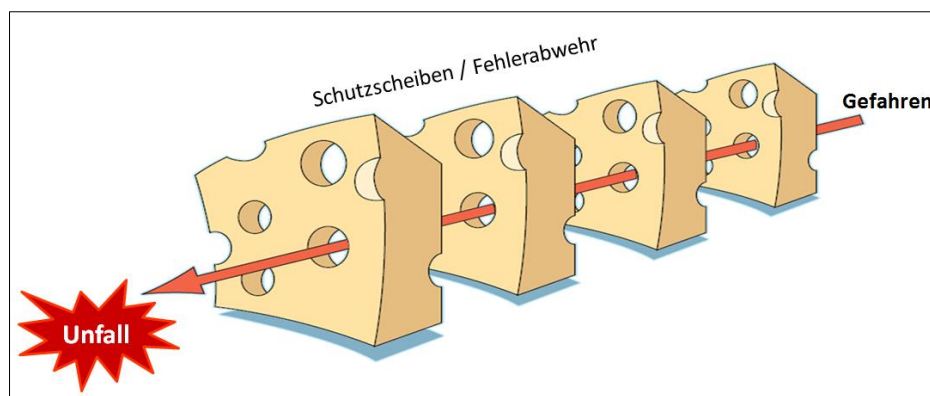


Abbildung 12. Schweizer Käsescheibenmodell zur Fehlerentstehung (nach Reason, 2000)

Eine Organisation oder ein Arbeitsprozess hat in der Regel mehrere Schichten, die dem Schutz möglicher Gefahren dienen. Diese Schichten - oder Käsescheiben - entsprechen entweder technischen, menschlichen oder organisationalen Schutzmechanismen. Konkret können diese Alarme, automatische Schließungen, sicherheitsbewusste Berufsleute wie auch Budgetsprechungen für Sicherheitsthemen, klare Kommunikation, Einhaltung des Arbeitszeitgesetzes usw. darstellen (Reason, 2000). Wenn einer dieser Schutzmechanismen eine Schwäche aufweist, kann noch kein Unfall entstehen. Erst eine Kopplung von Fehlern führt zur „Durchlöcherung“ sämtlicher Schutzscheiben, so dass schließlich ein einzelner unsicherer Akt am scharfen Ende der Kette den Unfall auslöst (Reason, 2000).

3.5.2 Fehlerklassifikation

Unsichere Handlungen werden in der Fehlerklassifikation von Reason (1990) unterteilt in beabsichtigte und unbeabsichtigte Handlungen (Abbildung 13). Im Weiteren werden die Fehler entsprechend der Handlungskontrollebene nach Ausführungsfehlern und Planungsfehlern unterschieden. Als Ausführungsfehler gelten die Aufmerksamkeitsfehler, die vorwiegend während automatisierten Handlungen auftreten, sowie die Gedächtnisfehler, bei denen bestimmte Arbeitsschritte nicht korrekt erinnert werden. Die in der Aviatik-Studie von Jones und Endsley (1996) am häufigsten angetroffene Kategorie *Nicht beobachtete Information* der SA-Ebene 1 kann in hier den Aufmerksamkeitsfehlern zugeordnet werden (siehe Kapitel 3.1.2). Als Planungsfehler können die regelbasierten Fehler beschrieben werden. Hier wird für die Handlungsplanung entweder die falsche Regel angewendet, die richtige Regel wird falsch angewendet oder für diese Situation ist keine Regel bekannt und ein Plan muss durch vorhandenes Wissen entwickelt werden. Der Verstoss gilt in dem Sinne nicht als Fehler, sondern als absichtliches Nichteinhalten der Regel. Häufiger als um Sabotage geht es hier um einen vermeintlich sinnvollen Verstoss zur besseren oder schnelleren Zielerreichung.

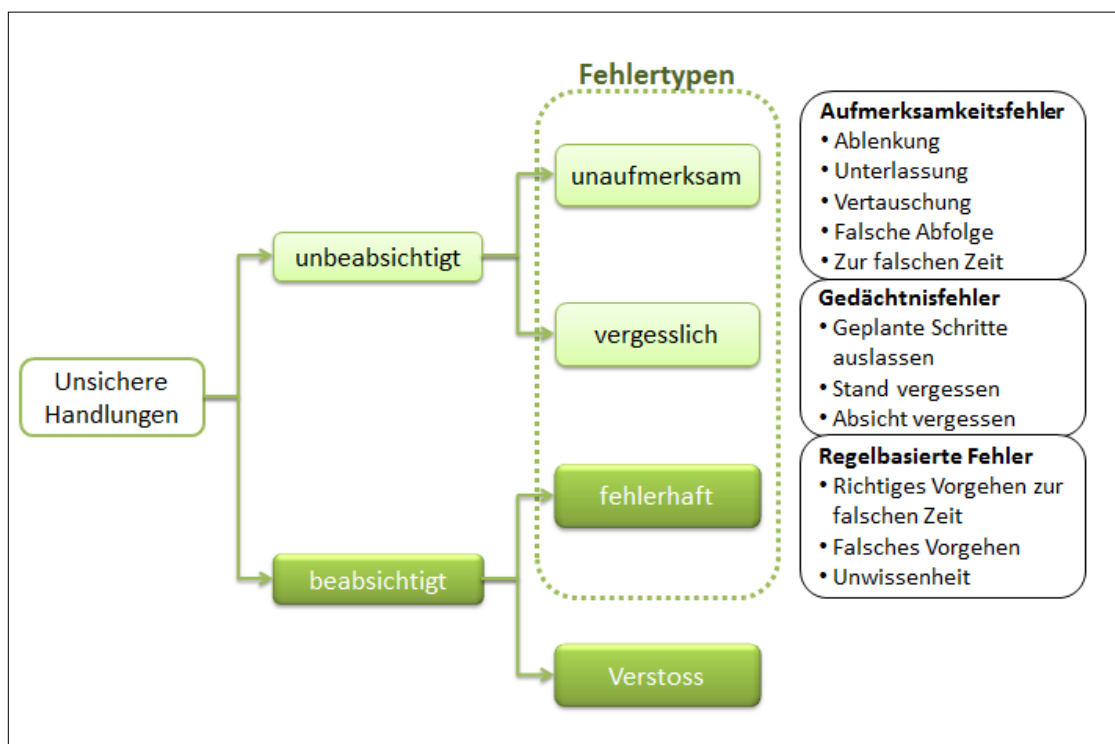


Abbildung 13. Fehlerklassifikation (nach Reason, 1990)

4. HYPOTHESENBILDUNG

Die Literaturrecherche hat die Wichtigkeit der Situation Awareness und der beeinflussenden inneren und äußeren Faktoren für den Beruf von Lokführenden aufgezeigt. Für die weiteren Untersuchungen dieser Arbeit werden zwei Operationalisierungsformen zur Messung und Untersuchung der SA geplant. Dabei interessiert, ob die objektiv beobachtete *SA-Performanz* der Lokführenden einerseits sowie deren subjektive *SA-Selbsteinschätzung* andererseits Korrelationen aufweisen und somit eine konsistente Repräsentation der SA darstellen. Im Weiteren soll die SA unter erschwerten Bedingungen gemessen werden. Dafür wird der Einfluss des psychischen Belastungsfaktors *Zeitdruck* auf die beobachtete und selbsteingeschätzte SA geprüft. Der Faktor *Zeitdruck* prägt nicht nur den Praxisalltag von Lokführenden, sondern erhält auch in der Wissenschaftsliteratur besondere Beachtung als direkt oder indirekt beeinflussender, meist erschwerender Faktor für den Aufbau und den Erhalt einer adäquaten Situation Awareness (Endsley, 1995a; Klein, 2008b; Reason, 2000).

Aus diesen Überlegungen ergeben sich die folgenden drei Hypothesen, welche anhand der Experimente mit den Lokführenden überprüft und im Kapitel 9 diskutiert werden:

- **Hypothese 1.** Die SA-Performanz und die SA-Selbsteinschätzung korrelieren.
- **Hypothese 2.** Die SA-Performanz bei den Simulationsfahrten mit Zeitdruck ist niedriger als die SA-Performanz bei den Simulationsfahrten ohne Zeitdruck.
- **Hypothese 3.** Die SA-Selbsteinschätzung nach den Simulationsfahrten mit Zeitdruck ist niedriger als die SA-Selbsteinschätzung nach den Simulationsfahrten ohne Zeitdruck.

III. EMPIRISCHER TEIL A

DOKUMENTENANALYSE VON UNFALLBERICHTEN

5. METHODISCHES VORGEHEN

Unfallberichte aus dem Bahnverkehr ermöglichen die Analyse von potentiell beteiligten Faktoren aus realen, sicherheitsrelevanten Vorfällen. Nachfolgend wird das methodische Vorgehen dieser Dokumentenanalyse aufgeführt.

5.1 Methodenwahl

Die Dokumentenanalyse beabsichtigt, vorhandenes Material zu reduzieren und neu zu ordnen (Flick, 2006). In der vorliegenden Arbeit reduziert sie eine große Datenmenge aus Unfallberichten auf einen überschaubaren Rahmen und teilt sie weiter, in für die Fragestellung interessierende Kategorien, ein. Die Analyse der Unfallberichte bezweckt, implizite Hinweise auf eine reduzierte SA, bzw. SA-beeinflussende Faktoren herauszufiltern. Die daraus gewonnene Erkenntnis liefert eine weitere Sichtweise auf die SA und dient, zusammen mit den theoretischen Grundlagen und den aufgestellten Hypothesen, der anschließenden Entwicklung der geplanten Simulationsfahrten für die Experimente.

5.2 Datenmaterial

Die zu analysierenden Unfallberichte werden durch die Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle (SUST) verfasst. Die SUST ist eine Fachstelle des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, untersucht Unfälle mit erheblichem Personen- oder Sachschaden bei Eisenbahnen sowie anderen Verkehrsbetrieben und erstellt Unfallberichte für die Gerichts- und Verwaltungsbehörden. Die Unfallberichte werden in der Regel mit Fotos, Kartenausschnitten und technischen Abbildungen ergänzt. Je nach Komplexität der Untersuchungen beträgt der Umfang ca. zwischen 5 – 30 Seiten. Die Unfallberichte werden jeweils öffentlich publiziert (SUST, 2013).

5.3 Stichprobe

Aus der nationalen Datenbank der SUST wird durch den Auftraggeber dieses Bachelorprojekts eine Vorselektion von 50 Unfallberichten aus dem Zugverkehr der letzten zehn Jahre getroffen. Bezweckt wird dabei eine Auswahl, welche nicht nur für die vorliegende Arbeit, sondern auch für das Rahmenprojekt des Auftraggebers selber benutzt werden kann. Die vorselektionierten Unfallberichte enthalten somit eines oder mehrere der folgenden Kriterien:

- Ursache liegt bei Kommunikationsproblemen
- Schwerer Verstoß gegen Fahrdienstvorschriften
- Risikothema wie z. B. Signalüberfahrungen oder Sicherheit auf Baustellen
- Komplexe Bedingungen im Vorfeld des Ereignisses

Aus den 50 Fallberichten erfolgt eine weitere, grobe Selektion. Es werden alle deutschsprachigen Berichte gewählt, bei denen die lokführende Person im Mittelpunkt des Ereignisses steht. Dies ergibt schliesslich eine Stichprobe von 19 Unfallberichten, welche im Rahmen der folgenden Dokumentenanalyse genauer untersucht werden.

5.4 Durchführung

Mit dem Ziel, Hinweise auf Situation Awareness herauszufiltern, werden die Dokumente mehrmals durchgesehen und relevante Inhalte neu geordnet. Zur übersichtlichen Gestaltung wird ein Kategoriensystem gebildet, dem während der Analyse laufend neue Kategorien beigefügt werden. Die Wahl der Kategorien erfolgt durch den ständigen Abgleich des analysierten Materials einerseits, mit dem Modell der Situation Awareness andererseits. Durch dieses gemischte induktiv-deduktive Vorgehen baut die Analyse auf theoretischen Annahmen auf, bleibt jedoch offen für neue Kategorien und somit für weitere Hinweise auf SA-beeinflussende Faktoren (wie z. B. Ablenkung, Erfahrungsmangel, Verspätung usw.). Die Analyse wird nach folgenden Schritten durchgeführt:

- Bildung der ersten Kategorien durch Übernahme der im Bericht verwendeten Überschriften bzw. Themenpunkte:

A Ursache / B Wetter und Schienenzustand / C Medizinische Feststellungen / D Arbeitsrechtliche Bedingungen / E Menschliches

- Auszug relevanter Textpassagen aus den Unfallberichten und Einteilung in die neuen Kategorien
- Bildung zusätzlicher Kategorien durch theoretische Annahmen und Hinweise aus den Berichten:

F Hinweise auf Zugverspätung / G Hintergründe der Ursache / H Thema der Ursache / J Ebene der Situation Awareness

- Auszug relevanter Textpassagen aus den Unfallberichten und Einteilung in die neuen Kategorien. Für die Zuteilung zu den Ebenen der SA wird die Taxonomie der SA-Fehler von Jones & Endsley (1996 , Anhang A) verwendet.

Das durch die Analyse entstandene Kategoriensystem liefert schließlich eine übersichtliche Zusammenfassung der 19 Unfallberichte. Die Zuteilung der 19 Berichte zu den Kategorien A – J konzentrieren die wichtigsten Aussagen der Unfallberichte und weisen auf mögliche Zusammenhänge mit Situation Awareness hin. Abbildung 14 zeigt einen Ausschnitt des Kategoriensystems (Anhang B).

Themenpunkte aus den Berichte								Neue Kategorien			
Nr.	Datum	Ort	A Ursache bei der lokführenden Person	B Wetter / Schienenzustand	C Medizinische Feststellungen	D Arbeitsrechtliche Beurteilung	E Menschliches	F Hinweise auf Verspätung vor dem Ereignis	G Hintergründe der Ursache	H Thema der Ursache	J Ebene der Situation Awareness
3	100624	Felsenburg	<i>Nicht Beachten des Halt zeigenden Ausfahrtsignals 26C1 durch Zug RE 3285.</i>	Nacht, Schienen trocken.	(...) nichts bekannt.	(...) keine Verstöße (...)	(keine Angaben)	Zug RE 3285 fuhr mit einer Verspätung von einer Minute in Frutigen ab.	Der Lokführer bestätigte das Warnsignal ohne zugleich die Fahrt zu verlangsamen. Aus unbekanntem Gründen fuhr der Zug RE 3285 beim Halt zeigenden Ausfahrtsignal 26C1 vorbei.	Signal-fall	3

Abbildung 14. Ausschnitt aus dem Kategoriensystem der Dokumentenanalyse von Unfallberichten (vollständiges Kategoriensystem siehe Anhang B)

6. ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

Die folgenden Angaben beziehen sich auf die Kategorisierung der 19 im Detail untersuchten Berichte. Da die ursprüngliche Stichprobe von 50 Unfallberichten auf einer Vorauswahl einiger bereits erwähnter, inhaltlicher Kriterien beruht, kann sie nicht als repräsentativ bezeichnet werden. Dennoch zeigen die nachfolgenden Häufigkeitsangaben der Kategorien, bzw. die genannte Anzahl aus 19 Berichten, interessante Tendenzen auf, welche als Hinweise auf relevante und nicht relevante Umstände für die Unfälle gedeutet werden können. Zur besseren Übersicht werden hier alle Zahlen numerisch dargestellt. Die Übergänge zwischen Ergebnissen und Interpretation sind dabei fließend.

Wetter / Schienenzustand. 10 Unfälle sind tagsüber vorgefallen, 6 nachts und 1 in der Dämmerung. Bei 2 weiteren wird diesbezüglich nichts erwähnt. 16 Berichte beschreiben trockene Schienen, 1 Bericht nasse Schienen. In 2 Berichten fehlen diesbezügliche Angaben. Diese Tendenzen legen die Vermutung nahe, dass bei den untersuchten Berichten weder der Faktor Nacht noch nasse Schienen als unfallverursachende Bedingungen von Bedeutung sind.

Medizinische Feststellungen. Bei keinem der analysierten Unfallberichte finden sich Hinweise auf medizinische Ursachen. Die Formulierungen in den Berichten lassen jedoch nicht darauf schliessen, ob eine medizinische Untersuchung durchgeführt worden ist oder nicht.

Arbeitsrechtliche Beurteilung. Nichteinhalten von arbeitsrechtlichen Vorgaben wird in 1 Bericht erwähnt. Auffallend dabei ist, dass gerade dieser Fall gleichzeitig der einzige Unfall mit tödlichem Ausgang darstellt (Anhang B, Nr. 16). In 9 Fällen wird die Einhaltung der arbeitsrechtlichen Vorgaben beschrieben, in 9 fehlen diesbezügliche Angaben.

Menschliches. 15 Berichte lassen diesen Themenpunkt weg. 2 Berichte erwähnen Annahmen über die menschlichen Gründe des Fehlverhaltens, 1 Bericht die knappe Streckenerfahrung und 1 weiterer Bericht die fehlende Mindestfahrpraxis der lokführenden Person. Hier fehlt möglicherweise eine klare Definition des Themenpunktes und Abgrenzung zu anderen Themenpunkten, was sich vor allem im häufigen Weglassen zeigt.

Verspätung. Angaben zu einer allfälligen Verspätung des Zugs vor dem Ereignis fehlen in 15 Berichten. 4 Mal wird Verspätung beschrieben. Ob die fehlenden Angaben bezüglich Verspätung als keine Verspätung oder lediglich als mangelnde Erwähnung zu verstehen ist, bleibt unklar. Ein Bericht ergänzt die berichtete Zugsverspätung mit dem Hinweis: „Erfahrungsgemäss führt ein Zeitdruck zu einer erhöhten Fehlerquote. Dies wird immer wieder bei Unfalluntersuchungen bestätigt“ (Anhang B, Nr. 6).

Thema der Ursache. 16 Berichte handeln von überfahrenen Signalen und weitere 3 von Fehlinterpretationen in Bezug auf Bremsproben. Diese Verteilung ist möglicherweise direkt auf die Vorauswahl der Berichte zurückzuführen.

Signalfälle. Von den 16 Signalfällen wurden in 7 Fällen die Signale zwar quittiert, aber die entsprechende Bremsung nicht eingeleitet, in 6 Fällen wurde das Signal nicht wahrgenommen, und in 3 Fällen wurde es falsch interpretiert. Letzteres hatte mit der Sonneneinstrahlung oder mit salienten Nebensignalen zu tun. Die quittierten Signale sind laut den Berichten auf reflexartige, „unbewusste“ Handlungen zurückzuführen, was

Hinweise auf Probleme der Vigilanz liefern könnte. Die Fälle mit den quittierten Signalen wurden im Kategoriensystem der SA-Ebene 3 zugeordnet, da durch die Bestätigung das Signal eigentlich verstanden wurde, aber die entsprechende Handlung nicht geplant worden ist. Möglich wäre hier aber auch eine Einteilung in die SA-Ebene 2, da das wirkliche Verstehen des Signals fraglich ist.

Ebene der SA. Die Zuordnung der 19 Fälle zu den drei Ebenen der Situation Awareness ergab 9 Fälle bei Ebene 1, weitere 5 Fälle bei Ebene 2 und 5 Fälle bei Ebene 3. Von den 9 Fällen der Ebene 1 entsprachen 7 Fälle der Unterkategorie *Nicht beobachtete Information* aus der Taxonomie der SA-Fehler von Endsley und Jones (1996), was auch in etwa mit der dort beschriebenen Häufigkeitszuteilung der SA-Fehler aus der Aviatik übereinstimmt.

Die Zuteilung zu den drei Ebenen war nicht immer eindeutig. Die Ursachenbeschreibung war teilweise hypothetisch oder das Ereignis war auf eine Kombination von Ursachen zurückzuführen. Letzteres entspricht auch dem Käsemodell von Reason (1990) und sollte grundsätzlich bei allen Fehleranalysen beachtet werden.

IV. EMPIRISCHER TEIL B: EXPERIMENTE MIT DEM FAHRSIMULATOR

7. METHODISCHES VORGEHEN

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurden Experimente mit Lokführenden geplant und durchgeführt. Dafür wurden Simulationsfahrten entwickelt, die Situation Awareness objektiv und subjektiv gemessen sowie der Einfluss von Zeitdruck getestet. Das methodische Vorgehen ist angelehnt an das Vorgehen des Forschungsprojekts *Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in Training* ESSAI (Hoermann et al., 2003), welches die Rolle der SA-relevanten Kompetenzen sowie deren Trainierbarkeit bei Pilotinnen und Piloten untersuchte.

7.1 Experimentelle Szenarien

Zur Messung der Situation Awareness und zur Überprüfung des Einflusses von Zeitdruck werden in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber und einem weiteren Experten zwei Zugsfahrten für den Fahrsimulator, die sogenannten Szenarien A und B, konzipiert. Dabei wird beachtet, dass die beiden Szenarien vergleichbare Schwierigkeitsgrade aufweisen, jedoch insofern unterschiedlich aufgebaut sind, dass zwischen Szenario A und Szenario B kein Transferlernen entstehen kann. Beide Szenarien beinhalten 11 vorab definierte SA-Stufen, welche eine bestimmte Entscheidung und eine daraus resultierende Handlung zur Folge haben. Diese beobacht- oder messbare SA-Performanz wird anhand von festgelegten Kriterien pro Stufe bewertet. Die Komplexität der Stufen ist tendenziell ansteigend durch die Zunahme interagierender Faktoren wie Wetter, Adhäsion Rad-Schiene, Signale, Vorschriften, Störungen, etc.

- **Szenario A** stellt die simulierte Fahrt des Reiseextrazugs 33835 von Olten nach Brugg dar.
- **Szenario B** stellt die simulierte Fahrt des Reiseextrazugs 33837 von Baden nach Zürich dar.

Beide Szenarien dauern je ca. 30 Minuten. Die Szenarien A und B inklusive detaillierter Stufenbeschreibung sind im Anhang C einzusehen.

7.2 Operationalisierung

7.2.1 Situation Awareness

Mit einer kombinierten Messung der Performanz einerseits und einer Selbsteinschätzung andererseits soll das Konstrukt der Situation Awareness operationalisiert werden.

Performanz. Die Performanz entspricht der beobacht- oder messbaren Handlung der Versuchspersonen als Reaktion auf die beschriebenen Stufen während der Simulationsfahrten. Die Lokführenden müssen dabei bahnrelevante Informationen korrekt wahrnehmen, verstehen und projizieren können, um die Situation im Lokführerstand unter Kontrolle zu halten. Die einzelnen, standardisierten und realitätsnahen SA-Stufen sind dabei so gewählt, dass die darauffolgende Handlung bestmöglich auf den Verlust bzw. den Erhalt der Situation Awareness zurückgeführt werden kann. Um diesen Zusammenhang mit Situation Awareness zu erhöhen, wird die Auswahl dieser SA-Stufen durch Zuhilfenahme der Taxonomie der SA-Fehler (nach Endsley & Jones, 1996, Anhang A) unterstützt. So wird bei der Entwicklung der Szenarien abgeleitet, ob bei

der jeweiligen Stufe ein SA-relevanter Fehler bzw. eine SA-relevante korrekte Handlung zu erwarten ist.

Selbsteinschätzung. Die Selbsteinschätzung wird mittels Fragebogen der *Situation Awareness Rating Technique (SART)* nach Taylor (1995) erhoben. Dieser wird später unter *Erhebungsinstrument der Selbsteinschätzung SART* genauer beschrieben.

7.2.2 Zeitdruck

Die Operationalisierung und die entsprechende Manipulation des Faktors Zeitdruck erfolgt in schriftlicher und in mündlicher Form. Einerseits ist für die Lokführenden anhand des Fahrplans und der Zeitangabe im Fahr Simulator ersichtlich, ob mit oder ohne Zeitdruck gestartet wird. Andererseits werden die Lokführenden vor Betreten des Simulators, bzw. bei Übernahme des Zugs mündlich und in immer gleicher Form durch den Versuchsleiter darüber informiert, ob die Fahrt mit oder ohne Zeitdruck beginnt. Der Höhe des manipulierten Zeitdrucks bei Zugsabfahrt beträgt schließlich zwischen 5-10 Minuten und ist abhängig von der für die Vorbereitung des Lokführerstands (Jacke ausziehen, Geräte einschalten, Fahrdaten eingeben, usw.) benötigten Zeitdauer.

7.3 Erhebungsinstrumente

7.3.1 Performanz

Zur Erhebung der sogenannten *SA-Performanz* werden Beobachtungsformulare in Form von Drehbüchern zu den jeweiligen Szenarien verwendet. Die Drehbücher ermöglichen eine objektive Bewertung jeder SA-Stufe durch festgelegte Kriterien, welche die Ausprägung *erfüllt*, *teilweise erfüllt* oder *nicht erfüllt* annehmen können (Anhang D). Im Anschluss an die Simulationsfahrten wird aus den bewerteten Kriterien die *SA-Performanz* errechnet. Die Ausprägung *erfüllt* entspricht dabei zwei Punkten, *teilweise erfüllt* entspricht einem Punkt und *nicht erfüllt* entspricht null Punkten. Der so aufsummierte Wert über alle 11 SA-Stufen ergibt die *SA-Performanz*, welche somit Werte von 0 bis 22 annehmen kann.

7.3.2 Selbsteinschätzung

Zur subjektiven *SA-Selbsteinschätzung* durch die Lokführenden wird die bereits erwähnte *Situation Awareness Rating Technique (SART)* (Taylor, 1990) angewendet, ein validierter und oft eingesetzter Fragebogen. Die SART enthält zehn Items, welche den drei Kategorien *Demand from Attentional Resources (D)*, *Supply of Attentional Resources (S)* und *Understanding of the Situation (U)* zugeteilt werden.

Der Fragebogen wurde ursprünglich für die *Situation Awareness-Selbsteinschätzung* von Pilotinnen und Piloten entwickelt. Für die vorliegende Arbeit mit deutschsprachigen Lokführenden wird die originale, englische SART von Taylor entsprechend adaptiert. Dabei erfolgen nebst der deutschen Übersetzung eine sprachliche Vereinfachung sowie die Umformung der Items-Beschreibung in semantische Differentiale. Die formale Darstellung sämtlicher zehn Items, deren Zuteilung zu den Kategorien sowie die dazugehörige Likert-Skala ist in Tabelle 1 ersichtlich. Der adaptierte Fragebogen der SART ist im Anhang E einzusehen.

Tabelle 1. *Situation Awareness Rating Technique in formaler Darstellung (nach Taylor, 1990)*

Kategorie	Item	1	2	3	4	5	6	7
Anforderung an die Aufmerksamkeitsressourcen/ Demand from Attentional Resources (D)	Instabilität der Fahrt							
	Komplexität der Fahrt							
	Variabilität der Fahrt							
Vorhandene Aufmerksamkeitsressourcen/ Supply of Attentional Resources (S)	Reaktionsbereitschaft							
	Konzentration der Aufmerksamkeit							
	Geteilte Aufmerksamkeit							
	Restliche mentale Kapazität							
Verständnis der Situation/ Understanding of the Situation (U)	Informationsmenge							
	Informationsqualität							
	Vertrautheit der Situation							

Für die Berechnung des Gesamt-Scores, der in der Folge jeweils *SART-Total* genannt wird, werden die 3 bzw. 4 Items pro Kategorie aufsummiert und die erhaltenen Kategorienwerte anschließend mit der Formel $SART-Total = U + S - D$ berechnet (Stanton, Salmon, Walker, Barber & Jenkins, 2006). Die SA wird hier also angenommen als das *Verständnis der Situation* (U) addiert mit der *Aufmerksamkeitskapazität*, welche durch die *vorhandene* Aufmerksamkeit (S) minus *geforderte* Aufmerksamkeit (D) ausgedrückt wird. Entsprechend dieser Berechnung kann das SART-Total Werte zwischen -14 (sehr schlechte SA-Selbsteinschätzung) und 46 (sehr gute SA-Selbsteinschätzung) annehmen.

7.4 Design

Das Experiment mit den Lokführenden basiert auf einem gemischten Within- und Between-subjects-Design. Der in der vorliegenden Arbeit fokussierte Within-subject-Vergleich besteht aus einer Messwiederholung der beiden Simulationsfahrten (Szenario A und Szenario B) unter Manipulation des Faktors Zeitdrucks (unabhängige Variable). Als abhängige Variablen werden die *SA-Performanz* (gelegentlich auch *Performanz* genannt) und die Selbsteinschätzung des *SART-Totals* gemessen (Tabelle 2). Die Between-subjects-Vergleiche, also die Vergleiche zwischen den Gruppen (siehe Abbildung 15), werden vorwiegend zur Überprüfung des methodischen Vorgehens durchgeführt.

Tabelle 2. *Gemischtes Design des Experiments mit dem Fahrsimulator (Stoller, 2013, nach Hoermann et al., 2003)*

	Szenario A	Szenario B	Between subjects
	Within subjects		
mit Zeitdruck	<ul style="list-style-type: none"> SA-Performanz SART-Total 		<ul style="list-style-type: none"> SA-Performanz
ohne Zeitdruck	<ul style="list-style-type: none"> SA-Performanz SART-Total 		<ul style="list-style-type: none"> SART-Total

Abbildung 15 zeigt den Versuchsplan des methodischen Vorgehens und die entsprechenden experimentellen Bedingungen sowie die Zuteilung zu den vier Gruppen.

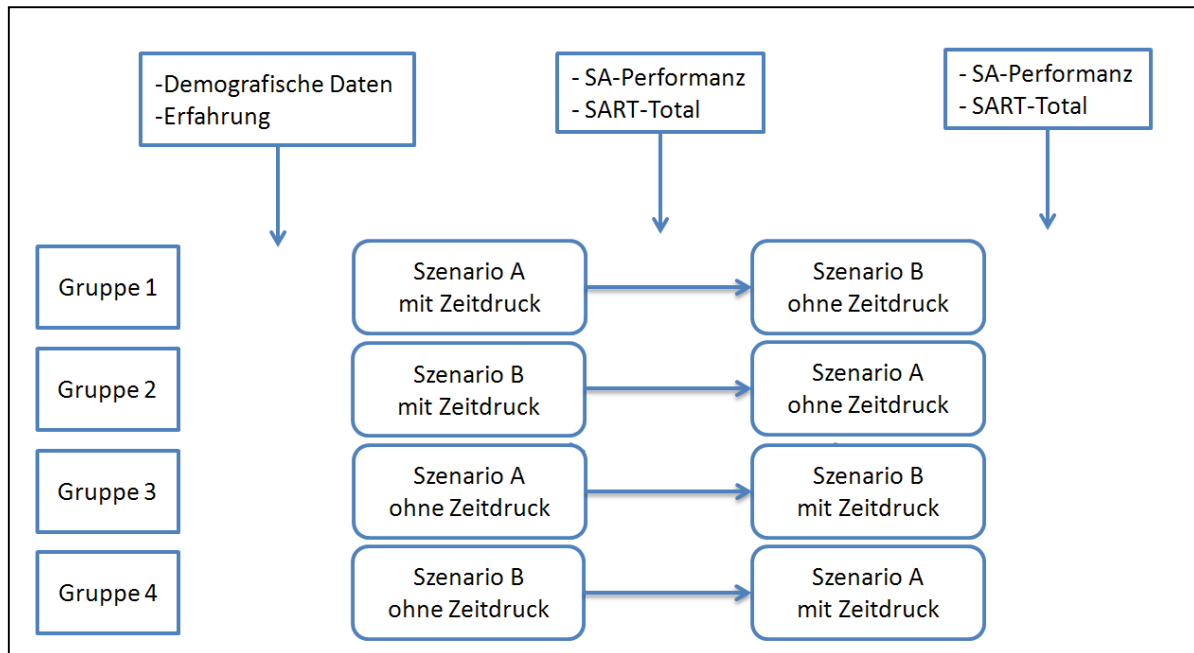


Abbildung 15. Versuchsplan mit vier Gruppen und den entsprechenden Kombinationen der experimentellen Bedingungen (Stoller, 2013, nach Hoermann et al., 2003)

7.5 Stichprobe

7.5.1 Rekrutierung

Um eine möglichst heterogene Stichprobe zu gewinnen, erfolgt die Anwerbung der Lokführenden über verschiedene Kanäle. Dafür werden die Inserate für Versuchspersonen gestreut über Gruppenleitende der Eisenbahnunternehmen, über private Kontakte der am Projekt involvierten Personen sowie über einen Berufsverband der Lokführenden. Die eigentliche Anmeldung erfolgt schließlich online über die Projekt-Website des Arbeitgebers (Suter, 2013). Durch diese Selbstanmeldung wählen Interessierte somit selber einen der angebotenen Termine aus, was gleichzeitig einer für die Versuchspersonen nicht ersichtlichen Gruppenzuteilung entspricht (siehe Abbildung 15). Diese Form der terminlichen Selbstwahl ermöglicht einerseits die laufende Anmeldung von Versuchspersonen während der vierwöchigen Experimente-Phase sowie eine randomisierte Zuteilung zu den experimentellen Bedingungen unter gleichzeitiger Einhaltung der geplanten Abfolge.

7.5.2 Stichprobenbeschreibung

Es entsteht so ein Stichprobentotal von 20 Lokführenden, welches sich zusammensetzt aus 19 Männern und einer Frau. Die Muttersprache ist bei einer Person Französisch, bei den restlichen 19 Deutsch. Das durchschnittliche Alter der Versuchspersonen beträgt 43.7 Jahre ($SD = 9.97$), mit einer durchschnittlichen Arbeitserfahrungen als Lokführende von 16 Jahren ($SD = 11.65$). Die Arbeitserfahrung basiert auf Erfahrungsjahren entweder im Personen-, Güter- oder Rangierverkehr - oder aus deren Kombinationen. Einer der getesteten Lokführenden ist bereits im Ruhestand, ein anderer arbeitet nicht als operativer Lokführer und weist somit weniger als ein Jahr Arbeitserfahrung auf. Zwei

der 20 Lokführenden haben in den letzten Jahren ein Situation Awareness-Training absolviert.

7.6 Apparate

Die Experimente werden in einem sogenannten Vollsimulator der Lokomotive Re 460, der Marke KraussMaffei, durchgeführt. Der Fahr Simulator wurde seit 1997 durch die Schweizerischen Bundesbahnen SBB für die Ausbildung von Lokführenden eingesetzt. Seit 2011 im Besitz des Auftraggebers, befindet sich der Simulator heute in einer ehemaligen Fabrikhalle in Deisswil bei Bern und wird für verschiedene Forschungsarbeiten verwendet. Mittels 3-D-Geländemodelle und eines Bewegungssystems wird die Simulation zahlreicher Fahrten des realen SBB-Streckennetzes ermöglicht. Die Bedienung und Überwachung der Simulationsfahrten erfolgen über eine elektronische Computeranlage mit mehreren Bildschirmen ausserhalb des Simulators (Abbildungen 16 und 17). Eine Videokamera überträgt das laufende Bild aus dem Lokführerstand zur Beobachtung bestimmter Handlungen. Die Film-Daten werden nicht aufgezeichnet.



Abbildung 16. Fahr Simulator Re 460, Innenansicht



Abbildung 17. Fahr Simulator Re 460, Außenansicht mit Bedienungs- und Überwachungsanlage

7.7 Prozedere

Die Experiment-Phase fand über einen Zeitraum von vier Wochen statt. Ein Experimente-Block dauerte 4.5 Stunden und ermöglichte die Testung von maximal 4 Lokführenden. Das Prozedere lief für die Testpersonen jeweils wie folgt ab:

- Einführung mit Information zum Promotionsprojekt, zum Bachelorprojekt und zum Ablauf des Experiments
- Abgabe der für die Fahrt notwendigen Dokumente
- Instruktion zur Bedienung des Fahr Simulator Re 460
- Durchführung der ersten Simulationsfahrt
- Ausfüllen des ersten SART-Fragebogens
- Durchführung der zweiten Simulationsfahrt
- Ausfüllen des zweiten SART-Fragebogens

Für die Lokführenden dauerte die Testung für das Bachelorprojekt jeweils zwischen 1.5 – 2 Stunden, abhängig von der Dauer der Simulationsfahrten. Im Anschluss erfolgten weitere Datenerhebungen für das Promotionsprojekt. Abgeschlossen wurde die gesamte Testung mit Getränken und einem Imbiss, wo auch allfällige Fragen zu den Experimenten beantwortet werden konnten.

Bei der Durchführung der Experimente wurden folgende Punkte beachtet:

- Standardisierte Information vor der Durchführung der Szenarien
- Alleinige Anwesenheit der Testperson im Fahrsimulator
- Keine Interventionen der Testleitung während der Simulationsfahrten
- Keine Information bezüglich der gefahrenen Stufen zwischen den Szenarien
- Durch Drehbuch vorgegebene Kommunikation durch den „Fahrdienstleiter“

7.8 Datenaufbereitung

Während der vierwöchigen Experiment-Phase werden die Daten sämtlicher ausgefüllter Drehbücher und SART-Bogen in entsprechenden Performanz- und SART-Protokollen zusammengefasst. Vereinzelte, fehlende Werte (verpasste Beobachtung eines Kriteriums oder ausgelassene Items bei der Befragung) werden durch Mittelwerte aus den Daten der übrigen Versuchspersonen ersetzt.

Im Hinblick auf die statistische Auswertung werden die experimentellen Bedingungen und die Gruppen hier noch einmal dargestellt. Die Tabelle 3 zeigt dabei in Matrixform die vier experimentellen Bedingungen, unterschieden durch den Szenariotyp A oder B und den Faktor Zeitdruck. Zudem wird angegeben, wie oft diese Bedingung durchlaufen wurde.

Tabelle 3. Matrixform der vier experimentellen Bedingungen

	Szenario A	Szenario B
mit Zeitdruck	n = 10	n = 10
ohne Zeitdruck	n = 10	n = 10

Jede Versuchsperson durchläuft zwei dieser experimentellen Bedingungen. Somit ergeben sich 4 Gruppen à 5 Versuchspersonen mit der jeweils gleichen Kombination und Abfolge der experimentellen Bedingungen. Allfällige Positions- oder Carry-over-Effekte durch die Reihenfolge der experimentellen Bedingungen wie auch etwaige weitere Störvariablen können durch die randomisierte Gruppeneinteilung als balanciert betrachtet werden. Daher wird für die weitere Datenanalyse ausschliesslich die Kombination der experimentellen Bedingungen beleuchtet. Für die Analyse ist folglich wichtig, ob eine Versuchsperson z. B. Szenario A mit oder ohne Zeitdruck gefahren ist, nicht aber, ob sie dieses Szenario A an erster oder an zweiter Stelle gefahren ist. Aus diesem Grund können jeweils 2 der 4 Gruppen als identisch angesehen und dadurch zwei neue, grössere Gruppen à 10 Versuchspersonen gebildet werden (Abbildung 18).

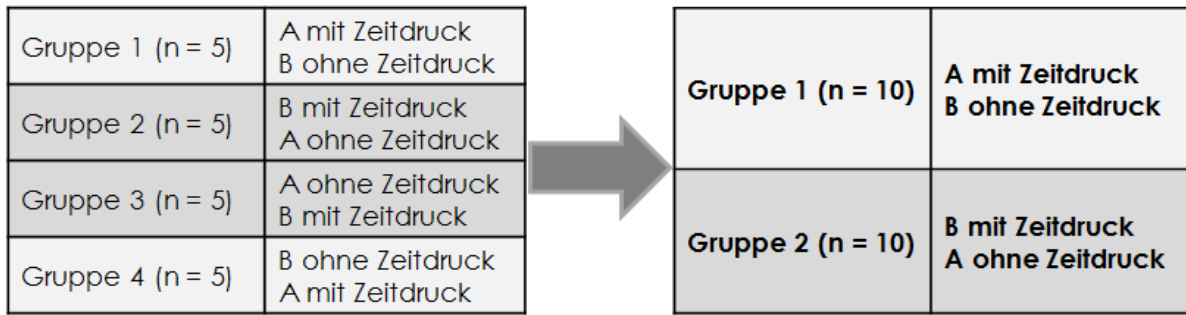


Abbildung 18. Bildung der Gruppe 1 und 2 aus den bisherigen Gruppen 1 - 4 und zugehörige experimentelle Bedingungen (A: Szenario A; B: Szenario B)

8. ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

Die Datenanalyse wurde mit dem Statistikprogramm PASW® Statistics 18 (Bühl, 2008) durchgeführt. In der Folge werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Datenanalyse dargestellt und anhand von Tabellen und Abbildungen erläutert. Zur besseren Übersicht wird jedes Kapitel mit einer kurzen Interpretation der Ergebnisse abgeschlossen. Weitere Tabellen sowie ein Diagramm der statistischen Datenanalyse finden sich unter Anhang F.

8.1 Zusammenhang Performanz und Selbsteinschätzung

Entsprechend der Hypothese 1 wird ein gleichläufig positiver Zusammenhang zwischen den SA-Performanz-Werten während der Simulationsfahrten und der anschließenden Selbsteinschätzung mittels SART-Fragebogen erwartet.

Die Ergebnisse der Korrelation nach Pearson zeigen eine mittlere, gleichläufige Korrelation ($r(18) = .51, p = .010$) zwischen der SA-Performanz mit Zeitdruck und dem anschließenden SART-Total. Zwischen der SA-Performanz ohne Zeitdruck und dem anschließenden SART-Total ist keine signifikante Korrelation feststellbar ($r(18) = .20, p = .196$).

Interpretation Zusammenhang Performanz und Selbsteinschätzung. Bei den Fahrten mit Zeitdruck gibt es folglich einen Zusammenhang zwischen der objektiven, beobachteten SA-Performanz und der subjektiven Selbsteinschätzung der SA durch die Lokführenden. Bei den Fahrten ohne Zeitdruck hingegen hängen die Performanz- und die Selbsteinschätzungswerte nicht zusammen.

8.2 Performanz

Pro Versuchsperson werden die SA-Performanz-Werte zweier Simulationsfahrten analysiert. Durch Aufsummierung der Punkte pro SA-Stufe kann die SA-Performanz Werte zwischen 0 und 22 annehmen.

Entsprechend der Hypothese 2 wird hier eine schlechtere und somit tiefere SA-Performanz bei den Szenarien mit Zeitdruck im Vergleich zu den Szenarien ohne Zeitdruck erwartet.

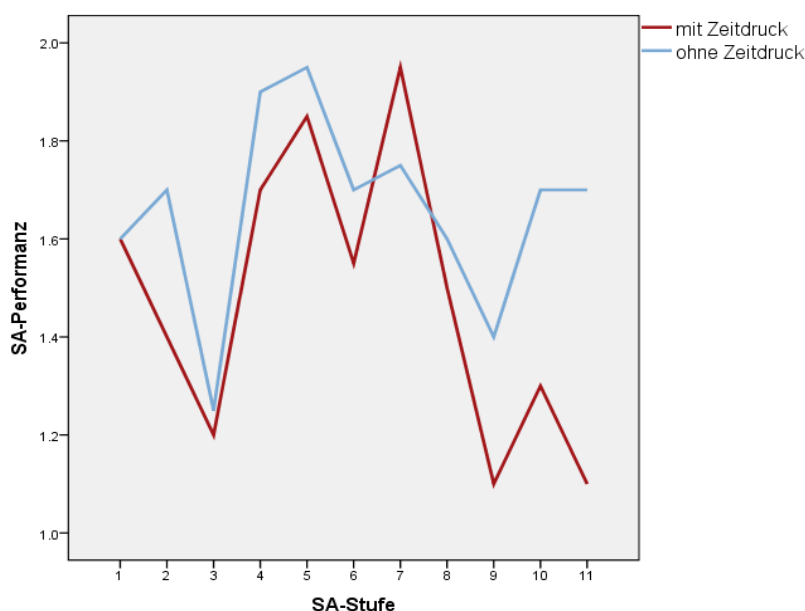


Abbildung 19. Mittelwerte der SA-Performanz pro SA-Stufe 1-11, mit und ohne Zeitdruck

Verlauf der SA-Stufen. Abbildung 19 zeigt auf, mit welcher SA-Performanz die Lokführenden die 11 Stufen durchlaufen haben. Die Szenarien A und B werden hier nicht unterschieden. Die beiden Linien stellen somit 20 Fahrten mit Zeitdruck und 20 Fahrten ohne Zeitdruck dar. Die Werte der vertikalen Achse entsprechen der pro Stufe gefahrenen mittleren SA-Performanz der 20 Lokführenden. Pro Stufe konnten 0, 1 oder 2 Punkte erreicht werden.

Das Diagramm dient der Visualisierung des experimentellen Ablaufs. Für die weiteren Berechnungen werden nicht mehr die einzelnen Stufenwerte, sondern lediglich die Summenwerte aus den 11 SA-Stufen als sogenannte *Performanz* oder *SA-Performanz* verwendet. Aufgrund der deutlich erkennbaren Entfernung der beiden Linien im rechten Teil der Abbildung 19, wird zur Prüfung des Faktors Zeitdruck zudem dieser letzte Teil der Simulationsfahrten gesondert analysiert. Er entspricht den Stufen 8-11. Diese neu gebildete Variable wird in der Folge mit *SA-Performanz Stufe 8-11* bezeichnet.

8.2.1 SA-Performanz

Statistische Kennwerte SA-Performanz. Das Boxplot-Diagramm der Abbildung 20 zeigt die Datenverteilung der SA-Performanz über alle Gruppen hinweg, jeweils mit und ohne Zeitdruck. Die SA-Performanz wird durch die aufsummierten 11 Stufenwerte errechnet und kann Werte zwischen 0 und 22 annehmen. Das Boxplot-Diagramm zeigt eine tiefere SA-Performanz mit Zeitdruck ($Mdn = 16$, $SD = 4.81$) gegenüber einer höheren SA-Performanz ohne Zeitdruck ($Mdn = 19$, $SD = 3.68$). Der Punkt entspricht einem milden Ausreißer.

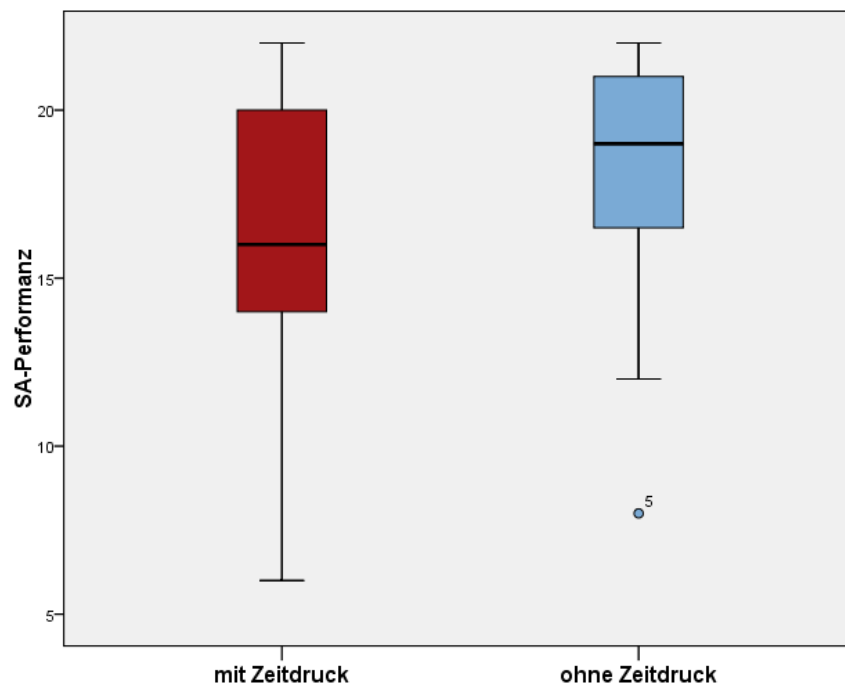


Abbildung 20. Boxplot-Diagramm mit Datenverteilung der SA-Performanz

Das Balkendiagramm der Abbildung 21 visualisiert die Gruppenmittelwerte der SA-Performanz entsprechend den experimentellen Bedingungen. Es zeigt, dass Gruppe 1 mit Zeitdruck ($M = 18.7$, $SD = 2.95$) eine bessere SA-Performanz gefahren ist als ohne

Zeitdruck ($M = 16.7$, $SD = 4.11$). Gruppe 2 weist mit Zeitdruck ($M = 13.8$, $SD = 5.18$) eine tiefere SA-Performanz auf als ohne Zeitdruck ($M = 19.8$, $SD = 2.53$).

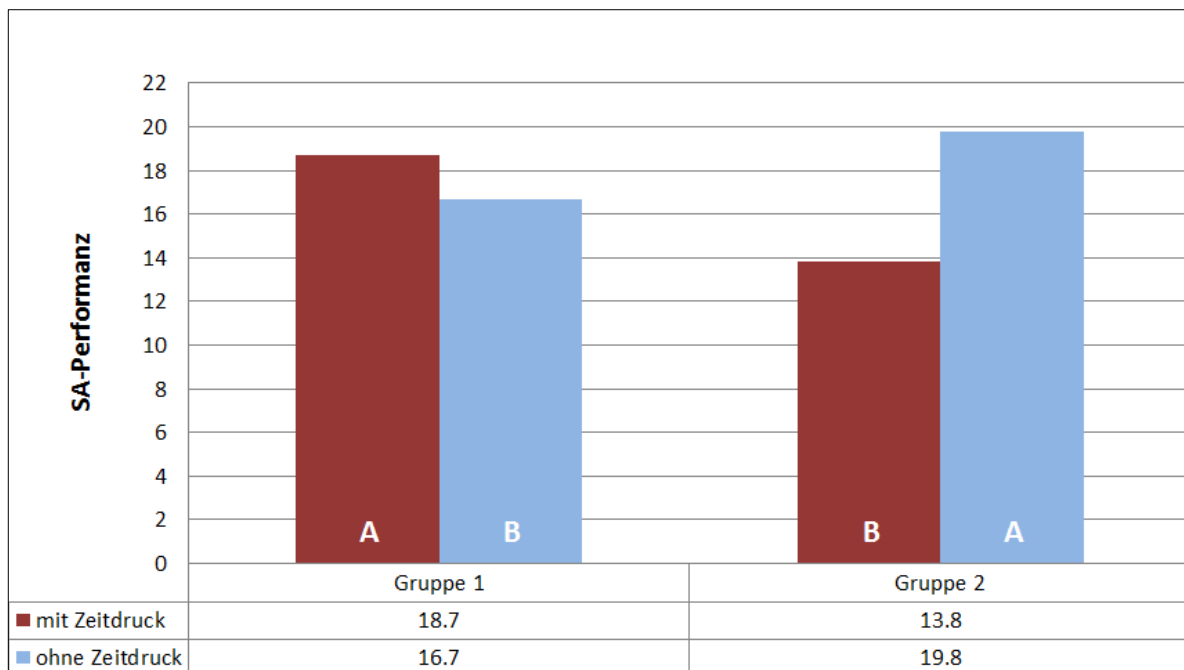


Abbildung 21. Gruppenmittelwerte der SA-Performanz mit dem Faktor Zeitdruck (A: Szenario A; B: Szenario B)

Varianzanalyse mit Messwiederholung SA-Performanz. Der Einfluss des Faktors Zeitdruck auf die SA-Performanz wird mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung untersucht. Zeitdruck entspricht dabei dem Innersubjektfaktor, die zwei Gruppen dem Zwischensubjektfaktor.

Die Tests der Innersubjekteffekte zeigen einen signifikanten Einfluss des Faktors Zeitdruck innerhalb der Gruppen, $F(1,18) = 7.06$, $p = .016$. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse mit $F(1,18) = 28.24$, $p < .001$ einen höchstsignifikanten Einfluss der Interaktion zwischen den Faktoren Zeitdruck und Gruppe. Die Interaktion ist disordinal, wodurch der Haupteffekt Zeitdruck nicht global interpretierbar ist. Die Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($F(1,18) = 501.27$, $p = .566$).

8.2.2 SA-Performanz Stufe 8-11

Für diesen finalen Teil der Simulationsfahrten wird erwartet, dass sich der Einfluss des Faktors Zeitdruck deutlicher als über die soeben beschriebenen Gesamtfahrten auf die SA-Performanz auswirkt.

Statistische Kennwerte SA-Performanz Stufe 8-11. Das Boxplot-Diagramm der Abbildung 22 zeigt die statistischen Kennwerte der gefahrenen SA-Performanz Stufe 8-11. Die SA-Performanz Stufe 8-11 wird durch die aufsummierten Mittelwerte der Stufen 8-11 errechnet und kann Werte zwischen 0 und 8 annehmen. Das Boxplot-Diagramm zeigt eine tiefere SA-Performanz mit Zeitdruck ($Mdn = 6$, $SD = 3.08$) gegenüber einer höheren SA-Performanz ohne Zeitdruck ($Mdn = 7$, $SD = 2.21$). Die Punkte entsprechen zwei milden Ausreißern.

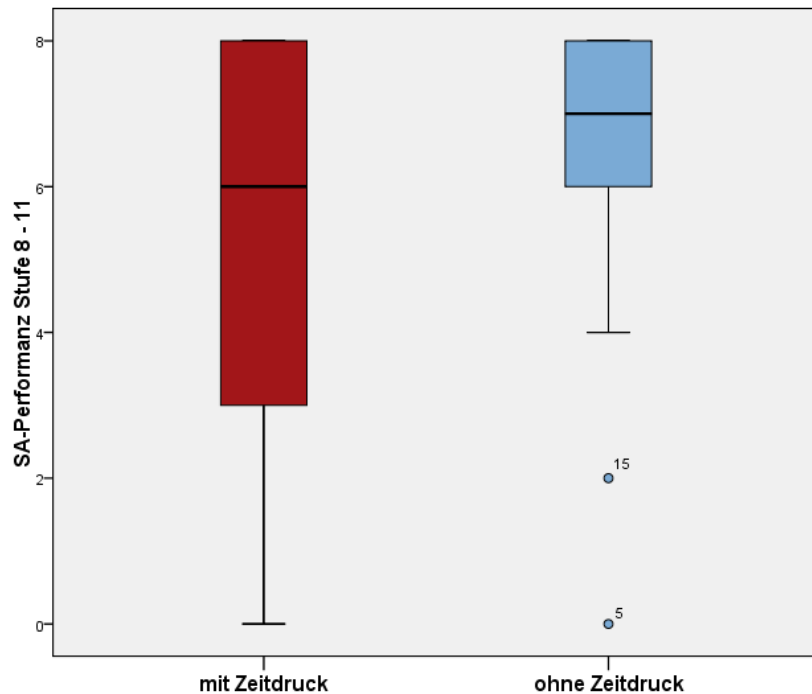


Abbildung 22. Boxplot-Diagramm mit Datenverteilung der SA-Performanz Stufe 8-11

Das Balkendiagramm der Abbildung 23 visualisiert die Gruppenmittelwerte der SA-Performanz entsprechend den experimentellen Bedingungen. Es zeigt, dass über die Stufen 8-11 mit Zeitdruck eine tiefere SA-Performanz gefahren wurde als ohne Zeitdruck, dies sowohl bei Gruppe 1 mit $M = 5.4$ ($SD = 2.68$) gegenüber $M = 5.8$ ($SD = 2.74$), wie auch bei Gruppe 2 mit $M = 4.6$ ($SD = 3.53$) gegenüber $M = 7.0$ ($SD = 1.41$).

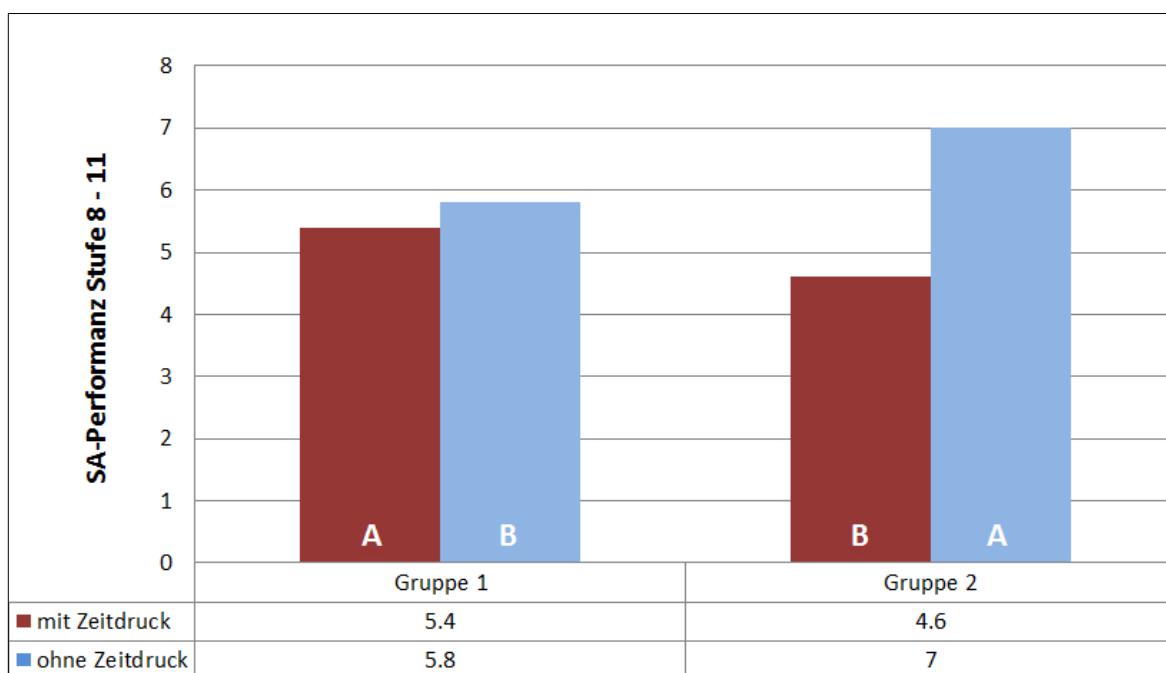


Abbildung 23. Gruppenmittelwerte der SA-Performanz Stufe 8–11 mit dem Faktor Zeitdruck (A: Szenario A; B: Szenario B)

Varianzanalyse mit Messwiederholung SA-Performanz Stufe 8–11. Der Einfluss des Faktors Zeitdruck auf die SA-Performanz Stufe 8–11 wird mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung untersucht. Zeitdruck entspricht dabei dem Innersubjektfaktor, die zwei Gruppen dem Zwischensubjektfaktor.

Die Tests der Innersubjekteffekte zeigen einen signifikanten Einfluss des Faktors Zeitdruck innerhalb der Gruppen, ($F(1,18) = 5.65, p = .029$). Die Interaktion zwischen den Faktoren Zeitdruck und Gruppe zeigt hier keinen signifikanten Einfluss ($F(1,18) = 2.89, p = .107$). Auch die Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($F(1,18) = 116.96, p = .852$).

Interpretation Performanz. Die signifikante Interaktion von Zeitdruck und Gruppe weist darauf hin, dass der Unterschied der Performanz-Mittelwerte nicht auf den Effekt des Zeitdrucks alleine zurückgeführt werden kann, sondern gleichzeitig von der Gruppenzugehörigkeit abhängt. Der Haupteffekt Zeitdruck ist somit nicht global interpretierbar. Die zusätzlich disordinale Form der Interaktion (siehe Abbildung 21 und Liniendiagramm im Anhang F) kommt zustande durch die überraschend bessere Performanz der Lokführenden bei den Fahrten mit Zeitdruck im Gegensatz zu den Fahrten ohne Zeitdruck. Dies könnte auf mögliche Unterschiede des Schwierigkeitsgrades der Szenarien A und B hinweisen.

Der Haupteffekt Zeitdruck auf die Performanz stellt sich erst im finalen Teil der Simulationsfahrten, bei der SA-Performanz Stufe 8-11, als signifikant dar. Dieses Resultat weist darauf hin, dass möglicherweise erst beim finalen Teil der Szenarien die Komplexität genügend ansteigt, um die Wirkung des Zeitdrucks für die Testpersonen spürbar zu machen.

Der Haupteffekt Gruppe auf die SA-Performanz ist nicht signifikant, weder bei der Gesamtfahrt noch beim finalen Teil der Fahrt. Die beiden Gruppen unterscheiden sich also nicht.

8.3 Selbsteinschätzung

Pro Versuchsperson werden die SART-Total-Werte zweier Fragebogen zur Selbsteinschätzung analysiert. Durch Berechnung der einzelnen Items mit der im Kapitel 7.3.2 beschriebenen Formel kann das SART-Total Werte zwischen -14 und 46 annehmen. Es ist zu erwähnen, dass hier die Hinweise *mit Zeitdruck* und *ohne Zeitdruck* die Bedingung der einzuschätzenden Simulationsfahrt und nicht etwa die Bedingung des Fragebogenausfüllens an sich beschreiben.

Entsprechend der Hypothese 3 wird erwartet, dass die Selbsteinschätzung nach den Szenarien mit Zeitdruck tiefere SART-Total-Werte aufzeigt als nach den Szenarien ohne Zeitdruck.

Statistische Kennwerte SART-Total. Das Boxplot-Diagramm der Abbildung 24 zeigt die statistischen Kennwerte der Selbsteinschätzung durch die Versuchspersonen, unterteilt nach dem Faktor Zeitdruck. Das Diagramm zeigt ein tieferes SART-Total mit Zeitdruck ($Mdn = 22, SD = 4.85$) gegenüber einem höheren SART-Total ohne Zeitdruck ($Mdn = 25.5, SD = 7.25$). Die Punkte entsprechen zwei milden Ausreißern.

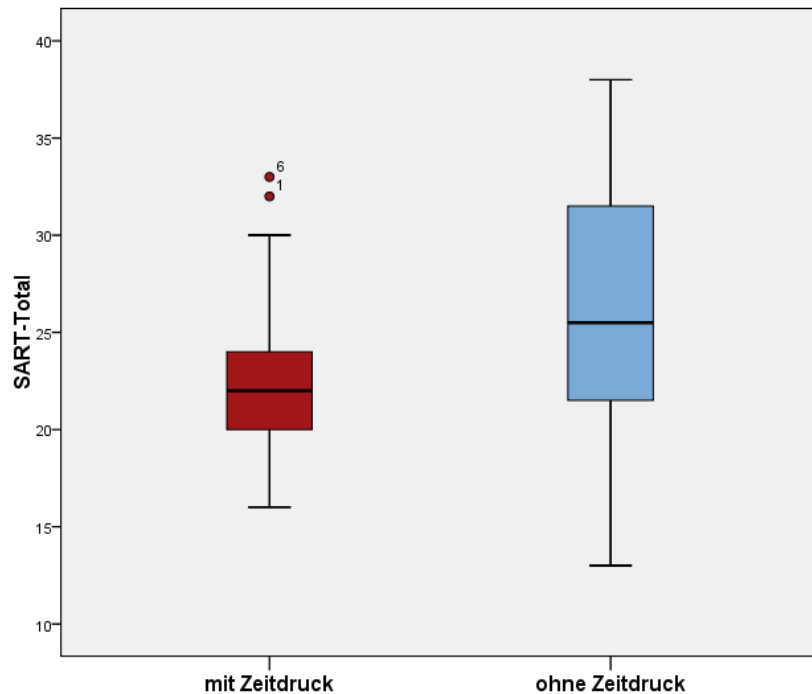


Abbildung 24. Boxplot-Diagramm mit Datenverteilung des SART-Totals

Das Balkendiagramm der Abbildung 25 visualisiert die Gruppenmittelwerte des SART-Totals entsprechend den experimentellen Bedingungen. Es zeigt, dass die Selbsteinschätzung nach den Fahrten mit Zeitdruck tiefer war als nach den Fahrten ohne Zeitdruck, sowohl bei Gruppe 1 mit $M = 24.7$ ($SD = 5.12$) gegenüber $M = 26.2$ ($SD = 8.16$) wie auch bei Gruppe 2 mit $M = 20.8$ ($SD = 3.88$) gegenüber $M = 25.9$ ($SD = 6.66$).

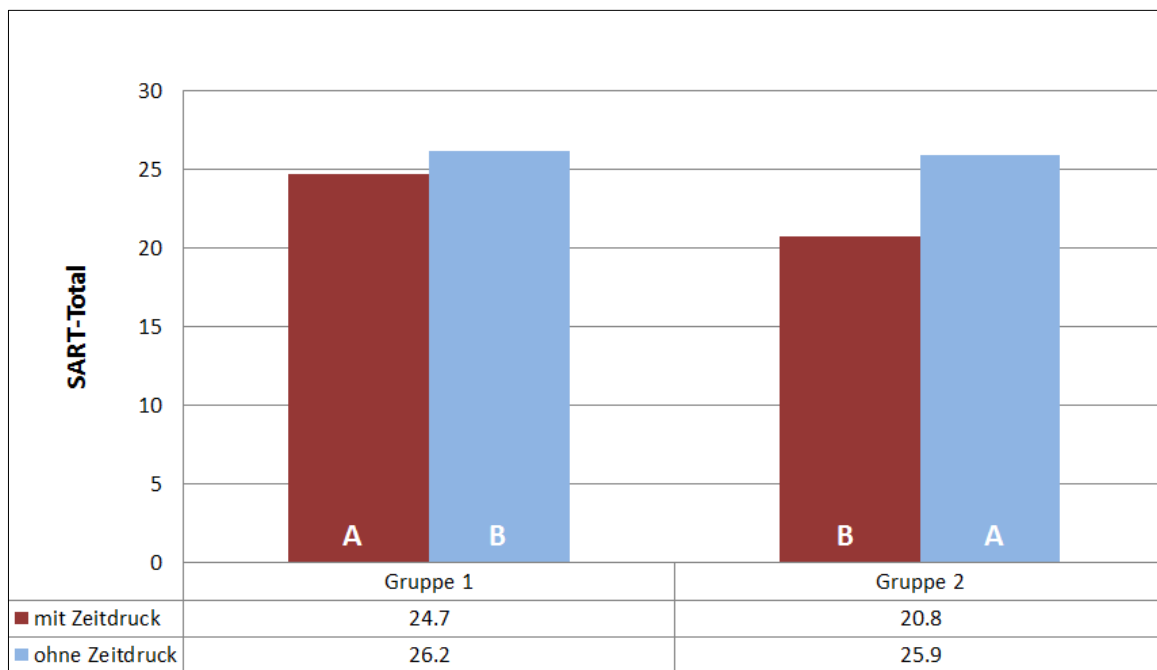


Abbildung 25. Gruppenmittelwerte des SART-Totals mit dem Faktor Zeitdruck (A: Szenario A; B: Szenario B)

Varianzanalyse mit Messwiederholung SART-Total. Der Einfluss des Faktors Zeitdruck auf die SART-Total-Werte der Selbsteinschätzung wird mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung untersucht. Zeitdruck entspricht dabei dem Innersubjektfaktor, die zwei Gruppen dem Zwischensubjektfaktor.

Bei den Tests der Innersubjekteffekte ist der Einfluss von Zeitdruck knapp nicht signifikant mit $F(1,18) = 3.67, p = .072$. Die Interaktion von Zeitdruck und Gruppe weist keine Signifikanzen auf ($F(1,18) = 1.09, p = .310$). Ebenfalls die Zwischensubjekteffekte sind nicht signifikant ($F(1,18) = 513.06, p = .343$).

Interpretation Selbsteinschätzung. Der Einfluss von Zeitdruck auf die Selbsteinschätzung scheint nicht sich nicht zu bestätigen. Die Mittelwertsunterschiede sind somit zufällig entstanden.

8.4 Vergleiche der Szenarien A und B

Die bisherigen Ergebnisse liefern Hinweise dafür, dass die Szenarien A und B unterschiedliche Schwierigkeitsgrade aufweisen. Dies wird im Folgenden analysiert.

Vergleiche zwischen den Szenarien. Zur vergleichenden Analyse zwischen den Szenarien wird ein T-Test bei unabhängigen Stichproben durchgeführt. Dabei werden die SA-Performanz- und die SART-Total-Werte zwischen den 20 Szenario-A-Fahrten und den 20 Szenario-B-Fahrten verglichen. Der Faktor Zeitdruck wird hier nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse zeigen für die SA-Performanz einen hochsignifikanten Unterschied der Mittelwerte ($t(30) = 3.25, p = .003$) zwischen Szenario A und Szenario B. Die Mittelwerte des SART-Totals zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen Szenario A und Szenario B ($t(38) = .90, p = .374$).

Vergleiche innerhalb der Szenarien. Aufgrund der obigen Befunde wird untersucht, wie sich der Faktor Zeitdruck auswirkt, wenn die Mittelwerte innerhalb der 20 Szenarien A und innerhalb der 20 Szenarien B verglichen werden. Anhand eines Tests mit gepaarten Stichproben werden folgende vier Paare untersucht:

- Performanz bei Szenario A: mit Zeitdruck / ohne Zeitdruck
- Performanz bei Szenario B: mit Zeitdruck / ohne Zeitdruck
- SART-Total nach Szenario A: mit Zeitdruck / ohne Zeitdruck
- SART-Total nach Szenario B: mit Zeitdruck / ohne Zeitdruck

Die Ergebnisse zeigen bei allen vier Paaren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten mit Zeitdruck und den Mittelwerten ohne Zeitdruck.

Interpretation Vergleiche der Szenarien A und B. Die Hinweise darauf, dass die beiden Szenarien unterschiedliche Schwierigkeitsgrade aufweisen könnten (Abbildung 21), bestätigen sich somit, wie erwartet, für die Performanz, nicht aber für die Selbsteinschätzung.

Beim Vergleich innerhalb der Szenarien zeigen die nicht-signifikanten Ergebnisse bei allen vier Paaren, dass auch hier kein Effekt des Faktors Zeitdruck feststellbar ist.

V. DISKUSSION, LÖSUNGSANSÄTZE UND FAZIT

9. DISKUSSION

In diesem Kapitel werden die Hypothesen anhand der statistischen Ergebnisse diskutiert und die Methodik der Arbeit kritisch betrachtet. Die Grenzen dieses Bachelorprojekts werden anhand von Ideen für allfällige Nachfolgeprojekte aufgezeigt.

9.1 Ergebnisdiskussion

Hypothese 1. Die Ergebnisse der Simulator-Experimente zeigen, dass die Performanz und die Selbsteinschätzung der Lokführenden zusammenhängen. Allerdings trifft sie nur zu für die Simulationsfahrten mit Zeitdruck, nicht aber für die Simulationsfahrten ohne Zeitdruck. Hier scheint die objektive und die subjektive Messung der SA nicht übereinzustimmen, was auch von Endsley, Selcon, Hardiman und Croft (1998) so beschrieben wurde. Dies wird weiter erläutert in der nachfolgenden Methodendiskussion.

Hypothese 2. Auch die Untersuchung von Zeitdruck ergab nicht ein einheitliches Ergebnis. Obschon die meisten errechneten Mittelwerte rein numerisch den erwarteten Effekten entsprachen, ließen sich diese jedoch statistisch nicht erhärten. Der erwartete Haupteffekt von Zeitdruck auf die SA-Performanz konnte also nicht bestätigt werden. Hier zeigte nur ein untersuchter Ausschnitt des letzten Teils der Simulationsfahrten (Stufe 8-11) signifikante Unterschiede zwischen der SA-Performanz mit und der SA-Performanz ohne Zeitdruck ($F(1,18) = 5.65, p = .029$). Dieser letzte Teil der Fahrten ist charakterisiert durch eine ansteigende Komplexität, was auch als ein „Zuspitzen der Situation“ (z. B. Notruf in Szenario B) bezeichnet werden kann. Dass sich ausschließlich hier der Zeitdruck als signifikanter Effekt auf die Leistung erwiesen hat, könnte eine Bestätigung der Yerkes-Dodson-Kurve darstellen (Yerkes & Dodson, 1908). Während der Zeitdruck die Lokführenden in den ersten Stufen der Szenarien möglicherweise eher motiviert und zu guter Leistung angeregt hat, wird die übermäßige Aktivierung des Zeitdrucks erst in Zusammenhang mit zunehmenden Belastungen spürbar und äußert sich zum Schluss durch einen Leistungsabfall. Dies entspricht auch den Ausführungen von Semmer (2013), der besagt, dass unter Stress Routineaufgaben noch relativ gut ausgeführt werden können, hingegen die Durchführung komplexer Aufgaben erschwert ist.

Hypothese 3. Der erwartete Haupteffekt von Zeitdruck auf die Selbsteinschätzung konnte nicht aufgezeigt werden. Dies ist nicht weiter überraschend, bezog sich doch die Selbsteinschätzung jeweils auf die scheinbar „zeitdruckunsensiblen“ Gesamtfahrten und nicht nur auf den finalen Teil der Szenarien. Das heißt, wenn die Lokführenden trotz Zeitdruck gute Leistungen bei der Simulationsfahrt gezeigt haben, mag auch die anschließende, gute Selbsteinschätzung nicht erstaunen. Dieser Zusammenhang von Selbsteinschätzung und Performanz wurde bei Hypothese 1 bereits erwähnt. Er wird von Endsley et al. (1998) auch als möglicher Nachteil des SART-Fragebogens diskutiert, da eine gute Performanz nicht zwingend mit einer guten Situation Awareness gleichzusetzen ist.

9.2 Methodendiskussion

In dieser Arbeit wurde versucht, das psychologische Konstrukt der SA durch verschiedenen Methoden zu erfassen. Wie allen methodischen Versuchen, Situation Awareness zu messen, sind auch der durchgeführten Messung über die SA-Performanz wie über die Selbsteinschätzung mit dem SART-Fragebogen Grenzen gesetzt.

Die Grenzen der Performanzmessung zeigten sich einerseits in der anspruchsvollen Aufgabe, zwei Szenarien mit SA-relevanten Stufen und gleichzeitig balancierter Komplexität zu gestalten. Zudem besteht bei dieser Messform die Schwäche, dass nicht das eigentliche Situationsbewusstsein, sondern nur die daraus resultierende Handlungsausführung gemessen wird. Pritchett & Hansman (2008) diskutieren diese Schwierigkeit ausführlich.

Die Methode der Selbsteinschätzung SART hat den Vorteil der einfachen und raschen Anwendung und des möglichen Einsatzes in verschiedenen Bereichen mit SA-Relevanz. Zudem kann der Fragebogen sowohl für simulierte wie auch für realistische Settings eingesetzt werden (Endsley, 1995b). An der SART wird hauptsächlich kritisiert, dass wir nur begrenzt fähig sind, unsere eigene SA einzuschätzen, da uns nicht bewusst ist, was wir *nicht* wissen (Endsley, 1995b). Z. B. kann eine Lokführerin ein Signal übersehen oder eine Haltestelle verpassen und – vorausgesetzt, dass es nicht zu einem Unfall geführt hat - die Situation Awareness im Anschluss trotzdem als hoch einschätzen.

Endsley et al. (1998) haben in einer Vergleichsstudie zwischen SART und objektiven Messungen der SA keinerlei Korrelationen feststellen können und stellen daher die Validität einer subjektiven SA-Messung grundsätzlich in Frage. Dennoch sehen sie in ihr eine wertvolle Ergänzung zu objektiven Methoden, bietet die subjektive Selbsteinschätzung doch weitere, über die Performanz nicht messbare Hinweise für die individuelle, innere Repräsentation der SA.

Die Verwendung eines Fahrsimulators liefert kein Abbild der Wirklichkeit, aber ermöglicht viel Kontrolle und Freiraum für die Gestaltung eines Experiments. Sowohl alltägliche wie auch ausserordentliche oder gar extreme Ereignisse können in einer Fahrt simuliert und von Lokführenden ohne drohende Gefahr durchlaufen werden. Dies kann einerseits dazu führen, dass die Simulationsfahrten von einigen Versuchspersonen nicht sehr ernst genommen und eher als „Game“ betrachtet werden. Andererseits können die Versuchspersonen ihre Simulationsfahrten auch ganz besonders aufmerksam und konzentriert absolvieren, in der ständigen Erwartung, dass etwas passieren wird. Diese Überlegungen müssen bei der Interpretation der Ergebnisse auch miteinbezogen werden.

9.3 Grenzen des Bachelorprojekts und Ideen für Folgeprojekte

Die vorliegende Bachelor Thesis zeigt gewisse Begrenzungen auf, welche grösstenteils bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben worden sind. Weitere Grenzen sollen hier anhand von Ideen für allfällige Folgeprojekte aufgezeigt werden:

- Erhöhung der Stichprobengrösse zur Verstärkung der statistischen Aussage
- Prüfung weiterer Variablen, welche die SA beeinflussen könnten wie z. B. Arbeitserfahrung, Training in Sicherheitsthemen, Alter usw.
- Quantitative Datenauswertung der einzelnen Kategorien des SART-Fragebogen
- Quantitative Auswertung der einzelnen, durchlaufenen SA-Stufen der Szenarien
- Qualitative Auswertung der durchlaufenen SA-Stufen

Hier ist zu erwähnen, dass die meisten obengenannten Daten bereits während der vorliegenden Studie erhoben worden sind. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit konnten sie jedoch nicht ausgewertet werden. Während der Experimente mit den Lokführenden wurden zusätzliche qualitative und quantitative Daten durch den Auftraggeber erhoben. Eine Verwendung und allfällige Verknüpfung dieser Daten würde sicherlich zu interessanten Ergebnissen führen.

10. LÖSUNGSANSÄTZE

Diese Studie hat gezeigt, dass Situation Awareness im Arbeitsalltag von Lokführenden eine wichtige Rolle spielt und eine elementare Voraussetzung für eine sichere Zugsführung darstellt. Untersuchungen in Grossbritannien haben gezeigt, dass durch die Einführung von verschiedenen Sicherheitsmassnahmen, darunter auch Situation Awareness-Trainings mit Lokführenden, die Zahl der Signalfälle deutlich gesenkt werden konnte (Metcalf, 2006). Wie bereits beschrieben wurde, kommen diese Signalfälle auch in der Schweiz gehäuft vor und zählen zu den „heissen Themen“ unter den sicherheitskritischen Ereignissen (SUST, 2013).

Wie also kann die Situation Awareness von Lokführenden verbessert und dadurch die Sicherheit auf den Schienen erhöht werden? Die in der Folge aufgeführten Themen stellen mögliche Ansatzpunkte dar, um Lokführenden den Aufbau und Erhalt einer adäquaten Situation Awareness zu erleichtern oder überhaupt zu ermöglichen. Die Lösungsansätze sind abgeleitet aus der Wissenschaftsliteratur wie auch aus den empirischen Teilen dieser Arbeit.

Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Situation Awareness bieten grundsätzlich alle Einflussfaktoren, welche im SA-Modell von Endsley aufgeführt sind (Abbildung 26). Die Aufgaben- und Umgebungsfaktoren im oberen Teil und die individuellen Faktoren im unteren Teil können sich je nach Zustand, Inhalt oder Ausprägung entweder positiv oder negativ auf die SA auswirken.

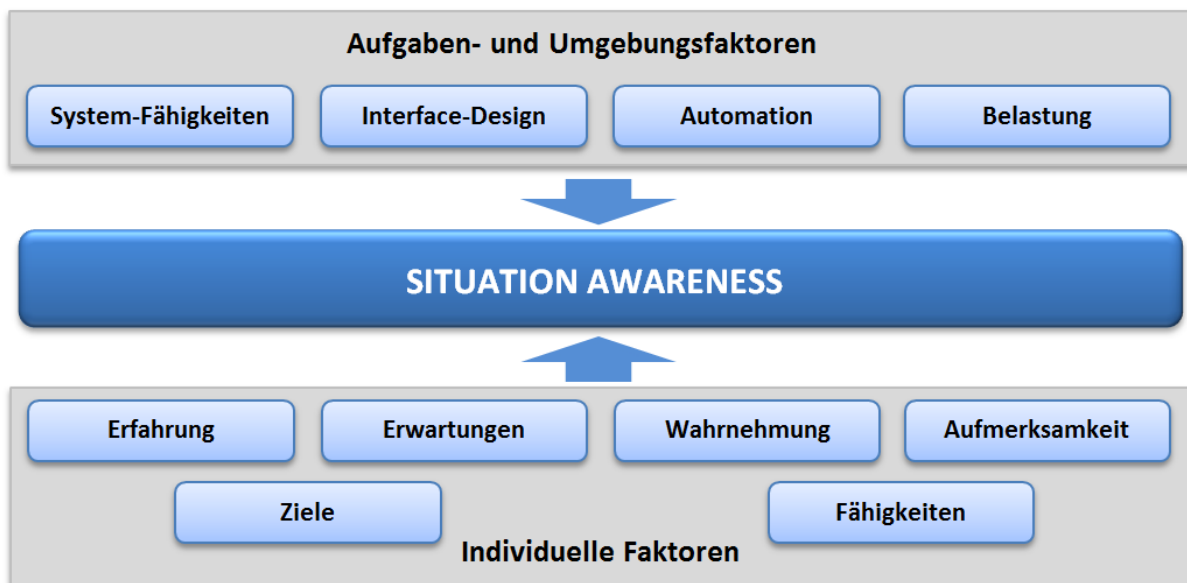


Abbildung 26. Einflussfaktoren für Lösungsansätze zur Verbesserung der Situation Awareness (Stoller, 2013, nach Endsley, 1995a)

10.1 Aufgaben- und Umgebungsfaktoren

Bei diesen äusseren Einflüssen, welche auch organisationale Faktoren beinhalten, kann eine Verbesserung der Situation Awareness durch Beachtung folgender Punkte erreicht werden:

- Optimale Gestaltung und Platzierung von Displays und Signalisierungen

- Sinnvoller Einsatz der Automatisierung und damit der Aufgabenaufteilung zwischen Mensch und Maschine
- Ausreichende Vorrichtungen zur Wachsamkeitsunterstützung
- Klare und sinnmachende Regeln und Normen für den Umgang mit gefährlichen Situationen
- Geeignete Arbeitsorganisation mit Vermeidung von übermässigen, gleichzeitigen Aufgaben und Belastungen

Weiterführende Literatur zu diesen Themen findet sich in Endsley et al., 2003; Haarmann, 2007; Moluloua, Hancock, Jones und Vincenzi, 2010; Stanton und Barber, 2006; Wilson, Farrington-Darby, Cox, Bye und Hockey, 2007 oder Wilson und Norris, 2006.

10.2 Individuelle Faktoren

Diese inneren Einflüsse können vorwiegend durch Trainings mit den Lokführenden zu einer Verbesserung der SA führen. Situation Awareness-Trainings dieser Art werden bei Pilotinnen, Fluglotsen wie auch bei Lokführenden bereits angewendet (Fischer et al., 2010). Sie sind vergleichbar mit dem in der Aviatik seit vielen Jahren standardmässig eingesetzten Crew Resource Management (Endsley & Garland, 2000). Nach einem von Fischer et al. (2010) entwickelten SA-Training für Lokführende werden u. a. folgende Inhalte empfohlen:

- Erkennen von und Umgang mit Grenzen der Aufmerksamkeit: Verteilung und Fokussierung der Aufmerksamkeit, Ermüdung und Vigilanzabfall bei monotonen Tätigkeiten, innere und äussere Ablenkung
- Vermittlung von Strategien für den Umgang mit schwierigen oder belastenden Bedingungen im Arbeitsalltag (Stressmanagement)
- Sensibilisierung für Probleme bei automatisierten Abläufen
- Kennenlernen der Bedeutung von Training und Expertise
- Umgang mit der eigenen Motivation, mit Erwartungen und Zielen
- Erkennen des persönlichen Risikoverhaltens

In der Schweiz wird das obengenannte SA-Training bereits seit einigen Jahren mit Lokführenden und anderen Berufsgruppen der Schweizerischen Bundesbahnen SBB eingesetzt. Die Schulungen der nach dem SA-Modell von Endsley modular aufgebauten Trainingsteile werden dabei kombiniert mit Lektionen direkt am Arbeitsplatz sowie mit Übungen am Fahrsimulator (Fischer et al., 2010).

Weitere Empfehlungen zu Situation-Awareness-Training finden sich in Endsley und Garland, 2000; Fischer et al., 2010; Hoermann et al., 2002 oder Strohschneider, 2008.

11. FAZIT UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Situation Awareness von Lokführenden während sicherheitskritischer Ereignisse im Bahnverkehr. Dabei wurde das psychologische Konstrukt der Situation Awareness aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet. Anhand von Wissenschaftsliteratur und Unfallberichten konnten in einem ersten Schritt theoretische wie auch reale Faktoren der SA analysiert werden. Darauf aufbauend wurde in einem zweiten Schritt Experimente zur Untersuchung der SA von Lokführenden unter Verwendung eines Fahrsimulators durchgeführt. Ziel der Experimente war einerseits die Messung des Konstrukts der Situation Awareness, und andererseits die Untersuchung des Effekts von Zeitdruck als ein aus Theorie und Praxis oft beschriebener Stressfaktor in sicherheitskritischen Situationen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Messung der Situation Awareness sowohl über eine objektive Beobachtung der Performanz wie auch über die subjektive Selbsteinschätzung möglich ist und die beiden Erhebungsformen unter bestimmten Bedingungen zusammenhängen. Wie allen Versuchen, die SA zu operationalisieren, sind jedoch auch diesen beiden Messformen Grenzen gesetzt und lassen weiterhin die Frage offen, wie das psychologische Konstrukt der Situation Awareness am besten erfasst werden kann.

Die Untersuchung von Zeitdruck führte zu Hinweisen dafür, dass sich dieser mentale Belastungsfaktor nicht grundsätzlich negativ auswirkt, jedoch bei erhöhter Komplexität der Situation zu einer reduzierten Performanz führt. Diese Ergebnisse können mit der Yerkes-Dodson-Kurve (Yerkes & Dodson, 1908) erklärt werden, zeigen sie doch auf, dass der Zeitdruck im ersten Teil der Simulationsfahrten, bei nur mäßigem Stresseinfluss, keine oder gar eine positive und motivierende Wirkung auf die Leistung ausübt und dieser erst unter Zunahme weiterer Belastungsfaktoren zu einer leistungseinschränken- den Aktivierung der Lokführenden im finalen Teil der Simulationsfahrten führt.

Die vorliegende Arbeit hat aufgezeigt, dass Lokführende ihre Arbeitsaufgaben korrekt und sicher erfüllen können, wenn sie die Umgebungsinformation richtig wahrnehmen und verstehen und so die erforderlichen Schritte einleiten können. Faktoren wie erhöhte mentale Belastung, fehlendes Systemwissen, Monotonie oder schlecht sichtbare Signalisierung erschweren den Aufbau einer adäquaten Situation Awareness. Diese gehört jedoch zu den elementaren Voraussetzungen einer sicheren Zugsführung und sollte, ähnlich wie in der Aviatik, auch im Bahnverkehr die nötige Beachtung erhalten. Dazu braucht es weitere wissenschaftliche Untersuchungen von Faktoren, welche die Situation Awareness von Lokführenden positiv oder negativ beeinflussen - und entsprechende sicherheitsförderliche Massnahmen für Mensch, Technik und Organisation. Unerlässlich dafür ist eine gute Zusammenarbeit von Fachleuten aus den Bereichen Psychologie, Sicherheit, Ergonomie, Arbeits- und Ingenieurwissenschaften, um die Arbeitssysteme derart zu gestalten, dass sie die menschlichen Fähigkeiten als Stärken nutzen und damit zu einer erhöhten Sicherheit im Bahnverkehr beitragen.

12. LITERATURVERZEICHNIS

- Baddeley, A. D. (2012). Selective Attention and Performance in Dangerous Environments. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 5(1), 85-91.
- Bühl, A. (2008). *SPSS. Einführung in die moderne Datenanalyse*. Pearson Verlag, München.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (2013). Verfügbar unter <http://www.uvek.admin.ch/org/00469/02946/02958/index.html?lang=de> [26.05.2013]
- Endsley, M. R. (1995a). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Endsley, M. R. (1995b). Measurements of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 65-84.
- Endsley, M. R., Bolté, B. & Jones, D. G. (2003). *Designing for Situation Awareness: an Approach to User-Centered Design*. NY: Taylor & Francis.
- Endsley, M. R. & Garland, D. J. (2000). Pilot Situation Awareness Training in General Aviation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 2000*, 2, 357-360.
- Endsley, M. R., Selcon, S. J., Hardiman, T. D. & Croft, D. G. (1998). A Comparative Analysis of SAGAT and SART for Evaluations of Situation Awareness. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 1998*, 42, 82-86.
- Fischer, K., Gasser, R., & Hönger, A. (2010). Entwicklung eines Situation Awareness Trainings für Lokführer. In *Verband Deutscher Eisenbahningenieure e.V. (Hrsg.), EIK - Eisenbahn Ingenieur Kalender 2010*, 243-250.
- Flick, U. (2006). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung* (4. Aufl.). Hamburg: Rowohlt Verlag.
- Frieling, E. & Sonntag, K. (1999). *Lehrbuch Arbeitspsychologie* (2. Aufl.). Bern: Verlag Hans Huber.
- Haarmann, A. (2007). *Der Einsatz psychophysiologischer Variablen bei der adaptiven Automatisierung am Beispiel einer Flugsimulationsaufgabe*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.
- Hacker, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Hoermann, H. J., Banbury, S., Blokzijl, C., Dudfield, H., Lamers, J., Lehmann et al. (2003). *Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in training ES-SAI. WP 5. Experimental Validation*. ESSAI/DLR/WPR/WP5/2.0. EC DG-TREN. Contract No.: 2000-RD.10450. Retrieved May 27, 2013 from <http://essai.nlr.nl/downloads.htm>

- Hoermann, H. J., Soll, H., Lighthart, V, Schuver van Blanken, M & Lamers, J. (2002). *Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in training ESSAI. WP 3. Training Analysis*. ESSAI/DLR/WPR/WP3/2.0. EC DG-TREN. Contract No.: 2000-RD.10450. Retrieved May 27, 2013 from <http://essai.nlr.nl/downloads.htm>
- Hofinger, G. (2008). Fehler und Unfälle. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.) *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 36-57). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Jones, D. G. & Endsley, M. R. (1996). Sources of Situation Awareness Errors in Aviation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67(6), 597-512.
- Jungermann, H., Pfister, H.-R. & Fischer, K. (2005). *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung* (2. Aufl.). München: Elsevier GmbH.
- Klein, G. (1989). A Recognition-Primed Decision (RPD) Model of Rapid Decision Making. *Decision Making in Action. Models and Methods*, 5(4), 138-147
- Klein, G. (2008a). Naturalistic Decision Making. *Human Factors*, 50(3), 456–460.
- Klein, G. (2008b). Analysis of Situation Awareness from Critical Incident Reports. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness Analysis and Measurement* (pp. 51-71). NY: Taylor & Francis.
- Lazarus, R. S. (1993). From Psychological Stress to the Emotions. A History of Changing Outlooks. *Annual Reviews of Psychology*, 44(1), 1- 22.
- Metcalf, R. (2006). Management of SPAD Risk – the UK Experience. In *Conference on Railway Engineering, Melbourne 2006*, 465-469.
- Moluloua, M., Hancock, P. A., Jones, L. M. & Vincenzi, D. (2010). Automation in aviation systems. Issues and considerations. In *Handbook of Aviation Human Factors* (2nd Ed.) (chap. 8-1). NY: Taylor & Francis.
- Peters, G. A. & Peters, B. J. (2008). *Medical Error and Patient Safety. Human Factors in Medicine*. NY: Taylor & Francis.
- Pritchett, A. R. & Hansman, R. J. (2008). Use of testable responses for performance-based measurement of situation awareness. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness Analysis and Measurement* (p. 189-210). CRC Press.
- Reason, J. T. (1990). *Menschliches Versagen. Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum.
- Reason, J. T. (2000). Human Error. Models and Management. *British Medical Journal*, 320, 768-770.
- Schaub, H. (2008). Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und „Situation Awareness“ (SA). In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 59-76). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

- Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST (2013). Verfügbar unter <http://www.sust.admin.ch/de/> [26.05.2013].
- Semmer, N. K. (2013, April). Stress am Arbeitsplatz – ein notwendiges Übel? Referat an der Messe Personal-Swiss Zürich, Gesundheitsförderung Schweiz
- Stanton, N. A. & Barber, C. (2006). The Ergonomics of Command and Control. *Ergonomics*, 49 (12-13), 1131-1138.
- Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Baber, C. & Jenkins, D. P. (2006). *Human Factors Methods. A Practical Guide for Engineering and Design*. Ashgate.
- Strohschneider, S. (2008). Human-Factors-Training. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 289-306). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Suter, J. (2013). *Dynamisches Eisenbahn System Modell DESM*. Verfügbar unter <http://www.desm.ch> [24.05.2013].
- Taylor, R. M. (1990). Situational Awareness Rating Technique (SART): The Development of a Tool for Aircrew Systems Design. *Situational Awareness in Aerospace Operations* (AGARD-CP-478). pp. 3/1 – 3/17, Neuilly Sur Seine, France: NATO-AGARD.
- Trimmel (2011). *Allgemeine Psychologie 2: Kognitive Psychologie. Grundlagen und Anwendungen (Human Factors) der menschlichen Informationsverarbeitung*. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Widmer, P. S., Semmer, N. K., Kälin, W., Jacobshagen, N. & Meier, L. L. (2012). The ambivalence of challenge stressors: Time pressure associated with both negative and positive well-being. *Journal of Vocational Behavior*, 80, 422–433.
- Wilson, J. R., Farrington-Darby, T., Cox, G., Bye, R. & Hockey, G. R. J. (2007). The Railway as a Socio-technical System: Human Factors at the heart of Successful rail Engineering, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F, *Journal of Rail and Rapid Transit*, 221(1), 101-115.
- Wilson, J. R. & Norris, B. J. (2006). Human Factors in Support of a Successful Railway: A Review. *Cognition, Technology and Work*, 8(1), 4-14.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459-482. Verfügbar unter <http://psychclassics.yorku.ca/Yerkes/Law/> [02.06.2013].

13. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Situation Awareness im Fokus dreier Sichtweisen	3
Abbildung 2	Das Modell des Situationsbewusstseins nach Endsley.....	5
Abbildung 3	Ursachen von SA-Fehlern.....	6
Abbildung 4	Tunnelblick	7
Abbildung 5	SA-Stressoren	7
Abbildung 6	Out-of-the-loop Syndrom	8
Abbildung 7	Gedächtnisfälle	8
Abbildung 8	Schemata, mentale Modelle und Situation Awareness	9
Abbildung 9	Recognition-Primed Decision Model	11
Abbildung 10	Belastungs- und Beanspruchungskonzept	13
Abbildung 11	Yerkes-Dodson-Kurve	13
Abbildung 12	Schweizer Käsescheibenmodell zur Fehlerentstehung	14
Abbildung 13	Fehlerklassifikation	15
Abbildung 14	Ausschnitt aus dem Kategoriensystem der Unfallberichten.....	18
Abbildung 15	Versuchsplan mit vier Gruppen und experimentellen Bedingungen	24
Abbildung 16	Fahrsimulator Re 460, Innenansicht.....	25
Abbildung 17	Fahrsimulator Re 460, Aussenansicht	25
Abbildung 18	Bildung der Gruppe 1 und 2 aus den bisherigen Gruppen 1 - 4	27
Abbildung 19	Mittelwerte der SA-Performanz pro SA-Stufe 1-11	28
Abbildung 20	Boxplot-Diagramm SA-Performanz	29
Abbildung 21	Gruppenmittelwerte der SA-Performanz.....	30
Abbildung 22	Boxplot-Diagramm SA-Performanz Stufe 8-11	31
Abbildung 23	Gruppenmittelwerte der SA-Performanz Stufe 8-11	31
Abbildung 24	Boxplot-Diagramm SART-Total	33
Abbildung 25	Gruppenmittelwerte des SART-Totals.....	33
Abbildung 26	Einflussfaktoren der Situation Awareness	37

14. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	<i>Situation Awareness Rating Technique in formaler Darstellung</i>	23
Tabelle 2	<i>Gemischtes Design des Experiments mit dem Fahrsimulator</i>	23
Tabelle 3	<i>Matrixform der vier experimentellen Bedingungen</i>	26

15. ANHANG

- Anhang A** Taxonomie der SA-Fehler
- Anhang B** Kategoriensystem der Unfallberichte
- Anhang C** Stufenbeschreibung der Szenarien A und B
- Anhang D** Drehbücher zu den Szenarien A und B
- Anhang E** Situation Awareness Rating Technique SART
- Anhang F** Tabellen und Diagramm der statistischen Datenanalyse

Anhang A Taxonomie der SA-Fehler (übersetzt nach Jones & Endsley, 1996)

SA-Fehler der Ebene 1	76.3 %
<p>Nicht verfügbare Information durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fehler in System & Design • Fehler in der Kommunikation • Fehler des Teams in Aufgabenbearbeitung 	11.6%
<p>Schwer erkennbare Information durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • schlechte Markierungen • schlechte Beleuchtung • Lärm im Cockpit 	11.6 %
<p>Nicht beobachtete Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auslassen eines Anzeige-Scans • Einengung der Aufmerksamkeit • Aufgabenbezogene Ablenkung • Ablenkung diverser Art • hohe mentale Arbeitsbelastung 	37.2 %
<p>Fehlwahrnehmung von Information durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erwartungshaltung 	8.7 %
<p>Gedächtnis-Fehler durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterbrechung in der Routine • hohe mentale Arbeitsbelastung • Ablenkung 	11.1 %
SA-Fehler der Ebene 2	20.3 %
<p>Unvollständiges mentales Modell durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • automatisierte Systeme • unbekannter Flugraum 	3.5 %
<p>Inkorrektes mentales Modell durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • fehlende Passung der Information zum erwarteten mentalen Modell oder zum Modell des gewohnten Systems 	6.4 %
<p>Über-Vertrauen in falsche Werte durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • generelle Erwartungen in das System-Verhalten 	4.7 %
SA-Fehler der Ebene 3	3.4 %
Unvollständiges oder schlechtes mentales Modell	0.4 %
Über-Projektion aktueller Trends	1.1 %
Anderes	1.9 %

Anhang B Kategoriensystem der Unfallberichte

Kategoriensystem der Dokumentenanalyse Fallberichte der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST

Bemerkung: sämtliche Inhalte in Kursivschrift sind so direkt aus den Unfallberichten entnommen worden

Themenpunkte aus den Berichte							Neue Kategorien		
Nr.	Datum	Ort	A Ursache bei der lokführenden Person	B Wetter / Schienen- zustand	C Medizi- sche Fest- stell-ungen	D Arbeits- rechtliche Beurteilung	E Menschliches	F Hinweise auf Ver- spätung vor dem Ereig- nis	G Hintergründe der Ursache
1	110808	Döttingen	<i>Die Kollision ist auf das Abfahren von Zug 25945 bei „Halt“ signalisierendem Ausfahrtsignal „C“ zurückzuführen.</i>	<i>Tag. Bedeckt. Schienen trocken. Sicht gut.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	(keine Angaben)	(keine Angaben)	<i>Bei der Vorbeifahrt von Zug 25945 am „Warnung“ signalisierendem Ausfahrtsignal C* hat der Lokführer die Warnung quittiert.</i>
2	100915	Magadino	<i>Offensichtlich wurden die Bremsvorschriften weder in Piacenza (Italien) noch nach dem ausserordentlichen Halt in Laveno-Mombello (Italien) eingehalten.</i>	<i>Dämmerung. Schienen trocken.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	(keine Angaben)	(keine Angaben)	<i>• Der Lokführer von Zug 40184 hat, gemäss seinen Aussagen, nach dem Halt in Luino (Italien) eine Bremsprobe auf Wirkung gemacht. Seine Feststellung war, dass nach seinem Gefühl "die Wirkung leicht schlecht, aber im Rahmen des Erwarteten" gewesen sei.</i>
3	100624	Felsen-burg	<i>Nicht Beachten des Halt zeigenden Ausfahrtsignals 26C1 durch Zug RE 3285.</i>	<i>Nacht, Schienen trocken.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	(keine Angaben)	<i>Zug RE 3285 fuhr mit einer Verspätung von einer Minute in Frutigen ab.</i>	<i>Der Lokführer bestätigte das Warnsignal ohne zugleich die Fahrt zu beenden. Aus unbekanntem Grund fuhr der Zug RE 3285 beim Halt über das Ausfahrtsignal 26C1 vorbei.</i>

4	100128	Brig	Nicht Beachten des "Halt" zeigenden Gleissignal H 39 durch den Lf des BLS Zuges 43695	Nacht, kalt, Schienen trocken	(...) keine Hinweise auf ein Gesundheitsproblem gefunden, welches seine Konzentration hätte stören können.	(...) keine Verstöße (...)	Der Lf hat die Geschwindigkeitserhöhung nicht bemerkt. Es ist nicht möglich endgültig nachzuweisen, ob (...) der Doppelton den Lokführer falsch beeinflusst hat und er danach unbewusst Zugkraft gegeben hat.	(keine Angaben)	<ul style="list-style-type: none"> • (...) blättert in seinem RADN. Danach ertönte der Doppelton der Geschwindigkeitsmessung. Der Lf hatte das geschlossene Gleissignal H 39 nicht bemerkt. - Der Lokführer bestätigt bei seiner zweiten Einvernahme, dass er in Brig RB keine Zugkraft bewusst gegeben hat. • Der Lokführer des BLS Zuges 43695 war nicht konzentriert.
5	091118	Wildegg	Unaufmerksamkeit des Lokführers nach einem Telefongespräch.	Tag, gute Sicht, Schienen trocken.	(...) nichts bekannt.	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	<p>Kurz vor dem Ereignis bekam der Lokführer einen Telefonanruf von einem Kollegen. (...) Er fragte den Lokführer, ob er seinen Dienst verlängern möchte, da ein Kollege wegen gesundheitlicher Probleme ausfallen würde.</p> <p>Der Lokführer war durch seine Gedanken (nach dem Telefongespräch) lenkt und nahm das Einfahrersignal D 93* in Wildegg nicht wahr. Die Annäherung an das Einfahrersignal D93 war er aber überrascht, da er "Halt" zeigte.</p>

Kategoriensystem der Dokumentenanalyse
Fallberichte der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST

Bemerkung: sämtliche Inhalte in Kursivschrift sind so direkt aus den Unfallberichten entnommen worden

Themenpunkte aus den Berichte								Neue Kategorien			
Nr.	Datum	Ort	A Ursache bei der lokführenden Person	B Wetter / Schienen- zustand	C Medizinische Feststell- ungen	D Arbeits- rechtliche Beurteilung	E Menschliches	F Hinweise auf Verspätung vor dem Ereignis	G Hintergründe der Ursache	H Thema der Ursache	J Ebene der Situation Awareness
1	110808	Döttingen	<i>Die Kollision ist auf das Abfahren von Zug 25945 bei „Halt“ signalisierendem Ausfahrtsignal „C“ zurückzuführen.</i>	<i>Tag. Bedeckt. Schienen trocken. Sicht gut.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Bei der Vorbeifahrt von Zug 25945 am „Warnung“ signalisierenden Ausfahrtsignal C* hat der Lokführer die Warnung quittiert.</i>	Signalfall	3
2	100915	Magadino	<i>Offensichtlich wurden die Bremsvorschriften weder in Piacenza (Italien) noch nach dem ausserordentlichen Halt in Laveno-Mombello (Italien) eingehalten.</i>	<i>Dämmerung. Schienen trocken.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>• Der Lokführer von Zug 40184 hat, gemäss seinen Aussagen, nach Abfahrt in Luino (Italien) eine Bremsprobe auf Wirkung gemacht. Seine Feststellung war, dass nach seinem Gefühl "die Wirkung leicht schlecht, aber die Verzögerung im Rahmen des Erwarteten" gewesen sei.</i>	Brems-probe	2
3	100624	Felsen- burg	<i>Nicht Beachten des Halt zeigenden Ausfahrtsignals 26C1 durch Zug RE 3285.</i>	<i>Nacht, Schienen trocken.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Zug RE 3285 fuhr mit einer Verspät-ung von einer Minu-te in Frutigen ab.</i>	<i>Der Lokführer bestätigte das Warnsignal ohne zugleich die Fahrt zu verlangsamen. Aus unbekanntem Gründen fuhr der Zug RE 3285 beim Halt zeigenden Ausfahrtsignal 26C1 vorbei.</i>	Signalfall	3
4	100128	Brig	<i>Nicht Beachten des "Halt" zeigenden Gleissignal H 39 durch den Lf des BLS Zuges 43695</i>	<i>Nacht, kalt, Schienen trocken</i>	<i>(...) keine Hinweise auf ein Gesundheitsproblem gefunden, welches seine Konzentration hätte stören können.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	<i>Der Lf hat die Geschwindigkeitserhöhung nicht bemerkt.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>• (...) blättert in seinem RADN. Danach ertönte der Doppelton der Zugslängenmessung. Der Lf hatte das geschlossene Gleissignal H 39 nicht wahrgenommen. - Der Lokführer bestätigt bei seiner zweiten Einvernahme, dass er bei Durchfahrt in Brig RB keine Zugkraft bewusst gegeben hat. • Der Lokführer des BLS Zuges 43695 war nicht konzentriert.</i>	Signalfall	1
5	091118	Wildeggen	<i>Unaufmerksamkeit des Lokführers nach einem Telefongespräch.</i>	<i>Tag, gute Sicht, Schienen trocken.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Kurz vor dem Ereignis bekam der Lokführer einen Telefonanruf vom Disponenten. (...) Er fragte den Lokführer, ob er seinen Dienst verlängern könnte, da ein Kollege wegen gesundheitlicher Probleme ausfalle. Der Lokführer war durch seine Gedanken (nach dem Telefongespräch) abgelenkt und nahm das Einfahrtsignal D 93* in Wildeggen nicht wahr. Er quittierte die "Warnung" der Zugsicherung durch einen eingelebten Reflex. Bei Annäherung an das Einfahrtsignal D93 war er aber überrascht, dass dieses "Halt" zeigte.</i>	Signalfall	1

Nr.	Datum	Ort	A Ursache bei der lokführenden Person	B Wetter / Schienen- zustand	C Medizinische Feststell- ungen	D Arbeits- rechtliche Beurteilung	E Menschliches	F Hinweise auf Verspätung vor dem Ereignis	G Hintergründe der Ursache	H Thema der Ursache	J Ebene der Situation Awareness
6	090901	Möhlin	Selbst auferlegter Zeitdruck. Der Lokführer wollte unbedingt am Mittag wieder zurück in Erstfeld sein. Daher erklärt sich, dass er in Möhlin das „Warnung“ zeigende Ausfahrersignal quittiert aber die Bremsung nicht eingeleitet hat.	Tag, Sonne, Schienen trocken.	(...) nichts bekannt.	(keine Angaben)	(keine Angaben)	Erfahrungsgemäss führt ein Zeitdruck zu einer erhöhten Fehlerquote. Dies wird immer wieder bei Unfalluntersuchungen bestätigt.	"Es gab immer wieder Verzögerungen, sodass ich insgesamt 3,5 Std warten musste Darüber habe ich mich aufgeregt , da ich um 12 Uhr in Erstfeld sein sollte um den Kindern das Mittagessen zu machen. Als ich losfahren konnte, ging es abschnittsweise vorwärts, sodass ich immer wieder verlangsamen musste. Das ES Möhlin zeigte „offen“, das Ausfahrersignal zeigte „Warnung“, was ich auch quittierte . In diesem Moment tauchte ich in Gedanken ab und vergass die Bremsung einzuleiten . Durch das Perrondach ist das Ausfahrersignal lange verdeckt . Als ich meinen Irrtum bemerkte, löste ich eine Schnellbremsung aus;(...)"	Signalfall	3
7	090630	Basel-RB	Wegen seiner ungenügenden Bahnhofkenntnisse ist der Lokführer an dem Halt zeigenden Rangierhaltssignal V 227 vorbeigefahren.	(Keine Angaben)	(Keine Angaben)	(Keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	<ul style="list-style-type: none"> "(...) habe ich ein Gleis (...) zum ersten Mal befahren. Ich hatte ein Zwergsignal "Fahr mit Vorsicht", dadurch konzentrierte ich mich auf die Einrichtungen unten am Boden, auf die Zwergsignale und die Weichen. Da in meinem Fahrweg alle Weichen für mich lagen, fuhr ich weiter, weil kein weiteres Halt zeigendes Zwergsignal im Fahrweg war. Ich ging davon aus, dass diese am Ende des Gleises A13 stehen würden." Eine Überprüfung der Fahrpraxis des Lf zwischen Ausbildung und Ereigniszeit ist nicht möglich. Das Kontrollblatt (...) ist vom Arbeitgeber des Lokführeres (...) nicht aufbewahrt worden. 	Signalfall	1
8	090528	Elgg	Wegen einer Fehlinterpretation des Befehls "Fahr auf Sicht" ist der Lokführer ohne Zustimmung des Fahrdienstleiters am Halt zeigenden Ausfahrersignal B3 in Elgg vorbeigefahren.	(Keine Angaben)	(Keine Angaben)	(Keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	"(...) bekam ich vom FDL den schriftlichen Befehl zur "Fahr auf Sicht". Nachdem ich den Befehl auf dem Führerstand abgelegt hatte, fuhr ich auf Grund der Fehlinterpretation des Befehls am Halt zeigenden Ausfahrersignal vorbei. Nach ca. 500 Metern bemerkte ich meinen Fehler und hielt sofort an."	Signalfall (Fehlinterpretation)	2
9	080902	Pardorea	Eine unangemessene Bremsbedienung bei der Talfahrt hat mit grösster Wahrscheinlichkeit zu einer teilweisen Bremserschöpfung der Anhängelast und somit zu einer schlechten Bremswirkung geführt.	Tag, schön, Temperatur 21 °C	(...) nichts bekannt.	(...) wurde eingehalten.	Während den zwei folgenden Monaten nach seiner praktischen Prüfung war der Lokführer sehr selten im Streckeneinsatz.	(keine Angaben)	<ul style="list-style-type: none"> "(...) die Bremsen reagierten erneut nicht, wie sie sollten (...) dann bin ich mit der elektrischen Bremse und Sägezähnmethode gefahren .(...)" Auf diesem Streckenabschnitt erscheint auf der Fahrdatenaufzeichnung keine Bremsung mit Sägezähnmethode. (...) erreicht er die Mindestfahrpraxis nach Bestehen seiner Fähigkeitsprüfung nicht. Zwischen seiner Prüfung und dem Ereignis hat der Lokführer nur an drei Tagen Güterzüge über die Gotthardstrecke geführt. 	Bremsproblem; Erfahrungsmanagement	2
10	071130	Winterthur	Die Flankenfahrt ist auf das Nichtbeachten des Halt zeigenden Ausfahrersignals G4 in Winterthur PB Gleis 4 durch den Lokführer des Güterzuges 90087 zurückzuführen.	Nacht. Wolkenlos. Schienen trocken.	(...) ist nichts bekannt.	(...) wurde eingehalten. Es herrschte keine Stresssituation.	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(...) ist das Ausfahrersignal G4 nicht sehr gut sichtbar (Sichtbeschränkung durch Parkdeck). Der Lokführer des Güterzuges 90087 erkannte das Vorsignal S*94 mit Fahrbegriff 1 (eine grüne Lampe) in der direkten Fortsetzung seiner Fahrstrasse und „übersah“ dabei das Halt zeigende Ausfahrersignal G4 am Perronende des links des Gleises 4.	Signalfall	1

Nr.	Datum	Ort	A Ursache bei der lokführenden Person	B Wetter / Schienen- zustand	C Medizinische Feststell- ungen	D Arbeits- rechtliche Beurteilung	E Menschliches	F Hinweise auf Verspätung vor dem Ereignis	G Hintergründe der Ursache	H Thema der Ursache	J Ebene der Situation Awareness
11	070804	Biel-RB	<i>Lf 66966 hat das geschlossene Formsignal G7-9 nicht beachtet und ist über den vorgeschriebenen Haltepunkt gefahren.</i>	<i>Tag, normale Sicht. Schönes Wetter. Schienen trocken.</i>	<i>(...) bei Dienstantritt fit.</i>	<i>(...) keine Verstösse (...)</i>	<i>(...) Deswegen erreicht er die Mindestfahrpraxis nach Bestehen seiner Fähigkeitsprüfung nicht.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>(...) Der Lf Zug 66966F hätte einen streckenkundigen Lf zur Begleitung benötigt.</i> <i>(...) hat er sich während der Einfahrt auf Gleis A8 auf die Suche des Ausfahrvorsignals konzentriert. Dabei hat er das heute nur noch selten verwendete und unbeleuchtete Formsignal G7-9 (...) nicht gesehen und nicht beachtet.</i> <i>Tagsüber werden die Formsignale nicht beleuchtet. Gemäss seinen Aussagen hat sich der Lf auf die Weichenstellung der zu fahrenden Strecke konzentriert und hat das Formsignal G7-9 nicht gesehen.</i> 	Signalfall (Fehlinterpretation/ Mangelnde Streckenkennntnis)	1
12	070319	Sins	<i>Mit grösster Wahrscheinlichkeit ist der Zug 7084 bei "Halt" zeigendem Ausfahrhauptsignal B42 abgefahren und durch die Funktion "Halt" der Zugsicherung angehalten worden.</i>	<i>Nacht, künstliche Beleuchtung vorhanden. Signale konnten weithin beobachtet werden. Bedeckt, kalt. Schienen nass.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Ob der Lf 7084 durch diese "grüne Welle" eine fehlerhafte Interpretation der Signale in Sins wahrnahm, kann nicht ausgeschlossen werden.</i>	<i>Der Zug 7084 erlitt in Sins ca. 12 Minuten Abgangsverspätung.</i>	<i>"(...) Bei der Einfahrt in Sins wiederum, schaltete sich der Hauptschalter bei der Schlussbremsung erneut aus. Nachdem ich mich mit der Lokleitung in Verbindung gesetzt hatte und wir sämtliche Störungsquellen besprochen hatten, empfahl man mir noch, das Gleitstück am Stromabnehmer auf Beschädigung zu überprüfen. Mit der Taschenlampe bewaffnet, hangelte ich mich rückwärts aus dem Führerstand, um den Stromabnehmer zu beleuchten. Bei dieser Aktion, rutsche mir die Taschenlampe aus der Hand und fiel zu Boden. Ich wiederum sprang der Taschenlampe hinterher, um meine Arbeit fortsetzen zu können. (...) Nach der Kontrolle des Stromabnehmers, schaltete ich die Maschine wieder erfolgreich ein. Aufgrund dieser zwei Hauptschalterauslösungen ergab es für den Zug 7084 insgesamt 11 Minuten Ankunftsverspätung in Aarau".</i>	Signalfall; Ablenkung (techn. Problem)	1
13	070211	Zürich	<i>Die Flankenfahrt ist darauf zurückzuführen, dass der Lokführer des ICE-T das Halt zeigende Zwergsignal 312C in Gleis K2 nicht beachtete und bei der Fahrstellung des Zwergsignals 311D dieses Signal als Fahrbefehl für seine Rangierfahrt interpretierte.</i>	<i>Nacht. Stark Bewölkt. Schienen trocken. Künstliche Beleuchtung.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) wurde eingehalten.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Die Befragung des Lokführers ergab, dass er das Zwergsignal 311D als Fahrerlaubnis für seine Rangierfahrt interpretierte und das Halt zeigende Zwergsignal 312C in Gleis K2 übersah.</i>	Signalfall (Fehlinterpretation)	2
14	061221	Hünenberg	<i>Fehlerhafte Interpretation des Signalbildes des Hilfssignals F445</i>	<i>Tag. Sonne Schienen trocken</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(...) wurde eingehalten.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Die Sonnenstrahlen beleuchteten das Hilfssignal praktisch frontal. Es besteht die Möglichkeit, dass unter diesen besonderen Umständen die scheinende Sonne das Bild des Hilfssignals F445 vom Lokführer 82774 und den zwei begleitenden Personen falsch interpretiert wurde.</i>	Signalfall (Fehlinterpretation)	1
15	060720	Oltten	<i>Der Lokführer von Zug 6836 fuhr trotz Halt signalisierendem Gleissignal T1 ab</i>	<i>Tag / Sonne / gute Sichtverhältnisse. Schienen trocken.</i>	<i>(...) nichts bekannt.</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>(keine Angaben)</i>	<i>Genau zur fahrplanmässigen Abfahrtszeit machte der Lokführer von Zug 6836 nach seinen Angaben einen weiteren Blick auf das Halt signalisierende Gleissignal T1, verriegelte die Türen von Zug 6836 und fuhr nach einem kurzen Blick in den Rückspiegel ab. Als er wieder nach vorne schaute, sah er die drei weissen Lichter der Zugspitze des einfahrenden Lokextrazuges 39221. Daraufhin leitete er nach seinen Aussagen sofort eine Schnellbremsung ein.</i>	Signalfall	3

Nr.	Datum	Ort	A Ursache bei der lokführenden Person	B Wetter / Schienen- zustand	C Medizinische Feststell- ungen	D Arbeits- rechtliche Beurteilung	E Menschliches	F Hinweise auf Verspätung vor dem Ereignis	G Hintergründe der Ursache	H Thema der Ursache	J Ebene der Situation Awareness
16	060517	Dürrenast	Aufgrund der Untersuchungen muss davon ausgegangen werden, dass die Bremsprobe in Frutigen nicht korrekt durchgeführt wurde.	Nacht / bedeckt / Schienen trocken.	(...) nichts bekannt.	Ein am Unfall beteiligter Lf hat die Ruhezeit von 10 Stunden nicht eingehalten	(keine Angaben)	Durch eine Brems- störung an einem Wagen, musste dieser ausrangiert werden, was eine ziemlich grosse Verspätung zur Folge hatte.	<ul style="list-style-type: none"> • Infolge einer Bremsstörung an einem Wagen des Dienstzuges (blockierte Bremsen) verzögerte sich die sofortige Weiterfahrt ab Frutigen um ca. 2 Std. Nachdem dieser Wagen ausgereiht worden war, meldete sich der Lokführer im ZSW Spiez um ca.02.50 Uhr zur Abfahrt bereit. (...) Ca. 4 Minuten nach Abfahrt meldete der Lokführer, dass er Bremsprobleme habe. • Auf die Frage des Begleiters an den Lokführer hat dieser bestätigt, dass die Bremse „gut“ sei. • Es muss angenommen werden, dass die Bremsprobe nur durch eine Person durchgeführt wurde. Dabei haben sich offenbar Probleme ergeben, die auf unsachgemässe ja, unprofessionelle Art durch manuelle Bremsauslösung ("melken") der Wagen behoben wurde. 	Brems-probe	2
17	040610	Oberwin- terthur	Nicht Beachten des "Fahrt mit Vorsicht" zeigenden Zwergsignals ZS 52C und des "Halt" zeigenden Zwergsignals ZS 26C durch den Lokführer der Rangierbewegung.	Tag, Sonne, Sicht gut Schienen trocken	(Keine Angaben)	(Keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	Beim Passieren des Wiederholungssignals zum Ausfahrersignal BC62** ertönte ein lang andauerndes Warnsignal, was signalisierte, dass ein "Warnung" zeigendes Signal überfahren wurde und daher eine "Warnungsquittung" eingegeben werden muss. Der Lokführer war aber der Meinung, die "Manövertaste" M gedrückt zu haben, was nur noch ein kurzes Warnsignal (ohne Quittung) auslösen würde. Dies irritierte den Lokführer offensichtlich und lenkte ihn einen Moment ab. Der Lokführer der Rangierfahrt realisierte nicht , dass das Zwergsignal ZS 52C "Fahrt mit Vorsicht" und das Zwergsignal ZS 26C "Halt" zeigte.	Signalfall	1
18	031209	Schwarzen- bach	Die Zuggefährdung ist auf das Abfahren des Regionalzuges 8131 in Schwarzenbach Gleis 4 trotz Halt zeigendem Ausfahrersignal B4 und unbeleuchtetem Fahrtstellungsmelder am Perronende Gleis 4 zurückzuführen	Tag, Sicht gut, Schienen trocken.	(...) nichts bekannt.	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	<ul style="list-style-type: none"> • Bei der Einfahrt in den Bahnhof Schwarzenbach hat er das ‚Warnung‘ zeigende Ausfahrersignal B* wie auch das Wiederholungssignal B** nicht bewusst wahrgenommen. (...) Vom normalen Halteort aus war die Stellung des Ausfahrersignals nicht erkennbar (Linkskurve, Sicht auf Signal durch Büsche verdeckt). (...) • (...) Der Lokführer hat den Fahrerichtungsschalter während des Haltes in Schwarzenbach nicht in die Stellung ‚0‘ (Mittelstellung) gebracht, als er sich während des Aufenthaltes mit dem FIS beschäftigte. Bei Zugsabfahrt hat er weder den Fahrtstellungsmelder noch das Halt zeigende Ausfahrersignal B4 beachtet. • Der Lokführer von Zug 8131 liess sich durch das Problem mit dem Fahrgastinformationssystem ablenken. 	Signalfall	1
19	030715	Horchent- tal	Die Zuggefährdung ist auf das unbewusste Quittieren der ‚Warnung‘ beim Blockvorsignal *S 272 und die nicht eingeleitete Bremsung durch den Lokführer von Regionalzug 8167 zurückzuführen.	Tag, Schienen trocken.	(...) nichts bekannt.	(keine Angaben)	(keine Angaben)	(keine Angaben)	Die Bahnsicherungsanlagen haben normal funktioniert. Der Lokführer hat das Blockvorsignal *S 272 in Stellung ‚Warnung‘ gesehen und die Warnung der Zugsicherung nach eigener Aussage ‚unbewusst‘ quittiert . Die Sichtbarkeit der Signale, speziell des Blocksignals S 272, ist nicht optimal. Die Stellung dieses Signals ist erst in einer Distanz von ca. 150 m erkennbar.	Signalfall	3

Beschreibung der SA-Stufen des Szenarios A

Szenario A. Simulationsfahrt eines Reiseextrazugs 33835 von Olten nach Brugg. Die folgenden Stufen (S) werden dabei durch die Lokführenden (Lf) durchlaufen:

S1	Das Ausfahrversignal zeigt Warnung. Wird die Bremsung eingeleitet?
S2	Das Signal kündigt Geschwindigkeit 90 km/h an. Reagieren die Lf angemessen, bzw. bremsen sie ab?
S3	Bei Abfahrt in Aarau ist wegen unbegleiteter Abfahrt die Türschliessung erforderlich. Schliessen die Lf bei Weiterfahrt die Türen?
S4	Das Einfahrersignal in Rapperswil zeigt Halt. Melden die Lf dies dem Fahrdienst innerhalb von 3 Minuten ab Halt vor Signal?
S5	Die Lf erhalten vom Fahrdienst die Aufforderung zum Ausfüllen des Sammelformulars. Füllen die Lf das vom Fahrdienst diktierete Sammelformular korrekt aus, bzw. nehmen die Lf den diktiereten Befehl korrekt wahr?
S6	Der Fahrdienst teilt Fahrt auf Sicht mit. Das Einfahrersignal zeigt noch Halt. Warten die Lf die Öffnung des Einfahrersignals ab?
S7	Bei der Weiterfahrt zeigen Signale höhere Geschwindigkeitserlaubnis. Fahren die Lf trotzdem mit Fahrt auf Sicht, d.h. max. 40 km/h bis Wildegg?
S8	Laut Fahrordnung ist in Wildegg ein Halt vorgesehen. Beachten die Lf den Halt?
S9	Laut Fahrordnung ist in Schinznach Bad ein Halt vorgesehen. Beachten die Lf den Halt?
S10	Seit Wildegg fährt der Zug auf dem rechten Gleis. Das für ihn geltende Einfahrersignal vor Brugg, welches sich somit links des linken Gleises befindet, ist dunkel, bzw. defekt. Leiten die Lf die Bremsung ein?
S11	Verständigen die Lf den Fahrdienst über das dunkle Einfahrersignal?

Beschreibung der SA-Stufen des Szenarios B

Szenario B. Simulationsfahrt eines Reiseextrazugs 33837 von Baden nach Zürich. Die folgenden Stufen (S) werden dabei durch die Lokführenden (Lf) durchlaufen:

- | | |
|------------|---|
| S1 | Vor Baden brennt bei einem Zwergsignal nur die obere Lampe, d.h. das Signal ist defekt und die Anzeige kann dadurch <i>Warnung</i> oder <i>Fahrt</i> anzeigen. Verständigen die Lf den Fahrdienst? |
| S2 | Eine Störungsmeldung im Lokführerstand zeigt in Neuenhof einen Traktionsausfall an. Melden die Lf dem Fahrdienst den Traktionsausfall? |
| S3 | Im Anschluss an die Störungsmeldung zeigt ein Vorsignal die Langsamfahrstelle 80 km/h an. Reagieren die Lf angemessen, d.h. fahren sie beim Anfangssignal maximal 80 km/h? |
| S4 | Unmittelbar anschliessend zeigt das Signal eine Schutzstrecke an. Führen die Lf die erforderlichen Handlungen für die Schutzstrecke durch? |
| S5 | Das Ausfahrsvorsignal für die Durchfahrt in Dietikon zeigt <i>Warnung</i> . Das Ausfahrssignal in Dietikon ist geschlossen, während das daneben angebrachte Ausfahrssignal für das Nebengleis <i>Fahrt</i> zeigt. Erst beim Näherkommen wechselt das für die Lf geltende Ausfahrssignal auf <i>Fahrt</i> . Reagieren die Lf angemessen? D. h., könnte der Zug in Dietikon vor dem Ausfahrssignal halten, und erkennen die Lf das für sie geltende Ausfahrssignal? |
| S6 | Ein Signal vor Zürich-Altstetten kündigt maximale Geschwindigkeit 60 km/h an. Reagieren die Lf angemessen, bzw. fahren sie mit max. 60 km/h beim Hauptsignal vorbei? |
| S7 | Laut Fahrordnung ist in Zürich-Altstetten ein Halt vorgesehen. Beachten die Lf den Halt? |
| S8 | Die Lf erhalten vom Fahrdienst einen unkommentierten Notruf. Reagieren die Lf darauf korrekt mit <i>Fahrt auf Sicht</i> ? |
| S9 | Verständigen die Lf den Fahrdienst über den Erhalt des Notrufs? |
| S10 | Bei einem Zwergsignal vor Zürich HB leuchtet nur die untere Lampe, d.h. wegen des Defekts kann die Anzeige <i>Warnung</i> oder <i>Halt</i> bedeuten. Halten die Lf den Zug an? |
| S11 | Verständigen die Lf den Fahrdienst über das defekte Zwergsignal? |

*Was *angemessen* bedeutet, wird entweder mündlich definiert oder im Zweifelsfalle durch den anwesenden Experten entschieden.



n|w Fachhochschule Nordwestschweiz

Vertraulich	
Vorname, Name:	Hans Muster
Datum:	12.03.2013
Startzeit:	16:00
Lord-Nr. FASI	130312.16



Dynamisches Eisenbahn System Modell
Modèle dynamique d'un système ferroviaire
Dynamic model of a railway system

Jürg Suter
j.suter@desm.ch

Stettlen, 13.03.2013, Version 2.3

A^{1, 2}

Versuchsfahrten mit Lokführer
Drehbuch für Übung

DESM-01-OL-BGG

1. Ausgangslage

Orientierung an Lokführer	<input type="checkbox"/> Es ist folgender Reiseextrazug zu führen: – 33835 von Olten nach Brugg (A1: mit Zeitdruck, A2 ohne Zeitdruck) <input type="checkbox"/> Komposition: Re 460 im Originalzustand (ZFK88) mit 6 EW IV (je V_{max} 160 km/h) <input type="checkbox"/> Übernahme des Zuges. Annahme: Wie Pendelzug bei Führerstandwechsel <input type="checkbox"/> Türen: Wie Pendelzug mit seitenselektiver Türsteuerung <input type="checkbox"/> Funk: Kanäle S28, Z64 einstellen, Kommunikation über Gegensprecher
Dokumente an Lokführer	<input type="checkbox"/> Fahrordnungen von Zug und 33835, Meldung an den Lokführer für Zug und 33835 <input type="checkbox"/> Informationsblatt mit Hinweisen <input type="checkbox"/> Sammelformular Befehl 6 für Zug 33835 nicht abgeben! (wird in Rupperswil diktiert)

2. Ablauf der Übung

Ort	Ü-Zeit	Nr.	Instruktor	Beobachtung/Messung	Ergebnis
Olten			<input type="checkbox"/> Ausfahrtsignal M5: Fahrbegr. 2	Inbetriebnahme Zug	
Olten	18:03	D1	<input type="checkbox"/> Abfahrerlaubnis erteilen (A1 ohne Zeitsynchronisierung, A2 mit Zeitsynchronisierung)	<input type="checkbox"/> Bremsprobe auf Wirkung	J / N
Dulliken	18:(05)				
Däniken	18:(07)	S 1 D2	Ausfahrtsignal geschlossen <input type="checkbox"/> Nach Vorbefahrt Zwergsignal XF2 (schräg) Ausfahrtsignal auf Fahrt 1 stellen	<input type="checkbox"/> Reaktion angemessen (Bremsung, Sicht auf Signal abwarten) J / N
Schönenwerd	18:(09)	S 2 D3	V-Ankündigung 90	<input type="checkbox"/> Reaktion angemessen (Bremsung) J / N
Aarau	18:12/14	S 3 D4	<input type="checkbox"/> Im Stadttunnel Weiter umstellen: 70% Regen, 25% Adhäsion Keine Abfahrerlaubnis	Prozess unbegleitete Abfahrt <input type="checkbox"/> schliesst Türen J / N
Rupperswil	18:(17)	S 4 S 5 S 6 S 7 D5 D6 D7 D8	Einfahrtsignal geschlossen *) <input type="checkbox"/> Sammelform. Bf 6 diktieren <input type="checkbox"/> nach Protokoll 1 Minute warten, dann Hilfssignal einschalten	<input type="checkbox"/> Meldung an Fahrdienst (max. 3 Min) <input type="checkbox"/> Protokoll Sammelformular <input type="checkbox"/> wartet Hilfssignal ab <input type="checkbox"/> Fährt auf Sicht, V_{max} 40 km/h [Sek.] J / T / N J / T / N J / T / N
Wildeggen	18:21	S 8 D9 D10	Ausfahrtsignal F3	<input type="checkbox"/> beachtet Lf den Halt? <input type="checkbox"/> schliesst Türen Wechsel auf falsches Gleis (Fahrt ohne Aufforderung) J / N J / N
Schinznach Bad	18:25	S 9 D11 D12		<input type="checkbox"/> beachtet Lf den Halt? <input type="checkbox"/> schliesst Türen J / N J / N
Brugg	18:30	S 10 S 11 D13 D14	Einfahrtsignal dunkel	Reaktion, Einleiten der Bremsung <input type="checkbox"/> Bremsung <input type="checkbox"/> Verständigung Fahrdienst: Vorsignal J / N J / N
			Ankunftszeit		18: [Zeit]

*) nach Durchfahrt Güterzug: Einfahrtsignal auf Halt stellen

Vorname, Name:	Hans Muster
Datum:	12.03.2013
Startzeit:	16:00
Lord-Nr. FASI	130312.16



B^{1, 2}

Versuchsfahrten mit Lokführer
Drehbuch für Übung

DESM-02-BAD-ZUE

1. Ausgangslage

Orientierung an Lokführer	<input type="checkbox"/> Es sind zwei folgenden Reiseextrazüge zu führen: – 33837 von Baden nach Zürich HB (B1: mit Zeitdruck, B2 ohne Zeitdruck) <input type="checkbox"/> Komposition: Re 460 im Originalzustand (ZFK88) mit 6 EW IV (je V_{max} 160 km/h) <input type="checkbox"/> Übernahme des Zuges. Annahme: Wie Pendelzug bei Führerstandwechsel <input type="checkbox"/> Türen: Wie Pendelzug mit seitenselektiver Türsteuerung <input type="checkbox"/> Funk: Kanäle S28, Z64 einstellen, Kommunikation über Gegensprecher
Dokumente an Lokführer	<input type="checkbox"/> Fahrordnungen von Zug und 33835, Meldung an den Lokführer für Zug und 33835 <input type="checkbox"/> Informationsblatt mit Hinweisen <input type="checkbox"/> Sammelformular Befehl 6 für Zug 33837 (Langsamfahrstelle)

2. Ablauf der Übung

Ort	Ü-Zeit	Nr.	Instruktor	Beobachtung/Messung	Ergebnis
Baden		D1	Zwergsignal steht auf Fahrt	Inbetriebnahme Zug	J / N
		D2	<input type="checkbox"/> während Vorbereitung Zwergsignal auf freie Fahrt stellen Zwergsignal nur obere Lampe	<input type="checkbox"/> Funkkanäle S28, Z64 (ev. helfen) <input type="checkbox"/> Bremsprobe auf Wirkung <input type="checkbox"/> Reaktion: Verständigung Fahrdienst	J / N
Baden	19:05	D3	<input type="checkbox"/> Ausfahrtsignal auf Fahrt 1 stellen; B1 ohne Zeitsynchronisierung, B2 mit Zeitsynchronisierung (Klick auf Bahnhof-Symbol)	<input type="checkbox"/> schliesst Türen	J / N
Wettingen	19:(07)				
Neuenhof	19:(09)	S 2	Traktionsausfall	<input type="checkbox"/> Bremsung einleiten vor Vorsignal 80	J / N
		S 3	Langsamfahrstelle 80 km/h	<input type="checkbox"/> V_{IST} 80 km/h bei Anfangssignal	J / N
		S 4	Schutzstrecke	<input type="checkbox"/> Ablauf Schutzstrecke	J / N
Killwangen-Spreitenbach	19:(12)				
Dietikon	19:(14)	S 5	<input type="checkbox"/> Ausfahrtsignal geschlossen (anderes Signal in Staffel zeigt Fahrt) <input type="checkbox"/> Ausfahrt auf Fahrt stellen, wenn beide Ausfahrtsignale gut sichtbar (ca. Mitte Perron)	<input type="checkbox"/> Reaktion angemessen; Handlung nach Erkennen Signal Fahrt im Nachbargleis	J / T / N
Schlieren	19:(17)				
Zürich Altstetten	19:20	S 6		V Ankündigung 60 km/h	[km/h]
		S 7	D8	<input type="checkbox"/> V Ausführung 60 km/h <input type="checkbox"/> Beachtet Lf den Halt in Z Altstetten? <input type="checkbox"/> schliesst Türen	J / N
		D9 D10			J / N
Hardbrücke		S 8	<input type="checkbox"/> Notruf absetzen und nicht oder unklar kommentieren (Ende Perron Hardbrücke)	Verhalten Lf	[Sek.]
		S 9	D11 D12	<input type="checkbox"/> Zeit nach Notruf (Sek) <input type="checkbox"/> Fahrt auf Sicht, V_{max} 40 km/h <input type="checkbox"/> Verständigung Fahrdienst	J / N J / N
Zürich HB	19:24	S 10	Zwergsignal nur untere Lampe	Verhalten Lf	J / N
		S 11	D13 D14	<input type="checkbox"/> Hält an <input type="checkbox"/> Verständigung Fahrdienst	J / N
Ankunft in Zürich HB					19:

(Anmerkung: Die zu bewerteten SA-Stufen sind als S1 – S11 bezeichnet und stellen eine Auswahl der ursprünglich geplanten 14 Dilemmata (mit D1 bis D14 gekennzeichnet) dar. Die Auswahl der Stufen erfolgte aufgrund mangelhafter Beurteilbarkeit einzelner Dilemmata, welche sich erst während der Datenerhebung zeigte.

Anhang E Situation Awareness Rating Technique SART (adaptiert nach Taylor, 1990)

Name _____

Datum _____



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Angewandte Psychologie

Szenario A1 B1 A2 B2

(wird durch Testleiterin/ Testleiter ausgefüllt)

Situation Awareness Rating Technique SART

Denken Sie bitte an die soeben beendete Fahrt im Lok-Simulator zurück und kreuzen Sie bei jedem Satz jeweils ein Feld an:

1	Der Fahrtverlauf war...	...sehr stabil und gradlinig	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...sehr instabil mit plötzlichen Wechslen
2	Die Fahrt war...	...einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...komplex
3	Während der Fahrt haben sich...	...wenig Faktoren geändert	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...viele Faktoren geändert
4	Ich war während der Fahrt...	...wenig reaktionsbereit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...sehr reaktionsbereit
5	Während der Fahrt bin ich gedanklich...	...oft abgeschweift	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...sehr konzentriert gewesen
6	Ich habe mich während der Fahrt...	...auf nur einen Aspekt konzentriert	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...auf mehrere Aspekte konzentriert
7	Ich hatte während der Fahrt durch die Bewältigung der Aufgaben...	...„den Kopf voll“	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...„den Kopf frei“
8	Ich habe während der Fahrt vom Fahrdienstleiter und aus den Unterlagen...	...nur wenig Information erhalten	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...sehr viel Information erhalten
9	Die erhaltenen Informationen waren...	...nutzlos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...hilfreich
10	Die Aufgaben während der Fahrt (<u>nicht</u> die Strecke an sich) waren für mich insgesamt...	...neu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	...bekannt

Vielen Dank für Ihre Angaben

Korrelation nach Pearson zwischen Performanz und SART-Total

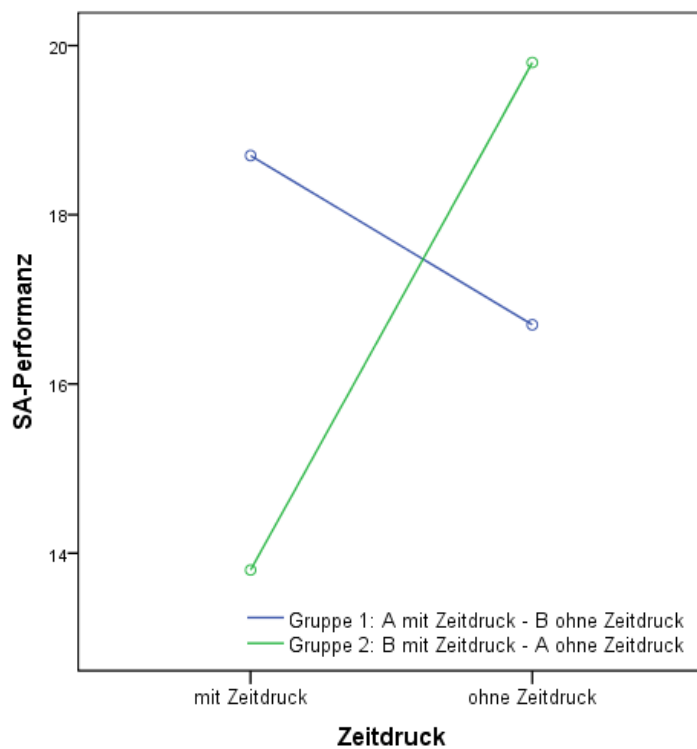
		SART-Total mit Zeitdruck	SART-Total ohne Zeitdruck
Performanz mit Zeitdruck	Korrelation nach Pearson	.51*	-.07
	Signifikanz (1-seitig)	.010	.380
	N	20	20
Performanz ohne Zeitdruck	Korrelation nach Pearson	.10	.20
	Signifikanz (1-seitig)	.332	.196
	N	20	20

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Innersubjekteffekte des Faktors Zeitdruck auf die SA-Performanz

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zeitdruck	40.000	1	40.000	7.06	.016
Zeitdruck * Gruppe	160.000	1	160.000	28.24	.000
Fehler(Zeitdruck)	102.000	18	5.667		

Disordinale Interaktion von Zeitdruck und Gruppe



Zwischensubjekteffekt des Faktors Gruppe auf die SA-Performanz

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Konstanter Term	11902.500	1	11902.500	501.28	.000
Gruppe	8.100	1	8.100	.34	.566
Fehler	427.400	18	23.744		

Innersubjekteffekte des Faktors Zeitdruck auf die SA-Performanz Stufe 8-11

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zeitdruck	19.600	1	19.600	5.65	.029
Zeitdruck * Gruppe	10.000	1	10.000	2.89	.107
Fehler(Zeitdruck)	62.400	18	3.467		

Zwischensubjekteffekt des Faktors Gruppe auf die SA-Performanz Stufe 8-11

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Konstanter Term	1299.600	1	1299.600	116.96	.000
Gruppe	.400	1	.400	.04	.852
Fehler	200.000	18	11.111		

Innersubjekteffekte des Faktors Zeitdruck auf das SART-Total

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zeitdruck	108.900	1	108.900	3.67	.072
Zeitdruck * Gruppe	32.400	1	32.400	1.09	.310
Fehler(Zeitdruck)	534.700	18	29.706		

Zwischensubjekteffekt des Faktors Gruppe auf das SART-Total

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Konstanter Term	23814.400	1	23814.400	513.06	.000
Gruppe	44.100	1	44.100	.95	.343
Fehler	835.500	18	46.417		

Vergleiche zwischen Szenario A und B

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
								Untere		Obere
Perfor- manz	Varianzen sind gleich	4.254	.046	3.25	38	.002	4.0	1.233	1.504	6.496
	Varianzen sind nicht gleich			3.25	30.2	.003	4.0	1.233	1.483	6.517
SART- Total	Varianzen sind gleich	.266	.609	.90	38	.374	1.8	2.002	-2.253	5.853
	Varianzen sind nicht gleich			.90	37.1	.374	1.8	2.002	-2.256	5.856

Vergleiche innerhalb von Szenario A und B

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen								
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)	
						Untere	Obere			
Paaren 1	Perf bei A mit Z – Perf bei A ohne Z	-1.100	3.843	1.215	-3.849	1.649	-.91	9	.389	
Paaren 2	Perf bei B mit Z – Perf bei B ohne Z	-2.900	7.385	2.335	-8.183	2.383	-1.24	9	.246	
Paaren 3	SART nach A mit Z – SART nach A ohne Z	-1.200	8.574	2.711	-7.333	4.933	-.44	9	.669	
Paaren 4	SART nach B mit Z – SART nach B ohne Z	-5.4000	9.3950	2.9710	-12.1208	1.3208	-1.82	9	.102	