

Masterarbeit

Ressourcen und Abhängigkeiten im S-Bahn-Abfahrprozess

*Analyse des Abfahrprozesses bei S-Bahn-Zügen der
SBB Personenverkehr basierend auf der Functional
Resonance Analysis Method*

Autor: Simon Steiner
Betreut durch: Prof. Dr. Toni Wäfler
Praxispartner: Schweizerische Bundesbahnen AG
Ort, Datum: Olten, April 2015

Zusammenfassung

Das seltene Auftreten von Unfällen und anderen Ereignissen bei der SBB erschwert die Untersuchung und Prognose der Sicherheit. Bei Massnahmen aufgrund Einzelergebnissen ist zudem oft nicht klar, welchen Einfluss diese auf die alltägliche und fehlerfreie Arbeit haben. Die Sichtweise „Safety-II“ richtet den Blick zur Beurteilung der Sicherheit deswegen auf die Fälle, in welchen alles gut gegangen ist. Dies ermöglicht das Ableiten von Voraussetzungen dafür, dass es gut läuft, und möglichen Gefahren, die ein gutes Ausgehen verhindern. Aufgrund der Häufung von Ereignissen beim Abfahren von S-Bahn-Zügen, wurde untersucht, wie der Abfahrprozess der S-Bahn bei der SBB Personenverkehr normalerweise ausgeführt wird, was die Voraussetzungen dafür sind, dass die Tätigkeit erfolgreich ausgeführt werden kann und welche Ressourcen zur erfolgreichen Ausführung fehlen. Anhand von 16 Ganzschicht-Beobachtungen und der Anwendung der „Functional Resonance Analysis Method“ (FRAM), wurden zwei Modelle des Abfahrprozesses für Novizen und Experten erstellt. Anhand der Modelle und durchgeführten Risikoanalysen, konnten die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Aufgabenausführung beschrieben werden. Die Ergebnisse zeigen, dass erfahrenes Lokpersonal ein gutes Situationsbewusstsein hat, wenn genügend Informationen über aussergewöhnliche Manöver vorhanden sind. Novizen haben demgegenüber ein gutes Situationsbewusstsein in vertrauten Situationen ohne ungewöhnliche Signalzustände. Zur Unterstützung des Lokpersonals im Abfahrprozess, wird ein stärkerer Einsatz von Simulatoren in der Weiterbildung und die Information des Lokpersonals über aussergewöhnliche Manöver vorgeschlagen.

Die Arbeit umfasst 170'293 Zeichen (inkl. Leerzeichen).

Abstract

Resources and dependencies in the departure of suburban trains

Analysis of the resources and dependencies in the train departure of suburban trains of Swiss Federal Railways, based on the Functional Resonance Analysis Method

The rarity of accidents and incidents on Swiss Federal Railways complicates the investigation and prediction of safety. It is often not clear how safety measures based on unique events influence daily work. "Safety-II" focuses on cases, in which everything has gone right, to derive resources and predict possible dangers. This paper examined the departure process of suburban trains, the interaction of activities and the effects of variability for success and failure. Using the "Functional Resonance Analysis Method" 16 entire shifts of train engineers were observed to develop two departure process models for novices and experts. With these models risk analyses were conducted. The results show that experienced train engineers have a good situation awareness if they have enough information to judge train punctuality on the railway system. Novices, on the other hand, have a good situation awareness in a familiar surrounding when there are no disturbances or unusual signal states. Therefore, it is recommended to distinguish between the continuing education of novices and experts. Unusual situations could be practiced in train simulators and the communication between train engineers and rail traffic controllers should be intensified to develop shared mental models.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung und Fragestellung	2
1.2	Abgrenzung	3
1.3	Physisches Arbeitsumfeld des Lokpersonals	4
1.4	Sprachgebrauch	6
1.5	Aufbau des Berichts	6
2	Theoretischer Hintergrund	8
2.1	Fehlerforschung	9
2.2	Resilience Engineering	9
2.3	Safety-I / Safety-II	10
2.4	Functional Resonance Analysis Method (FRAM)	11
2.4.1	Grundsätze von FRAM	12
2.4.2	Entwickeln eines FRAM-Modells	14
2.4.3	Funktionen in FRAM	14
2.4.4	Instanzen und Funktionstypen	16
2.4.5	Variabilität von Funktionen	17
2.4.6	Beschreibung der Variabilität	20
2.4.7	Instanzen des FRAM-Modells	20
2.4.8	Funktionale Resonanz	21
2.4.9	Systemgrenzen	21
2.5	Hierarchische Aufgabenanalyse	22
3	Methode	24
3.1	Stichprobe	25
3.1.1	Rekrutierung der Stichprobe	28
3.2	Ablauf	29
3.3	Vorbereitung	29
3.4	Phase 1a: Identifizierung der Funktionen	30
3.5	Phase 1b: Beschreibung der Funktionen	30
3.6	Phase 2: Entwicklung FRAM-Modell	31
3.7	Phase 3: Erhebung Variabilität und Validierung Modell	32
3.8	Phase 4: Prospektive Analyse	35
4	Entwicklung FRAM-Modell und Analyse der funktionalen Resonanz	37
4.1	Identifizierung und Beschreibung der Funktionen	37
4.1.1	FRAM-Funktionen allgemein	40
4.1.2	FRAM-Funktionen Novizen	45
4.1.3	FRAM-Funktionen Experten	47
4.1.4	Hintergrundfunktionen	48
4.2	Potenzielle Variabilität der Funktionen	61
4.3	FRAM-Modell	63
4.3.1	FRAM-Modell Novizen	64
4.3.2	FRAM-Modell Experten	65

4.4	Prospektive Analyse	66
4.4.1	Ausgeklappte Spiegel	66
4.4.2	Halteposition ausserhalb Perron	69
4.4.3	Antizipation der Abfahrgeschwindigkeit	71
5	Diskussion.....	75
5.1	Interpretation der prospektiven Analysen	76
5.1.1	Ausgeklappte Spiegel	76
5.1.2	Halteposition ausserhalb Perron	77
5.1.3	Antizipation der Abfahrgeschwindigkeit	78
5.1.4	Zwischenfazit	80
5.2	Voraussetzungen für einen erfolgreichen Abfahrprozess	80
5.2.1	Erfolgreiches Abfahren bei Novizen	81
5.2.2	Erfolgreiches Abfahren bei Experten	82
5.2.3	Angemessenes Situationsbewusstsein bei Einfahrt in Bahnhof	83
5.3	Gestaltungsmassnahmen	84
5.3.1	Verstärkter Einsatz von Simulatoren	84
5.3.2	Informationen des Lokpersonals über aussergewöhnliche Manöver.....	85
5.3.3	Gedankliche Auseinandersetzung mit der eigenen Tätigkeit	85
5.3.4	Ressource zum Revidieren des mentalen Abfahrmodells	86
5.3.5	Rückspiegel als Ressourcen einsetzen.....	86
5.3.6	Türfreigabe erst nach erfolgreichem Anhalten	87
5.3.7	Flächendeckende Halteortstafeln	87
5.4	Methodenkritik	88
5.5	Ausblick.....	89
6	Verzeichnisse	91
6.1	Literatur- und Quellenverzeichnis	91
6.2	Abbildungsverzeichnis	94
6.3	Tabellenverzeichnis	94
6.4	Abkürzungsverzeichnis	96
7	Anhang	98

Dank

An erster Stelle möchte ich mich beim Lokpersonal bedanken. Nur dank der unkomplizierten Aufnahme im Führerstand, der Offenheit und dem geduldigen Erklären konnte die Arbeit entstehen.

Danken möchte ich auch Prof. Dr. Toni Wäfler, meinem Betreuer an der Hochschule für Angewandte Psychologie, für die kritischen Fragen und aufmunternden Worte.

Weiter möchte ich mich bei David Kieffer bedanken, der meiner Arbeit mit kritischem Blick und viel Rotstift sprachlich auf die Sprünge geholfen hat.

Besonderer Dank geht an Selina Ruoss für die Unterstützung und Motivation während des ganzen Studiums.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Personen, die mir durch ihre Unterstützung geholfen haben, diese Arbeit zu erstellen.

1 Einleitung

Die Schweiz hat das am dichtesten befahrene Eisenbahnnetz der Welt (SBB, 2013a). Laut Geschäftsbericht der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) sind im Jahr 2013 170 Millionen Kilometer auf dem Eisenbahnnetz zurückgelegt worden, was 4250 Erdumrundungen entspricht. Jedes signalisierte Gleis wurde im Durchschnitt täglich 99 mal befahren und 32'000 Signale waren auf dem Bahnnetz in Betrieb (SBB, 2013b).

Bei der SBB sind zwischen 2003-2013 pro Jahr durchschnittlich 110 Vorbeifahrten an Halt zeigenden Signalen, sogenannte Signalfälle, gezählt worden. Zwei Unfälle pro Jahr waren jeweils auf Signalfälle zurückzuführen (Levkov, Gerber, Kost, Kaegi & Pacht, 2013). Einfahr- und Ausfahrtsignale waren am stärksten betroffen von Signalfällen. Die Unfallwahrscheinlichkeit lag dabei mit 4.3% am höchsten bei Signalfällen an Ausfahrtsignalen (Levkov et al., 2013). Ebenfalls haben statistische Auswertungen gezeigt, dass Lokpersonal mit wenig Erfahrung anteilmässig signifikant mehr Signalfälle verursacht als erfahrenes Lokpersonal, und die Mehrheit der Signalfälle im S-Bahn-Verkehr geschehen. Auf dem dichtbefahrenen Streckennetz rund um Zürich wurden zwischen 2012 und 2014 20% aller Signalfälle an Hauptsignalen gezählt.

Die SBB investiert viele Ressourcen in Signalfall-Untersuchungen. So wird jeder Signalfall mit einer Ereignisanalyse untersucht und es finden Nachbefragungen und Gruppendiskussionen mit dem betroffenen Lokpersonal statt, um menschliche, technische und organisationale Einflussfaktoren auf Signalfälle zu finden. Die Ursachen für Signalfälle liegen gemäss den Untersuchungen oft in menschlichen Faktoren, wie ungenügendem beobachten der Fahrstrasse, Nichteinhalten vorgegebener Prozesse oder Missachten der Signale. Als Einflussfaktoren werden aber auch technische und organisationale Faktoren genannt, wie zum Beispiel ungeeignete Signalaufstellung oder ungeeignete Tourenplanung (SBB, 2014).

Eine Untersuchung zum Arbeitsumfeld des Lokpersonals nach einem Zugunfall 2013 hat Aspekte wie Schulungen, Führungsspanne, Arbeitsdruck, Ergonomie des Führerstandes und Positionierung von Signalen untersucht und auf verschiedenen Ebenen Handlungsbedarf zur Förderung der Sicherheit festgestellt. Dabei wurde auch festgehalten, dass die von der SBB erstellten Ereignisanalysen sorgfältig und seriös durchgeführt werden (Schmid, Wäfler & Kolrep, 2013).

Allen Untersuchungen und Investitionen zum Trotz konnte die Anzahl Signalfälle in den letzten 10 Jahren nicht signifikant verringert werden. 2013 wurden bei SBB Per-

sonenverkehr 0.33 Signalfälle an Hauptsignalen pro Million gefahrener Zugkilometer verursacht (SBB, 2014). Ein einzelner Zug müsste die Erde am Äquator also mehr als acht mal umrunden, bis ein Signalfall auftritt. Die Ereignisanalysen fokussieren auf diejenigen Zugfahrten, bei welchen Signalfälle aufgetreten sind, und können demnach schlecht erklären, warum während der achtfachen Erdumrundung kein Halt zeigendes Signal überfahren wurde. Denn meistens passieren keine Fehler, da Störungen und Schwankungen durch menschliche Leistung oder andere Ressourcen aufgefangen oder gedämpft werden können.

Die Fokussierung von Untersuchungen auf Fehler, wird in der Literatur als Safety-1 bezeichnet werden. Diese Sichtweise auf Sicherheit ist wichtig, um zu verstehen was geschehen ist und daraus zu lernen. Allerdings kann diese Sichtweise nicht erklären, warum menschliche Leistung fast immer zu einem guten Ergebnis führt. Safety-2 ist demgegenüber die Sicht auf die alltäglichen Handlungen, bei welchen keine unerwünschten Ergebnisse auftreten. Diese Sichtweise hilft zu verstehen was die Voraussetzungen dafür sind, dass es gut geht. (Hollnagel, 2014a).

Eine Methode, die es erlaubt zu untersuchen und beschreiben, warum eine Tätigkeit meistens gut und manchmal nicht gut ausgeführt wird, ist die Functional Resonance Analysis Method (FRAM). Die Tätigkeit wird dabei in funktionale Einheiten operationalisiert, deren Zusammenspiel danach anhand von Szenarien oder tatsächlichen Situationen aufgezeigt werden kann.

1.1 Zielsetzung und Fragestellung

Weil die Unfallwahrscheinlichkeit bei Signalfällen an Ausfahrtsignalen am höchsten ist und zudem viele Züge gegen Halt zeigende Signale abfahren, jedoch vor der Signalüberfahrt gestoppt werden, erscheint ein korrekt funktionierender Abfahrprozess als zentrale Voraussetzung, um einen grossen Teil der Signalfälle zu verhindern. Unter dem Begriff „Abfahrprozess“ werden in der vorliegenden Untersuchung alle Tätigkeiten zwischen der Absicht des Lokpersonals, den Zug anzuhalten, und dem Zeitpunkt, zu welchem der Zug nach Abfahrt am Ausfahrtsignal vorbeifährt, zusammengefasst.

Durch die Häufung der Ereignisse im S-Bahn-Verkehr Zürich, rückt der Selbstabfahrprozess der S-Bahn in dichtbefahrener Infrastruktur in den Fokus. Der Selbstabfahrprozess zeichnet sich dadurch aus, dass nicht wie im Fernverkehr neben dem Lokpersonal ein Zugchef das Abfahrtsignal überprüft, sondern das Lokpersonal alleine für den Abfahrprozess verantwortlich ist.

Weil die Untersuchung von Signalfällen bei der SBB mit elaborierten Methoden der

Ereignisanalyse bisher keine signifikante Reduktion der Signalfälle ergeben hat, legt die vorliegende Master Thesis den Fokus auf diejenigen Zugabfahrten, bei welchen keine unerwünschten Ergebnisse eingetreten sind. Daraus sollen Voraussetzungen zur erfolgreichen Abfahrt abgeleitet und mögliche Schwachstellen aufgedeckt werden. Dazu muss zuerst geklärt werden, wie der Abfahrprozess normalerweise ausgeführt wird, wodurch sich folgende Forschungsfrage ergibt:

Welches sind die funktionalen Einheiten des Abfahrprozesses bei Zügen der SBB Personenverkehr im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich, wie hängen die funktionalen Einheiten zusammen und welche funktionalen Einheiten unterliegen Schwankungen?

Anhand der Erkenntnisse der ersten Forschungsfrage kann nach Voraussetzungen zur erfolgreichen Abfahrt und möglichen Schwachstellen im Abfahrprozess gesucht werden. Die zweite Forschungsfrage lautet:

Was bewirken Schwankungen in den funktionalen Einheiten des Abfahrprozesses, was sind die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Abfahrprozess und welche Ressourcen können das Lokpersonal bei der Abfahrt von Zügen der SBB Personenverkehr im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich zusätzlich unterstützen?

Die Zielsetzung der Master Thesis kann in wissenschaftliche Ziele und Praxisziele unterteilt werden:

- Die wissenschaftliche Zielsetzung ist, FRAM in einem Praxisumfeld einzusetzen und zu testen. Es ist bisher sehr wenig Literatur zum Einsatz von FRAM bekannt.
- Das Praxisziel ist, den Abfahrprozess der S-Bahn aus einem Safety-2-Blickwinkel zu untersuchen, der Voraussetzungen für ein gutes Gelingen des Abfahrprozesses aufzeigen kann. Ein vollständiges Bild zu Zusammenhängen im Abfahrprozess fehlt bisher bei der SBB.

1.2 Abgrenzung

Die vorliegende Master Thesis untersucht und beschreibt den Selbstabfahrprozess im S-Bahn-Verkehr Zürich. Ob die Aussagen und Erkenntnisse auch auf andere S-Bahnen

übertragen werden können wurde nicht untersucht. Des Weiteren wurde nur das Abfahren an Unterwegsbahnhöfen, nicht aber an Haltestellen und Ausgangs- oder Wendebahnhöfen untersucht. Die Abläufe an Ausgangsbahnhöfen, an welchen ein Führerstand in Betrieb genommen wird, sind umfangreicher. Das Abfahren von Haltestellen, welche nach Fahrdienstvorschriften „Anlagen mit Publikumsverkehr auf der Strecke“ (Bundesamt für Verkehr, 2012, S. 38) sind, unterscheiden sich dahingehend, dass das Lokpersonal auch ohne Sicht auf ein Hauptsignal abfahren darf, was bei Unterwegsbahnhöfen nicht der Fall ist.

1.3 Physisches Arbeitsumfeld des Lokpersonals

Im S-Bahn-Verkehr sind Fahrzeuge unterschiedlichen Alters und Bauart in Betrieb. Jedes Fahrzeug bedingt eine Zulassung für das Lokpersonal, weil die Bedienung der Fahrzeuge teilweise sehr unterschiedlich ist. Abbildung 1 zeigt die Bedienelemente des Führerpultes eines Regionalverkehr Doppelstock Triebzuges (DTZ). Folgende Bedienelemente sind darauf ersichtlich:

1. Persönliches iPad des Lokpersonals mit Streckentabelle (LEA)
 2. Kundeninformationssystem
 3. Not-Führerbremssventil zur Bedienung der pneumatischen Bremse
 4. Geschwindigkeits- und V-Soll Anzeige
 5. Türbedienung
 6. Fahrschalter zur Steuerung der Zugkraft und elektrischen Bremse
 7. Fahrrichtungsschalter
 8. Rückstellschalter ZUB / Zugsicherung
 9. V-Soll-Hebel zur Einstellung des Tempomats
-



Abbildung 1: Bedienelemente Führerpult RaBe 514 DTZ

Die wichtigsten Informationen zum Zug und der Strecke wird dem Lokpersonal auf dem „Lokpersonal Elektronischer Assistent“ (LEA digital zur Verfügung gestellt. Das LEA ist ein persönliches iPad, auf welchem auch andere Dokumente, Informationen und Tools, welche für das Führen von Zügen bei der SBB relevant sind, enthalten sind.

Eine der wichtigsten Aufgaben des Lokpersonals ist es, die Signale zu beachten und den Zug entsprechend zu steuern. Die für Zugfahrten relevanten Signale können in Vor- und Hauptsignale unterteilt werden, wobei beide im Signalsystem L (Licht, Geschwindigkeit wird mit Lampenstellungen angezeigt) und im Signalsystem N (Numerisch, Geschwindigkeit wird in Ziffern dargestellt) existieren. Vorsignale zeigen den Zustand des zugehörigen, in Bremswegdistanz liegenden, Hauptsignals und sind als Vorinformation für den Lokführer zu verstehen. Wiederholungssignale stimmen mit dem Vorsignal überein und sind aufgestellt, wenn nach einem Signal die Sicht auf das nachfolgende Signal behindert ist. Hauptsignale zeigen Halt, Warnung oder Fahrt mit entsprechender Geschwindigkeit (Bundesamt für Verkehr, 2012). Die Fahrdienstvorschriften des Bundesamtes für Verkehr (BAV) regeln, wie die Signale aufgestellt und gelesen werden müssen. Dabei können die Hauptsignale in fünf Signalarten aufgeteilt werden:

- Einfahr-/Ausfahrtsignale (Erlauben die Ein- oder Ausfahrt in den/aus dem Bahnhof)
- Abschnittssignale (unterteilen den Bahnhof in Abschnitte)
- Blocksignale (Unterteilen die Strecke in Abschnitte)
- Spurwechsignale (Sicherung einer Wechselfähigkeit auf das andere Gleis)

- Deckungssignale (z.B. Sicherung eines Bahnüberganges)

(login, 2012, S. 20)

Wenn in der vorliegenden Untersuchung von Abfahrtsignalen die Rede ist, sind darunter die zugehörigen Gleissignale zu verstehen, welche dem Lokpersonal die Zustimmung zur Fahrt signalisieren.

1.4 Sprachgebrauch

Es wurde darauf geachtet stets die geschlechtsneutrale Formulierung für Berufe und Tätigkeiten zu verwenden, wie zum Beispiel Lokpersonal oder Zugpersonal. Bei Beschreibungen von Beobachtungssituationen konnte allerdings nicht darauf verzichtet werden, von „Lokführer“ zu schreiben, wobei damit jeweils auch Frauen gemeint sein können.

Weil die verwendete Literatur zum grössten Teil in Englisch vorliegt und oft keine Übersetzung vorhanden ist, mussten deutsche Begriffe eingeführt werden. Wenn die Verbindung zum englischen Begriff wichtig ist, wurde dieser jeweils bei der ersten Nennung in Klammern angefügt.

Die Begriffe „Variabilität“ und „Schwankung“ werden im vorliegenden Bericht synonym verwendet und basieren beide auf der deutschen Übersetzung des englischen „variability“.

Der Begriff „Tempomat“ wird im vorliegenden Bericht synonym zum Begriff „V-Regler“ verwendet, weil „Tempomat“ ein allgemein verständlicher Begriff ist.

1.5 Aufbau des Berichts

Im nachfolgenden Theorieteil werden die theoretischen Grundlagen und verwendeten Methoden eingeführt. Die Beschreibung von FRAM fällt dabei sehr ausführlich aus. Dies, damit das Vorgehen und die Begrifflichkeiten genau nachvollzogen und nachgeschlagen werden können.

Im Methodenteil werden das Forschungsdesign beschrieben, die verwendeten Methoden erläutert und der Ablauf vorgestellt, damit nachvollzogen werden kann, wie die Ergebnisse zustande gekommen sind.

Im vierten Kapitel werde die Anwendung der Methode im Forschungsfeld und die daraus hervorgegangenen Ergebnisse vorgestellt. Die Ergebnisse müssen in Kombination mit dem Methoden- und dem Theorieteil gelesen werden, falls FRAM dem Leser nicht

sehr gut bekannt ist. Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchung, das FRAM-Modell, wird im Ergebnisteil vorgestellt, zusammen mit drei möglichen Szenarien für Risikoanalysen anhand von FRAM. Die Interpretation der Modelle und Risikoanalysen findet dagegen in der Diskussion statt.

In der anschliessenden Diskussion werden die Ergebnisse zusammengefasst, interpretiert und in einen grösseren Zusammenhang gestellt. Ebenfalls werden die Forschungsfragen beantwortet, Gestaltungsmassnahmen vorgeschlagen und ein Ausblick gewagt.

2 Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Kapitel wird zuerst ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Sicherheits- und Fehlerforschung der letzten zehn Jahre gegeben, um anschliessend die für die vorliegende Untersuchung zentralen Theorien zu erläutern. Der hier verwendete Sicherheitsbegriff bezieht sich auf das englische „safety“, was eher die Zuverlässigkeit als die Überwachung eines Systems beschreibt.

Auf Sicherheit als Begriff gibt es verschiedene Sichtweisen. In ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen wird Sicherheit als ein Zustand der voraussichtlichen störungsfreien und gefahrenfreien Funktion beschrieben (Fahlbruch, Schöbel & Domeinski, 2008). Sicherheit kann in diesem Zusammenhang also als Ziel gesehen werden, welches zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht werden kann.

Antonsen (2009) sieht drei Elemente des Sicherheitsbegriffs:

- Sicherheit entspricht einem Zustand oder einer Situation, in welcher das statistische Risiko als akzeptabel gilt.
- Sicherheit entspricht einem Gefühl von Schutz und Kontrolle. Das Sicherheitsgefühl hängt vom Vertrauen in ein System ab.
- Sicherheit ist die Fähigkeit einer Organisation das Auftreten eines gefährlichen Ereignisses zu verringern oder zu beseitigen.

Sicherheit als Eigenschaft und nicht als Zustand, wird in der Forschung zu Organisationen mit hohem Gefährdungspotenzial vorangetrieben. Dabei ergibt sich Sicherheit aus fortwährenden Interaktionen von Mitarbeitern, Strukturen und Regeln sowie Technologien in und ausserhalb der Organisation. Weick und Sutcliffe (2003) beschreiben Sicherheit als „dynamisches Nicht-Ereignis“ und meinen damit nicht einen Zustand, sondern die Fähigkeit den Eintritt des Erwarteten zu verhindern, weil das Unerwartete die Zuverlässigkeit beeinträchtigen könnte. Diese Sichtweise wird in folgender Definition aufgenommen, welche gut zu der vorliegenden Untersuchung passt:

Sicherheit entsteht kontinuierlich aus dem Zusammenwirken von intra- und extraorganisationalen Faktoren und bezeichnet ein Funktionieren ohne grössere Zusammenbrüche oder Schäden für die Organisation und die Umwelt, ein sog. Dynamisches Nichtereignis (Fahlbruch et al., 2008, S. 21).

2.1 Fehlerforschung

Wenn Sicherheit als Fähigkeit verstanden wird, muss versucht werden herauszufinden, was zum Auftreten von Fehlern führt, um daraus zu lernen und Fehler zu vermeiden. Das populärste Modell zur Fehlersuche bei Unfällen ist laut Underwood und Waterson (2013a) das Swiss Cheese Model von Reason (2008). Das Swiss Cheese Model geht davon aus, dass organisatorische Mängel die Voraussetzungen für einen Unfall sind. Die Ebenen, welche Mängel aufweisen können, werden als Scheiben eines Emmentaler-Käse dargestellt. Die Kombination von aktiven Fehler und latenten Gefahren führen dann zu einem negativen Ergebnis, wenn sich die „Löcher“ verschiedener Käsen-Scheiben überlappen.

Es gibt auch weitere Ansätze, die ebenfalls der Denkrichtung entsprechen, dass Unfälle einer Kausalität folgen. In einer Unfallanalyse, welche dieser Sichtweise folgt, muss demnach vom Ereignis zeitlich zurückgegangen werden, um zugrundeliegende Ursachen ausfindig zu machen (EUROCONTROL, 2013). In neuerer Literatur wird diese sequenzielle Technik als zu simpel dargestellt. Es wird kritisiert, dass sie der Komplexität von Unfällen nicht gerecht werde und die Interaktion einzelner Komponenten im System missachte. Die heutigen Arbeitssysteme wiesen demnach eine zu hohe Komplexität auf, so dass eine kausale Kette von Ursachen für eine Unfallanalyse nicht adäquat sei (Leveson, 2011).

Underwood und Waterson (2013a) gehen einen Schritt weiter und warnen vor dem sequenziellen Beschreiben von Unfällen, wie es das Swiss Cheese Model propagiert, weil dieses Vorgehen Menschen und Technik am „sharp end“ eines Systems ungeRechtfertigt für einen Unfall verantwortlich machen könne. Die Autoren sind der Meinung, dass Methoden, die einem systemischen Denkansatz folgen, die Beschränkungen der linearen Erklärungsansätze umgehen können.

2.2 Resilience Engineering

Ein klar systemischer Denkansatz ist das Resilience Engineering. Hollnagel (2011) schreibt, dass der traditionelle Fokus von Sicherheitsanstrengungen auf der Betrachtung von unerwünschten Ergebnissen, Verletzungen und Verlusten liege, welche das Ergebnis ungünstiger Vorkommnisse seien. Das dahinterliegende Verständnis von Sicherheit könne als „Freiheit von unvermeidbaren Risiken“ umschrieben werden. Resilience Engineering definiert Sicherheit dagegen als Fähigkeit unter verschiedenen Bedingungen erfolgreich zu sein.

Das Konstrukt der Resilienz definieren Wittchen und Hoyer (2006) für die klinische Psychologie als die Fähigkeit einer Person, auch in Gegenwart von extremen Belastungsfaktoren und ungünstigen Lebenseinflüssen adaptiv und proaktiv zu handeln. Das heisst, resiliente Menschen können in Gegenwart von Risikofaktoren oft eine erfolgreiche Anpassung an veränderte Bedingungen erreichen. Resilience Engineering ist demnach die Adaption der aus der klinischen Psychologie entlehnten Konzepte von protektiven menschlichen Faktoren auf Organisationen.

Der Ansatz des Resilience Engineering beruht nach Hollnagel (2011) auf der Annahme, dass Unfälle durch eine Verkettung unglücklicher Umstände und selten aufgrund des Versagens einzelner Komponenten zustande kommen. Ebenfalls propagiert er, dass Fehler die notwendige Kehrseite des Erfolges seien und die Ursachen für beides in der variablen Leistung des Gesamtsystems liege. Es mache deswegen mehr Sinn wenn versucht werde zu verstehen, warum Dinge gut gehen, als warum sie schlecht gehen, weil viel mehr gut als schlecht ausgeht. Der Ansatz des Resilience Engineering schlägt vor, dass man versuchen soll, die Leistung eines Systems im Allgemeinen zu verstehen, und sich nicht auf Dinge zu beschränken, die schief laufen.

2.3 Safety-I / Safety-II

Mit zunehmendem Wissen und zunehmender Sensibilität für Sicherheit in Organisationen, wurde Sicherheitsmanagement populär. Innerhalb der Denkrichtung des Resilience Engineering ist auch die Unterteilung des Sicherheitsmanagements in Safety-I und Safety-II anzusiedeln, wie sie von Hollnagel (2014a) vorgenommen wird.

Hollnagel unterteilt die Sichtweise auf Sicherheit in die Betrachtung von geschehenen Fehler (Safety-I) und die Betrachtung von alltäglichen Situationen, in welchen alles gut geht (Safety-II). Dabei betont er, dass beide Sichtweisen nebeneinander existieren müssen. Aus der Safety-I Perspektive ist das Ziel des Sicherheitsmanagements, die Anzahl Unfälle und unerwünschte Ereignisse zu minimieren und mittels reaktiver Verfahren nach Ursachen für Ereignisse zu suchen. Aus der Safety-II Perspektive sollte das Sicherheitsmanagement proaktiv versuchen, Gefahren zu identifizieren und dämpfen, damit es erst gar nicht zu Ereignissen kommt.

In einem Grundsatzpapier über Safety-I und Safety-II hält Eurocontrol, die Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt, fest, dass in 10'000 Handlungen statistisch nur 1 Fehler passiert und in 9'999 Handlungen keine Fehler auftreten. Es würden aber meist nur die Fehler untersucht und die spezifischen Ursachen der Fehler behoben. Dabei werde missachtet, dass Hürden, die aufgrund von Fehleruntersuchungen

eingrichtet würden, auch Handlungen betreffen bei welchen bisher keine Fehler aufgetreten sind. Durch das Einrichten von Hürden oder ausschalten von vermeintlichen Fehlerquellen, würden demnach auch Ressourcen eliminiert, welche in anderen Fällen ein negatives Ergebnis verhindert hätten (EUROCONTROL, 2013).

Für die vorliegende Untersuchung ist die Unterteilung in Safety-I und Safety-II deswegen von Bedeutung, weil der Abfahrprozess bisher nur mit Methoden der Safety-I untersucht wurde.

2.4 Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

Innerhalb des Resilience Engineering wird die Functional Resonance Analysis Method (FRAM) als Methode zur systemischen Analyse von Risiken und Ereignissen aufgeführt (Underwood & Waterson, 2013b). FRAM kann damit sowohl für die Safety-I wie auch die Safety-II Perspektive eingesetzt werden, weil es damit möglich ist, geschehene Ereignisse wie auch prospektive Risikoszenarien zu untersuchen.

Laut Hollnagel (2012), der die Methode als erster beschrieben hat, ist es wichtig zu betonen, dass FRAM kein Modell ist, sondern eine Methode um ein Modell zu erstellen. Dabei stellt das Modell ein System als logische Abfolge von Funktionen dar, die verschiedene Aspekte beinhalten und mit anderen Funktionen verknüpft sind. Die Methode ist geeignet um zu verstehen, wie ein System wirkt und um zu verstehen, wie Arbeit ausgeführt wird oder wurde. FRAM unterscheidet klar zwischen „work-as-done“ und „work-as-imagined“, also wie Arbeit ausgeführt wird im Gegensatz dazu, wie man sich vorstellt, dass die Arbeit ausgeführt werden sollte. FRAM propagiert die Modellerstellung anhand von „work-as-done“, weil nur so verstanden werden könne, wie die Komponenten in einem komplexen System interagieren. Anhand dieses Verständnisses kann dann wiederum eine bestimmte vergangene Situation, im Sinne einer Ereignisanalyse, oder eine zukünftige Situation, im Sinne einer Risikoanalyse, untersucht werden.

Im Folgenden werden die zugrunde liegenden Konzepte von FRAM und das Vorgehen in der Anwendung der Methode ausführlich beschrieben.

2.4.1 Grundsätze von FRAM

FRAM basiert nach Hollnagel (2012) auf vier Grundprinzipien, welche im Folgenden erläutert werden.

1. Der Grundsatz der Gleichwertigkeit von Erfolg und Misserfolg:

Typischerweise wird ein System oder eine Situation in Einzelteile zerlegt, um zu erklären, warum etwas misslungen ist. Dabei werden Bestandteile identifiziert, welche für das negative Ergebnis verantwortlich sind, weil sie nicht richtig funktioniert haben oder falsch ausgeführt wurden. Dieser Ansatz folgt der Hypothese, dass unterschiedliche Ursachen dafür verantwortlich sind, dass etwas gelingt oder misslingt. Unterschiedliche Ergebnisse haben demnach völlig unterschiedliche Ursachen. FRAM folgt einem anderen Ansatz, nämlich dem von Safety II, dass sich Erfolg und Misserfolg aus denselben Ursachen ergeben können. Die Tatsache, dass das Ergebnis in beiden Fällen unterschiedlich ist, bedeutet nicht, dass die zugrundeliegenden Ursachen unterschiedlich sind. Warum das so ist, erklärt der Grundsatz der ungefähren Anpassung.

2. Der Grundsatz der ungefähren Anpassung:

Viele unserer heutigen sozio-technischen Systeme können nicht in ihrer ganzen Komplexität verstanden werden, weil sie sehr gross und nur teilweise lenkbar sind. Die Arbeitsbedingungen in diesen Systemen sind daher nie vollständig in Übereinstimmung mit dem, was erwartet oder vorgeschrieben wird. Es ist daher notwendig die Leistung ständig den vorhandenen Bedingungen anzupassen (Ressourcen, Zeit, Werkzeuge, Informationen, Anforderungen, Möglichkeiten, Konflikte, Unterbrechungen). Diese Anpassungen werden von Individuen, Gruppen und Organisationen auf allen Ebenen vorgenommen, bei der Aufgabenausführung, der Planung und auch im Management. Diese Anpassungen sind aufgrund beschränkter Ressourcen eher ungefähr als genau. Weil sich die Situationen aber nur selten stark unterscheiden, sind die Anpassungen meistens gut genug. Die ungefähre Anpassung ist also die Erklärung dafür, dass Dinge gut gehen, aber ebenso der Grund dafür, dass sie gelegentlich misslingen.

3. Der Grundsatz der emergenten Ergebnisse:

Die Variabilität der alltäglichen Anpassungen ist selten so gross, dass sie als Ursache fungiert, wenn etwas schiefgeht. Ebenso ist sie selten gross genug, um einen Misserfolg zu erklären. Aber wenn es nicht möglich ist eine spezifi-

sche Ursache zu finden, die das beobachtete Ergebnis erklärt, kann nicht behauptet werden, dass die Ergebnisse durch bestimmte Bedingungen oder Situationen verursacht wurden. Vielmehr können die Variabilitäten mehrerer Funktionen zusammenfallen und sich gegenseitig in unerwarteter Weise beeinflussen und dadurch zu unerwarteten und überproportionalen Ergebnissen führen, sowohl in einem positiven wie auch negativen Sinn. Das was sich als schlecht erweist sowie das was sich als gut erweist, kann also aus der unerwarteten Kombination von normalen Abläufen erklärt werden. Dies wird als Emergenz bezeichnet. Die Auswirkung kann nicht einer Störung oder einem Mangel zugeschrieben werden, weil die Wirkung nichtlinear ist, was bedeutet, dass es keine Proportionalität zwischen Ursache und Wirkung gibt und dass die Wirkung nicht durch kausales (geradliniges) Denken erklärt werden kann.

Hollnagel, Hounsgaard und Colligan (2014) führen zur Erläuterung des Grundsatzes der emergenten Ergebnisse einige Beispiele an, welche den Unterschied zwischen resultierenden und emergenten Ergebnissen aufzeigen. So beschreiben sie als Beispiel aus der Finanzbranche Zinssätze und Erträge als resultierende, also eindeutig auf Ursachen zurückzuführende Ergebnisse. Hingegen sind Börsenkurse und Aktienwerte emergente Ergebnisse, weil die Schwankungen der Kurse nicht auf eindeutig identifizierbare Bedingungen oder Situationen zurückzuführen sind. Ein weiteres Beispiel entnehmen die Autoren der Physik. Als eindeutig resultierend beschreiben sie, dass Temperaturen unter 0°C Eisbildung zur Folge haben. Hingegen ist die Schneeflockenbildung emergent, weil die Form einer Schneeflocke nicht einzelnen Ursachen zugeschrieben werden und auch nicht vorhergesagt werden kann.

4. Das Prinzip der Resonanz:

Die Variabilitäten mehrerer Funktionen können manchmal zusammenfallen, sie können sich gegenseitig beeinflussen. Dies kann eine ungewöhnlich grosse Amplitude (Ausschlag) einer oder mehrerer Funktionen bewirken (entweder zu positiven oder negativen Ergebnissen führend). In der Folge kann sich die vergrößerte Variabilität auf andere Funktionen ausbreiten, in Analogie zum Phänomen der Resonanz. Das Ergebnis ist so nicht mehr eine Frage von Ursache-Wirkungs-Ketten, weil dies implizieren würde, dass spezifische und erkennbare Ursachen verantwortlich sind. Die Einflüsse sind vielmehr emergent und können nicht erklärt werden durch oder reduziert werden auf lineare Kausalität.

Das Konzept der Resonanz ist der Physik entliehen, welche mehrere Arten von Resonanz kennt. Grundsätzlich werden dabei grosse, nichtlineare Amplitudenschwankungen durch bestimmte Frequenzen verursacht.

Die für FRAM zentrale Resonanz ist die funktionale Resonanz, welche die erkennbare Schwankung in einem sozio-technischen System beschreibt. Die funktionale Resonanz entsteht, wenn verschiedener Funktionen mit alltäglicher Variabilität unbeabsichtigt interagieren. Weil sich Menschen in einem sozio-technischen System an gewisse Heuristiken halten, sind ihr Verhalten und ihre Reaktion auf unerwartete Situationen teilweise vorhersehbar. Diese Regelmässigkeit unterscheidet die funktionale von der physikalischen Resonanz. Die funktionale Resonanz bietet eine Möglichkeit, emergente und nichtlineare Ergebnisse zu verstehen, vorherzusagen und zu kontrollieren.

2.4.2 Entwickeln eines FRAM-Modells

FRAM ist eine systematische Methode um zu beschreiben, wie eine Aktivität (ein Arbeitsschritt, eine Folge von Tätigkeiten) üblicherweise ausgeführt wird. Diese Beschreibung wird FRAM-Modell genannt. Die ausgewählte Aktivität wird mit den dazu notwendigen Funktionen, deren Kopplung und typischen Variabilität, bzw. Schwankung beschrieben. Der Zweck von FRAM ist es, eine prägnante und systematische Beschreibung der „normalen“ Arbeit zur Verfügung zu stellen (Hollnagel et al., 2014).

Um Informationen darüber zu erhalten, wie die Arbeit tatsächlich ausgeführt wird, empfiehlt Hollnagel (2014b) zuerst Informationen über das Arbeitsumfeld zu sammeln. Dabei sind nicht Schulungsdokumente oder Prozessbeschreibungen interessant, sondern Fotos und Besichtigungen der Arbeitsplätze. Interviews und Beobachtungen werden danach als gute Informationsquelle genannt, um Informationen darüber zu erhalten, wie die Arbeit ausgeführt wird. Allerdings wird bei der Anwendung dieser Methoden vor dem Bestätigungsfehler gewarnt, wenn nur nach existierenden Problemen gesucht wird, anstatt danach wie Probleme gelöst werden.

2.4.3 Funktionen in FRAM

Hollnagel (2012) führt die Hierarchische Aufgabenanalyse (Hierarchical Task Analysis, HTA) als Ausgangslage auf, um Funktionen für FRAM zu identifizieren. Dabei werden die Tätigkeiten der untersten Ebene der HTA als Funktionen übernommen. Im Gegensatz zu einer HTA spielt bei FRAM die zeitliche Abfolge von Funktionen keine Rolle, weswegen die identifizierten Funktionen auch alphabetisch aufgeführt werden können.

nen.

Die Tätigkeiten oder Funktionen eines Systems werden in FRAM meistens mit einem Hexagon dargestellt, wie es in Abbildung 2 ersichtlich ist. Jede Funktion kann dabei mit sechs unterschiedlichen Aspekten beschrieben und mit anderen Funktionen im System verknüpft werden. Die sechs Aspekte einer FRAM-Funktion sind:

- Input: Das, was die Funktion verarbeitet oder verändert, oder das, was die Funktion startet.
- Precondition: Die Vorbedingung, welche erfüllt sein muss, bevor eine Funktion ausgeführt werden kann.
- Resource: Das, was die Funktion benötigt oder verbraucht, um das Ergebnis zu produzieren.
- Control: Wie die Funktion reguliert oder überwacht wird. Zum Beispiel Pläne, Programme oder Instruktionen.
- Time: Zeitliche Abhängigkeiten der Funktion.
- Output: Das Ergebnis der Funktion, die Zustandsänderung, welche die Funktion hervorruft.

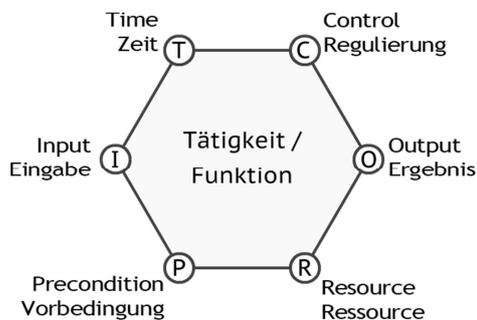


Abbildung 2: Darstellung einer Funktion in FRAM

Die Verknüpfung der Funktionen in einem FRAM-Modell ist in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt. Dabei repräsentiert die Darstellung keine zeitliche, sondern eine logische Abfolge der Funktionen.

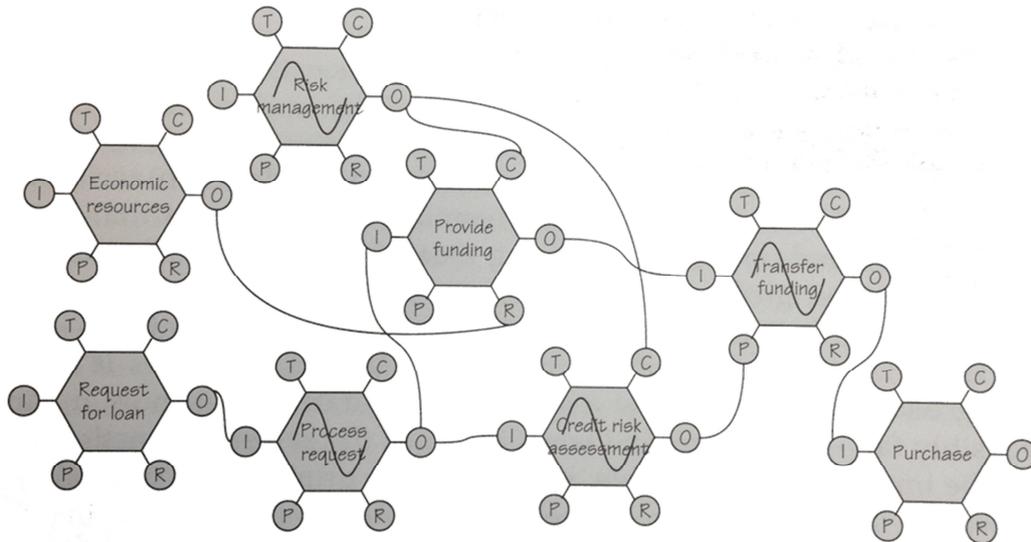


Abbildung 3: Beispiel FRAM-Modell (Hollnagel, 2012, S. 123)

Für die Datenerhebung und Beschreibung der Funktionen wird ein FRAM-Frame wie in Tabelle 1 empfohlen.

Tabelle 1: FRAM-Frame

Name der Funktion	
Beschreibung	
Aspekt	Beschreibung des Aspektes
Input	
Output	
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Jeder Aspekt muss ein Ergebnis (Output) einer anderen Funktion sein und jeder Output darf kein Output einer anderen Funktion sein, damit das FRAM-Modell komplett ist. Dabei propagieren Hollnagel et al. (2014) das Prinzip „Breite vor Tiefe“, was bedeutet, dass zuerst alle notwendigen Funktionen und Aspekte beschrieben werden, bevor ausgewählt wird, welche Funktionen durch die Aspekte benötigt werden.

2.4.4 Instanzen und Funktionstypen

Ein FRAM-Modell stellt keine spezifische Situation dar, sondern ist ein generisches Modell mit den potenziellen Verbindungen und potenziellen Schwankungen der Funktionen für eine typische Situation. Ob, wie und in welcher Reihenfolge einzelne Funktionen ausgeführt werden, wird mittels sogenannten „Instanzen“ des Modells aufge-

zeigt. Eine Instanz setzt sich aus einem Set von Funktionen aus dem FRAM-Modell zusammen. Eine Instanz kann entweder eine reale Situation im Sinne einer Ereignisanalyse oder eine hypothetische Situation im Sinne einer Risikobeurteilung sein. Dabei unterscheidet Hollnagel (2012) einerseits zwischen vorgelagerten (upstream) und nachgelagerten (downstream) Funktionen und andererseits zwischen Vordergrund- (foreground) und Hintergrundfunktionen (background).

Eine vorgelagerte Funktion A wird vor einer anderen Funktion B ausgeführt und beeinflusst diese. Die Funktion B, welche beeinflusst ist, wird als nachgelagerte Funktion bezeichnet. Allerdings kann Funktion B gleichzeitig vorgelagerte Funktion relativ zu Funktion C sein, wenn Funktion C nach Funktion B ausgeführt wird.

Während vor- und nachgelagerte Funktionen die zeitliche Abhängigkeit innerhalb der Instanz im FRAM-Modell beschreiben, beziehen sich Vordergrund und Hintergrund auf die relative Wichtigkeit einer Funktion innerhalb des Modells. Hintergrundfunktionen stellen den Kontext oder das Arbeitsumfeld dar, sind aber nicht im Fokus der Untersuchung und werden weniger detailliert beschrieben. Vordergrundfunktionen stellen den Schwerpunkt der Untersuchung dar und werden detailliert beschrieben. Wenn sich der Fokus der Untersuchung verändert, können Vordergrund- zu Hintergrundfunktionen gemacht werden und umgekehrt.

2.4.5 Variabilität von Funktionen

Eine Funktion in FRAM kann in ihrer Ausführung schwanken. Dabei geht Hollnagel (2012) davon aus, dass Funktionen nicht nur ausgeführt werden oder nicht, sondern dass sie unterschiedlich ausgeführt werden und dadurch ein unterschiedliches Ergebnis erzeugen können. Demzufolge ist das spezifische Resultat eines Ablaufs auf die Schwankung von Funktionen zurückzuführen. Zur Erinnerung: Die Verkettung von variablen Funktionen erklärt ein allfällig misslungenes Resultat, nicht aber einzelne identifizierbare Fehler. Die in FRAM enthaltenen Typen von Variabilität basieren auf den in der CREAM-Methode (cognitive reliability and error analysis method) beschriebenen Leistungsbedingungen (vgl. Hollnagel, 1998).

FRAM geht von charakteristischen Unterschieden in der Schwankung von technologischen, menschlichen und organisationalen Funktionen aus. Die Schwankung wird beschrieben mit der Frequenz, also der Häufigkeit, mit welcher ein Ergebnis variiert, und der Amplitude, welche beschreibt, wie stark ein Ergebnis variiert in Bezug auf die Abweichung von einem normalen Niveau. Hollnagel (2012) unterscheidet die Schwankungen der Funktionstypen wie folgt:

- Technologische Funktionen werden von unterschiedlichen Maschinen ausgeführt, welche in den meisten Fällen Informationstechnologie beinhalten, um Informationen zu sammeln, zu speichern, zu verarbeiten, zu analysieren und zu übermitteln. FRAM geht davon aus, dass technologische Funktionen voraussehbare und zuverlässige Ergebnisse liefern und grundsätzlich stabil sind, also keine signifikante Schwankung aufweisen. Fehler in der Software, schlechte Instandhaltung oder Abnutzungserscheinungen können Schwankungen verursachen, aber grundsätzlich wird von einer Stabilität von technologischen Funktionen ausgegangen.
 - Menschliche Funktionen werden von Individuen oder kleinen Gruppen ausgeführt. Menschliche Leistung wird im Zusammenhang mit Sicherheit oft als unzuverlässig beschrieben. Die falsche aber unausrottbare Folgerung daraus ist, dass Fehler von Menschen verursacht werden. Dies missachtet die Tatsache, dass Schwankungen in der menschlichen Leistung häufiger nützlich als schädlich sind und nicht nur unvermeidlich, sondern auch unverzichtbar sind. In FRAM wird davon ausgegangen, dass die Schwankung in menschlichen Funktionen eine hohe Frequenz und eine grosse Amplitude hat. Die hohe Frequenz meint, dass sich Leistung plötzlich verändern kann, weil Menschen sehr schnell auf Veränderungen reagieren. Die grosse Amplitude bedeutet, dass die Unterschiede in der Leistung gross sein können, zum Guten oder Schlechten. Die Schwankung von Frequenz und Amplitude ist von verschiedenen Ursachen abhängig, einschliesslich der Arbeitsbedingung. FRAM stellt eine klare und umfassende Beschreibung solcher Abhängigkeiten zur Verfügung.
 - Organisationale Funktionen werden von Gruppen, manchmal sehr grossen Gruppen, ausgeführt, in denen Tätigkeiten ausführlich organisiert sind. Obwohl organisationale Funktionen von Menschen ausgeführt werden, unterscheiden sie sich von menschlichen Funktionen, weil sie auf einer anderen Ebene definiert sind. Organisationen koordinieren die menschlichen Funktionen. Zum Beispiel kann ein Individuum unterrichten, während eine Organisation nur Training anbieten kann. Oder ein Individuum kann etwas prüfen, die Organisation kann Qualitätskontrolle anbieten. FRAM geht davon aus, dass die Frequenz der Schwankung in organisationalen Funktionen typischerweise niedrig, die Amplitude allerdings gross ist. Die niedrige Frequenz bedeutet, dass sich die organisationale Leistung langsam verändert und dass häufig eine hohe Trägheit vorhanden ist. Die grosse Amplitude meint den grossen Umfang oder die grosse Reichweite, welche Schwankungen von organisationalen Funktionen
-

beinhalten.

Hollnagel et al. (2014) gehen von endogenen, exogenen und funktional verursachten Schwankungen von Funktionen aus. Im Folgenden werden diese verschiedenen Schwankungsarten und deren Auswirkung auf die unterschiedlichen Funktionstypen beschrieben.

Endogene Variabilität

Die Schwankung des Ergebnisses kann ein Resultat der Funktion selber sein, zum Beispiel aufgrund der Einzigartigkeit der Funktion.

Technologische Funktionen können eine endogene Variabilität aufweisen, wenn deren Aufbau kompliziert und dadurch nicht genau spezifiziert ist, oder durch Abnutzung von mechanischen Komponenten.

Menschliche Funktionen können aufgrund physiologischer oder psychologischer Faktoren eine endogene Variabilität aufweisen. Beispiele sind Ermüdung, Arbeitsbeanspruchung, Wohlbehagen, Behinderungen oder der eigene Tagesrhythmus. Ebenfalls sind persönliche Dispositionen wie Persönlichkeitseigenschaften, kognitiver Stil oder Neigungen in der Entscheidungsfindung Ursachen von endogener Variabilität.

Organisationale Funktionen weisen aufgrund verschiedenster Faktoren wie Effektivität der Kommunikation, der Hierarchien oder der Organisationskultur endogene Variabilität auf.

Exogene Variabilität

Die Variabilität des Ergebnisses kann aufgrund der Schwankung der Arbeitsumgebung entstehen, zum Beispiel aufgrund der Bedingungen, unter welchen eine Funktion ausgeführt wird.

Technologische Funktionen weisen aufgrund unangemessener Wartung, unangepasster Bedienung, Fehler in Messinstrumenten und Sensoren, Überlastung oder falscher Anwendung exogene Variabilität auf.

Menschliche Funktionen können aufgrund sozialer oder organisationaler Faktoren (wie Erwartungen, Standards oder politische Überlegungen) exogene Variabilität aufweisen.

Für Organisationen kommt der grösste Ausseneinfluss aus dem physischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Umfeld. Dazu gehören Kundenerwartungen, Verfügbarkeit von Ressourcen oder auch das Wetter und andere Naturgewalten.

Funktionale Kopplung (functional upstream-downstream coupling)

Die Variabilität des Ergebnisses kann auch aufgrund der Schwankung von vorgelagerten (upstream) Funktionen verursacht werden, weil diese die Eingabe, die Vorbedingungen, die Ressource, die Regulierung oder die Zeit für die nachgelagerte (downstream) Funktion bereitstellen.

2.4.6 Beschreibung der Variabilität

Nachdem die potenzielle endogene und exogene Variabilität der Funktionen erhoben ist, wird beschrieben, wie das Ergebnis der Funktion in Form von Zeit und Präzision dadurch beeinflusst werden kann.

Bezogen auf die Zeit kann ein Ergebnis zu früh, rechtzeitig, zu spät oder überhaupt nicht vorliegen. Ein Ergebnis, das zu früh, zu spät oder überhaupt nicht verfügbar ist, kann vielerlei Einflüsse auf die Variabilität von nachgelagerten Funktionen haben. Bezogen auf die Präzision kann ein Ergebnis genau, annehmbar oder ungenau sein. Ein genaues Ergebnis kann die Variabilität von nachgelagerten Funktionen potenziell reduzieren, ein annehmbares Ergebnis kann bei einer nachgelagerten Funktion die Variabilität erhöhen, weil Anpassungen notwendig sind, und ein ungenaues Ergebnis führt zu Mehraufwand in einer nachgelagerten Funktion.

Die potenzielle Variabilität beschreibt nach Hollnagel et al. (2014) was passieren könnte unter verschiedenen Bedingungen. Im Gegensatz dazu beschreibt die tatsächliche Variabilität was unter den gegebenen Bedingungen erwartet werden kann. Die tatsächliche Variabilität und Analyse der funktionalen Kopplung und Resonanz, wird nur auf Instanzen des FRAM-Modells angewandt.

2.4.7 Instanzen des FRAM-Modells

FRAM kann laut Hollnagel (2012) verwendet werden, um retrospektive Analysen, Risikoabschätzungen bzw. prospektive Analysen und Designstudien auszuführen. Den Analysen liegt dabei immer ein FRAM-Modell zugrunde. Die potenzielle Variabilität der Funktionen wird in den Instanzen durch tatsächliche oder erwartete Variabilität ersetzt. Anhand der Instanzen kann funktionale Resonanz entdeckt werden. Bei prospektiven Analysen wird die funktionale Resonanz identifiziert, welche in der entsprechenden Situation eine Rolle spielen könnte, und welche dazu führen würde, dass die Kontrolle über die Situation verloren ginge. Anhand der Erkenntnisse können Möglichkeiten zur Erkennung oder Minderung von Variabilität vorgeschlagen werden (z.B. Indikatoren, Barrieren, Änderungen an der Tätigkeit, etc.).

2.4.8 Funktionale Resonanz

Die Funktionale Resonanz, welche der Methode ihren Namen verliehen hat, beschreibt, wie funktionale Kopplung zwischen normal ausgeführten Funktionen mit normalen Schwankungen zu unerwünschten und nichtlinearen Ergebnissen führen kann (Hollnagel, 2012).

Hollnagel (2012) unterscheidet fünf unterschiedliche Typen von funktionaler Kopplung, welche zu funktionaler Resonanz führen können: zwischen Ergebnis und Eingabe, Ergebnis und Vorbedingung, Ergebnis und Ressource, Ergebnis und Regulierung und Ergebnis und Zeit. Die Typen der funktionalen Kopplung und deren mögliche Auswirkung auf die Variabilität sind in Tabelle 2 ersichtlich. Dabei wird die Taxonomie von Hollnagel verwendet, welche beschreibt, inwiefern ein variables Ergebnis der vorgelagerten Funktion einen Einfluss auf die Variabilität der nachgelagerten Funktion hat.

[V↑] beschreibt den Fall, dass die Variabilität der nachgelagerten Funktion vergrößert werden kann.

[V↓] beschreibt den Fall, dass die Variabilität der nachgelagerten Funktion reduziert werden.

[V↔] beschreibt den Fall, dass die Variabilität der nachgelagerten Funktion unverändert bleiben kann.

Tabelle 2: Funktionale Kopplung zwischen vor- und nachgelagerter Funktion

Ergebnis-Variabilität vorgelagerte Funktion		Eingabe	Vorbedingung	Ressource	Regulierung	Zeit
Zeitpunkt	zu früh	[V↑]	[V↑]	[V↔]	[V↑]	[V↑]
	rechtzeitig	[V↓]	[V↓]	[V↓]	[V↓]	[V↓]
	zu spät	[V↑]	[V↑]	[V↑]	[V↑]	[V↑]
	Unterlassung	[V↑]	[V↑]	[V↑]	[V↑]	[V↑]
Präzision	ungenau	[V↑]	[V↑]	[V↑]	[V↑]	[V↑]
	annehmbar	[V↔]	[V↔]	[V↔]	[V↔]	[V↔]
	genau	[V↓]	[V↓]	[V↓]	[V↓]	[V↓]

2.4.9 Systemgrenzen

Ein FRAM-Modell bezieht sich nach Hollnagel (2014) immer auf einen begrenzten Untersuchungsgegenstand. Je grösser das untersuchte System, desto komplexer und weniger detailliert wird typischerweise das FRAM-Modell. Ist das untersuchte System sehr begrenzt, kann ein höherer Detaillierungsgrad der beschriebenen Funktionen

und Zusammenhänge erreicht werden. Somit ist klar, dass ein FRAM-Modell Systemgrenzen beinhaltet. Wird das Landen eines Flugzeugs untersucht, kann das FRAM-Modell zum Beispiel mit Handlungen der Piloten und Lotsen zum Landen beginnen und enden wenn das Flugzeug von der Landebahn rollt.

Eine Untersuchung kann über die ursprünglich definierte Systemgrenze hinausgehen, weil zur Beschreibung von Aspekten der Funktionen zusätzliche Funktionen aufgenommen werden müssen oder weil Hintergrundfunktionen variieren und deswegen in Vordergrundfunktionen umgewandelt werden müssen. In FRAM gilt die Regel, dass die Systemgrenze so weit ausgedehnt wird, bis keine ungeklärte Variabilität von Funktionen mehr auftaucht, bzw. ein stabiles Set von Funktionen erreicht ist (Hollnagel et al., 2014).

2.5 Hierarchische Aufgabenanalyse

Hollnagel (2012) führt die hierarchische Aufgabenanalyse (Hierarchical Task Analysis, HTA) als Ausgangslage auf, um Funktionen für FRAM zu identifizieren. Dabei werden die Tätigkeiten der untersten Ebene der HTA als Funktionen übernommen.

Die HTA ist die gängigste Aufgabenanalysemethode und Ausgangslage für viele weiterführende Human Factors Analysemethoden, wie Stanton, Salmon, Walker, Baber und Jenkins (2005), die Autoren eines Herausgeberwerks über Human Factors, schreiben. In einer HTA wird demnach das übergeordnete Ziel einer Aufgabe (z.B. „Get cash from an ATM“) in aussagekräftige Sub-Ziele unterteilt (z.B. „Prepare transaction“ und „Complete transaction“). Diese Sub-Ziele werden weiter zerlegt in Ziele und Tätigkeiten (z.B. „Insert credit card“), bis eine angemessene Tiefe erreicht ist. Die unterste Ebene einer HTA entspricht immer Tätigkeiten, da diese beschreiben was gemacht werden muss, um das Ziel zu erreichen. Wenn alle Sub-Ziele und Tätigkeiten beschrieben sind, werden diese gegliedert und in einer Tabelle oder einem Baumdiagramm dargestellt. Ein einfaches Beispiel einer HTA in Form eines Baumdiagramms zeigt Abbildung 4. Darin sind die notwendigen Schritte ersichtlich, um Geld aus einem Bankautomaten zu beziehen.

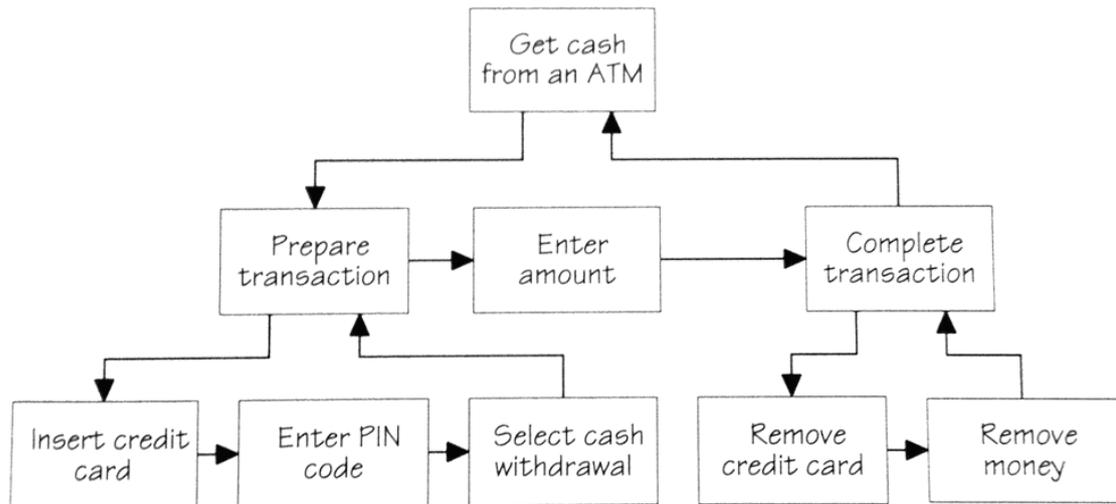


Abbildung 4: Hierarchische Aufgabenanalyse der Geldentnahme aus einem Bankautomaten (Hollnagel, 2012, S. 41).

Stanton et al. (2005) nennen die teilnehmende Beobachtung oder Befragung als geeignete Methoden, um eine HTA durchzuführen.

3 Methode

Im folgenden Kapitel wird das Vorgehen der Untersuchung beschrieben.

In vorangegangenen Untersuchungen zu Signalfällen und Ereignissen mit Zügen bei der SBB, wurden vorwiegend Ursachen für Fehler gesucht. Aus den Untersuchungen abgeleitete Massnahmen zur Verhinderung ähnlicher Fälle waren zum Beispiel Arbeitsanweisungen für das Lokpersonal in Form von sogenannten „Gestes métier“ (GM). Auch für das Abfahren von Zügen existiert eine solche GM. Die Anweisungen werden nach der Veröffentlichung innerhalb der SBB als Soll-Beschreibung einzelner Arbeitsschritte verstanden, bzw. werden zum Standard erklärt. Bei weiteren Untersuchungen zu Ereignissen wird danach oft verglichen, ob im untersuchten Ereignis die Abläufe von den geltenden Standards abgewichen sind. Ein häufiges Ergebnis von Ereignisanalysen in der Vergangenheit war, dass das Lokpersonal die GM nicht konsequent angewandt hat. Erkenntnisse zu organisationalen Faktoren in Ereignisanalysen waren selten (SBB, 2014).

Die Schwierigkeit, organisationale Faktoren im Rahmen von Ereignisanalysen zu identifizieren, beschreiben Schöbel und Manzey (2011). Aus Sicht der Autoren werden durch Vergleiche zwischen Soll- und Ist-Abläufen motivationale Aspekte sicherheitsgerichteten Handelns unterschätzt. Sie fordern deswegen durch die Anwendung verhaltensorientierter Theorien stärker Motive zu identifizieren, welche sicherheitsrelevantes Verhalten anleiten.

Badke-Schaub, Hofinger und Lauche (2012) schreiben, dass Untersuchungen von Einzelereignissen nicht geeignet seien, um Kausalitäten nachzuweisen, weil sie methodisch gesehen Fallstudien seien und lediglich zur Theorienbildung und -prüfung dienen könnten. Ebenfalls seien typische Analysefehler wie Bestätigungstendenzen und vorzeitige Hypothesenbildung zu beachten.

Neue Erkenntnisse und Erkenntnisse über organisationale Faktoren können nur generiert werden, wenn unvoreingenommen vorgegangen wird. In einem Herausgeberwerk zu Resilience Engineering schreibt John Stoop, Professor für Safety Science an der Universität Lund SE, über Voraussetzungen dafür, resiliente Systeme zu gestalten:

In order to be able to design resilience into systems, several requirements have to be met:

[...] Identify system and knowledge deficiencies in order to understand

and control the propagation of hazards through a system. Such investigations should be unbiased and impartial. Instead, an understanding of goals and motives should facilitate a perspective on improved systems governance and control and should facilitate change strategies. [...] (Stoop, 2011, S. 215)

In der vorliegenden Studie wurde zur unvoreingenommenen Untersuchung des Abfahrprozesses deswegen bewusst darauf verzichtet, Erkenntnisse aus Ereignisanalysen als Grundlage für Beobachtungen und Interviews zu verwenden. Das Ziel der Studie war es neue Erkenntnisse über Voraussetzungen zur sicheren Abfahrt eines Zuges zu gewinnen. Die gewählte Methode sollte ermöglichen die Komplexität des Systems Zugführung zu erfassen und Motive für bestimmtes Verhalten des Lokpersonals zu identifizieren.

Eine Literatursuche nach Methoden führte zur Functional Resonance Analysis Method (FRAM). Mit FRAM wird nicht primär danach gesucht, was falsch gehen könnte, sondern es wird versucht eine Beschreibung zu entwickeln, was im Normalfall passiert. Daraus wird versucht zu verstehen, wie die Leistungsschwankung dazu führt, dass etwas gelingt oder misslingt. „Normalfall“ ist in diesem Zusammenhang explizit nicht als Konformität zu einem Standard, sondern im Sinne von typisch zu verstehen (Hollnagel, 2012). Deswegen wurde in der vorliegenden Untersuchung der Normalfall des Abfahrprozesses untersucht und nicht wie der Abfahrprozess gelehrt wird oder beschrieben ist.

3.1 Stichprobe

Als Stichprobe wurden 15 Lokführer und eine Lokführerin ausgewählt. Da es sich um eine qualitative Untersuchung mit grossem Beobachtungsanteil handeln, wurde keine vollständige Repräsentativität der Stichprobe angestrebt. Eine Bedingung der SBB war, dass das Lokpersonal freiwillig teilnimmt. Zudem wurden einzelne Lokführer vom Leiter der Zugführung von SBB Personenverkehr und einzelner Chefs Lokpersonal (CLP) für die Studie vorgeschlagen.

Das Lokpersonal bei SBB Personenverkehr ist organisatorisch in verschiedene Depots eingeteilt. Die Stichprobe bestand aus Lokpersonal mehrerer Depots von SBB Personenverkehr, welche alle Züge im S-Bahn-Bereich Zürich führen. Das Lokpersonal hatte zwischen 2 und 40 Jahren Arbeitserfahrung als Lokführerin oder Lokführer, wobei die durchschnittliche Arbeitserfahrung bei 25 Jahren lag.

Die Arbeitsschichten des Lokpersonals werden mit sogenannten Touren beschrieben.

Jedes Depot umfasst verschiedene Touren, welche stets am Depotstandort beginnen und enden. Eine Tour ist unterteilt in verschiedene Leistungen, die das Lokpersonal erbringen muss. Das Fahren eines Zuges ist eine Leistung, aber auch das Holen eines Zuges in einem Abstellgleis oder die Dienstfahrt zu einem anderen Standort sind mögliche Leistungen. Eine Fahrleistung des Lokpersonals deckt dabei nicht zwingend eine ganze S-Bahn-Linie ab. Für die vorliegende Studie wurden Touren gewählt, welche zu einem grossen Teil aus Fahrleistungen im S-Bahn-Bereich Zürich bestanden. Auf der Streckennetzkarte des Zürcher Verkehrsverbunds (ZVV) in Abbildung 5, sind die in dieser Studie beobachteten Strecken im S-Bahn-Bereich Zürich gelb markiert.

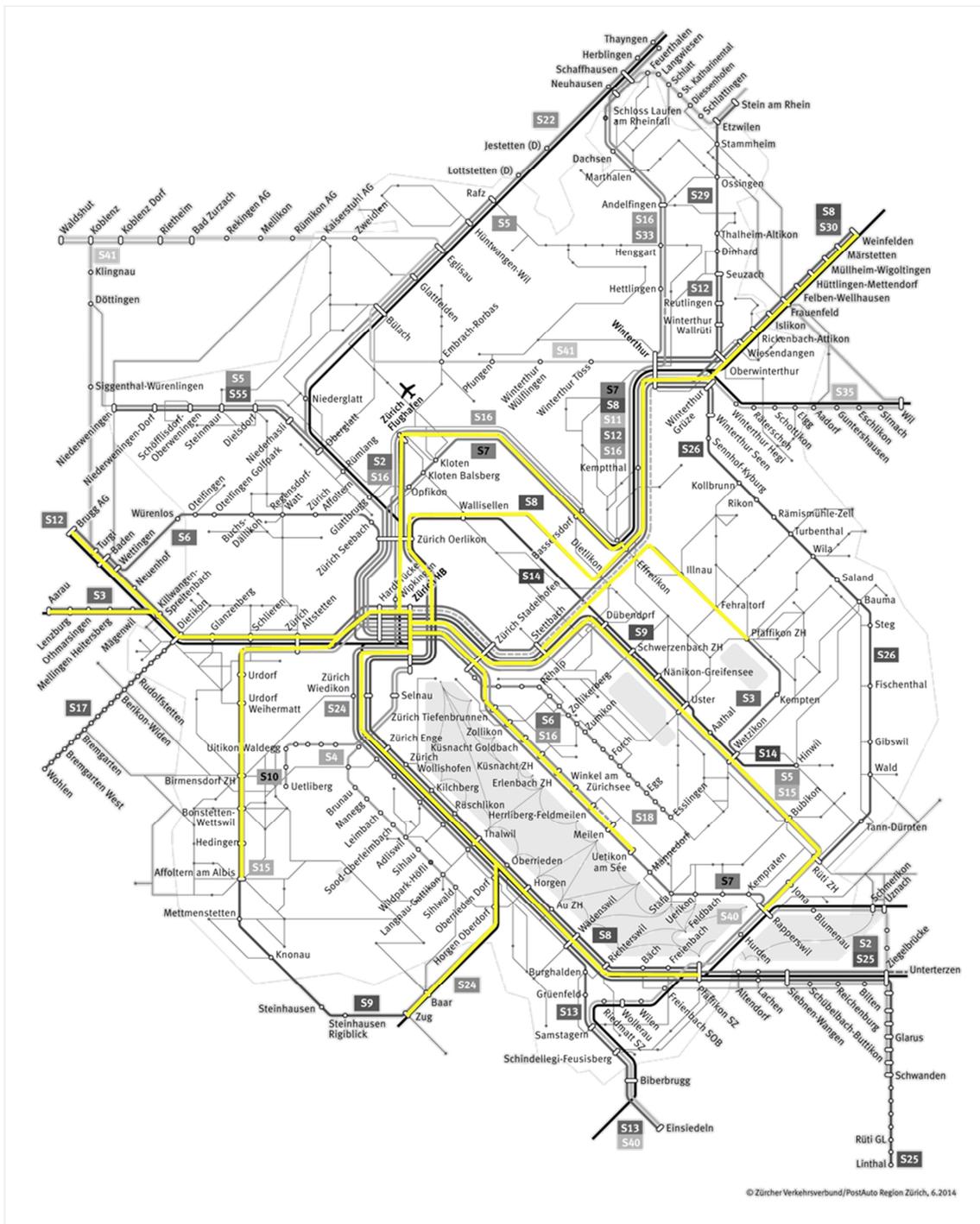


Abbildung 5: beobachtete Strecken auf Streckennetz ZVV

Tabelle 3 zeigt die Zusammensetzung der Stichprobe bezüglich Arbeitsbeginn und Wochentag der Touren.

Tabelle 3: Verteilung Stichprobe auf Tage und Arbeitsbeginn

	Arbeitsbeginn vor 05:00 Uhr	Arbeitsbeginn 08:00 - 11:00 Uhr	Arbeitsbeginn nach 13:00 Uhr
Wochentage	7 Touren	4 Touren	3 Touren
Wochenenden	1 Tour	-	1 Tour

Eine exemplarische Tour des Depots Zürich mit den enthaltenen Leistungen ist in Abbildung 6 ersichtlich. Das Lokpersonal beginnt dabei um 03:37 Uhr in Zürich. Die erste Fahrleistung (dicke Linie unterhalb Zugnummer) beginnt um 04:49 Uhr mit Zug 28706. Jede Linie zwischen den Zugnummern steht für einen Wechsel des Führerstandes und/oder des Zuges. In dieser Tour werden verschiedene Linien des Streckennetzes mit unterschiedlichen Fahrzeugtypen gefahren.

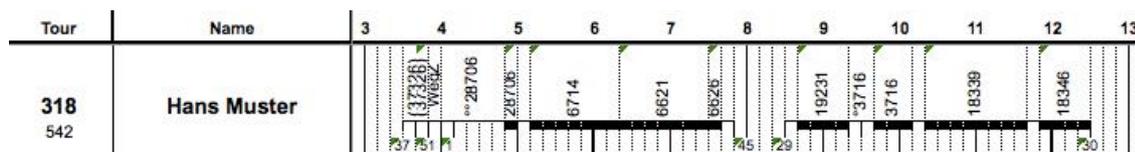


Abbildung 6: Tour 318 Depot Zürich

3.1.1 Rekrutierung der Stichprobe

Das Lokpersonal wurde vom Studienleiter per Email angefragt, ob sie an der Untersuchung teilnehmen wollen und bereit sind, sich auf dem Führerstand begleiten zu lassen. Dem Lokpersonal wurde Anonymität versprochen. Die CLP waren jeweils über die Teilnahme bzw. die Begleitung auf dem Führerstand informiert.

Das Lokpersonal hat bei einer Teilnahme jeweils eine Stunde Zeitgutschrift erhalten, damit der Zeitaufwand für das Interview nach der Arbeitsschicht oder während der Pause kompensiert werden konnte.

3.2 Ablauf

Wie in Abbildung 7 ersichtlich ist, hat sich die Untersuchung in vier Phasen gegliedert.

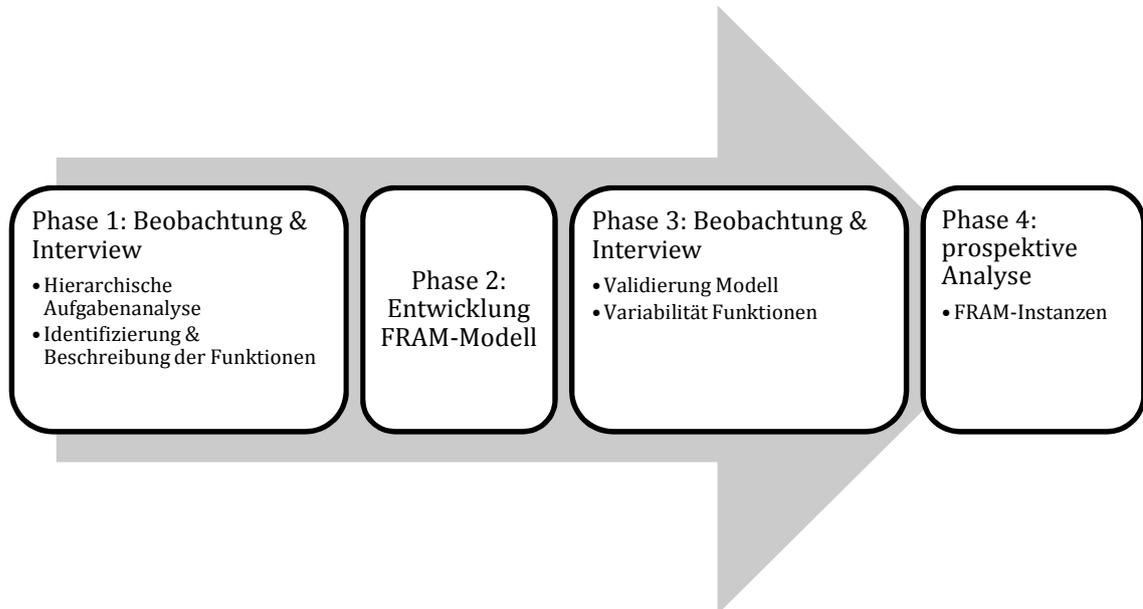


Abbildung 7: Ablauf der Untersuchung

Die Studie wurde im Zeitraum zwischen April 2014 bis April 2015 durchgeführt und verschriftlicht. Die Beobachtungen und Interviews haben zwischen Juni 2014 und Februar 2015 stattgefunden.

3.3 Vorbereitung

Um den Abfahrprozess und das Führen von Zügen im Allgemeinen besser zu verstehen, haben an zwei Halbtagen Instruktionsfahrten mit einem ehemaligen Lokführer im Führerstand auf verschiedenen Strecken und Führerständen im Fern- und Regionalverkehr stattgefunden. Im Anschluss an die Instruktionsfahrten wurde der Studienleiter berechtigt, ohne zusätzliche Begleitung im Führerstand mitzufahren. Inhalte der Instruktionsfahrten waren insbesondere das Verhalten der Begleitperson im Führerstand sowie Erläuterungen zu den Signalen und wesentlichen Elementen im Führerstand.

Die eigene Arbeitserfahrung des Studienleiters bei der SBB haben ebenfalls geholfen, das Arbeitsumfeld des Lokpersonals zu verstehen.

3.4 Phase 1a: Identifizierung der Funktionen

Das Ziel der ersten Phase war es zu verstehen, wie der Abfahrprozess ausgeführt wird, die relevanten Funktionen zu identifizieren und die Funktionen mit ihren Aspekten zu beschreiben. Dazu wurden im ersten Teil fünf Touren auf dem Führerstand beobachtet und das Lokpersonal in einer Pause oder im Anschluss an die Tour mittels eines halbstrukturierten Interviews zum Abfahrprozess befragt.

Die Dauer der teilnehmenden Beobachtung betrug je nach Tour zwischen vier und acht Stunden. Die Ausführung des Abfahrprozesses wurde dabei in Form einer Hierarchischen Aufgabenanalyse (HTA, vgl. Kapitel 2.5) dokumentiert. Die teilnehmende Beobachtung war wie folgt strukturiert:

- Gegenseitige Vorstellung und kurze Erklärung zum Grund der Begleitfahrt
- Beobachten der Abfahrten nach jedem Halt und Dokumentation in Form einer HTA
- Nachfragen zu unklaren Situationen und Abläufen während der Fahrt oder während kurzen Wartezeiten

Die Interviewdauer lag bei ungefähr 30 Minuten und umfasste folgende Themen:

- Erklärung der Studie und die Beschränkung auf den Abfahrprozess
- Überprüfung, ob die relevanten Tätigkeiten des Abfahrprozesses in der teilnehmenden Beobachtung erfasst wurden
- Offene Fragen zum Verständnis von beobachteten Situationen auf dem Führerstand

Aus den HTA wurden im Anschluss die Tätigkeiten der untersten Ebene als Funktionen für FRAM übernommen.

3.5 Phase 1b: Beschreibung der Funktionen

Im zweiten Teil der ersten Phase wurden die Funktionen mit den sechs Aspekten beschrieben, welche die potenzielle Verbindung der Funktionen aufzeigen. Das Vorgehen war dabei ähnlich mit demjenigen in Phase 1a. Es wurden weitere drei Touren auf dem Führerstand beobachtet und das Lokpersonal in einer Pause oder im Anschluss an die Tour mittels eines halbstrukturierten Interviews befragt.

Die Dauer der teilnehmenden Beobachtung betrug zwischen vier und acht Stunden

und die Interviewdauer lag bei ungefähr 40 Minuten.

Bei der teilnehmenden Beobachtung wurden im Unterschied zu Phase 1a die Beobachtungen in ein FRAM-Frame (vgl. Tabelle 1 Seite 16) pro Funktion eingetragen. Wenn bei den beobachteten Touren Tätigkeiten aufgetaucht waren, welche bisher nicht in Funktionen abgebildet waren, wurden diese zusätzlich aufgenommen.

Das halbstrukturierte Interview umfasste folgende Themen:

- Erklärung der Studie und die Beschränkung auf den Abfahrprozess
- Überprüfung, ob die Funktionen mit allen relevanten Aspekten beschrieben waren.
- Offene Fragen zum Verständnis von beobachteten Situationen auf dem Führerstand
- Offene Fragen zum Umgang mit kritischen Situationen

3.6 Phase 2: Entwicklung FRAM-Modell

Die identifizierten und beschriebenen Funktionen wurden mit Hilfe des FRAM Model Visualiser (FMV) zu einem FRAM-Modell zusammengefügt. FMV wird als Tool zur Erstellung und Visualisierung von FRAM-Modellen empfohlen (Hill & Hollnagel, 2014; Hollnagel, 2015).

FMV ist eine auf Adobe Air basierende Software, welche vom Entwickler zur freien Verfügung gestellt wird. Für die vorliegende Untersuchung wurde die Version 0.2.0 von Juni 2014 verwendet, welche von der Webseite www.functionalresonance.com heruntergeladen werden kann.

In Abbildung 8 ist die Oberfläche von FMV ersichtlich. Um ein Modell zu erstellen, müssen die einzelnen Funktionen benannt (1) und mit den Aspekten (2) beschrieben werden. Auf der rechten Fensterhälfte werden die Funktionen grafisch als Hexagon dargestellt (3). Die Aspekte, welche mit einer anderen Funktion zusammenhängen, werden als Linienverbindungen (5) dargestellt. Ein unvollständiges FRAM-Modell ist über rote Markierungen (3) an den Ecken bzw. Aspekten erkennbar. FMV bietet damit eine Hilfe zur vollständigen Erstellung von FRAM-Modellen. Hintergrundfunktionen (4) sind über die Darstellung als Rechteck statt als Hexagon erkennbar. In FMV erstellte FRAM-Modelle können als ausführlicher Bericht mit Funktionsbeschreibungen in FRAM-Frames oder als Bild exportiert werden.

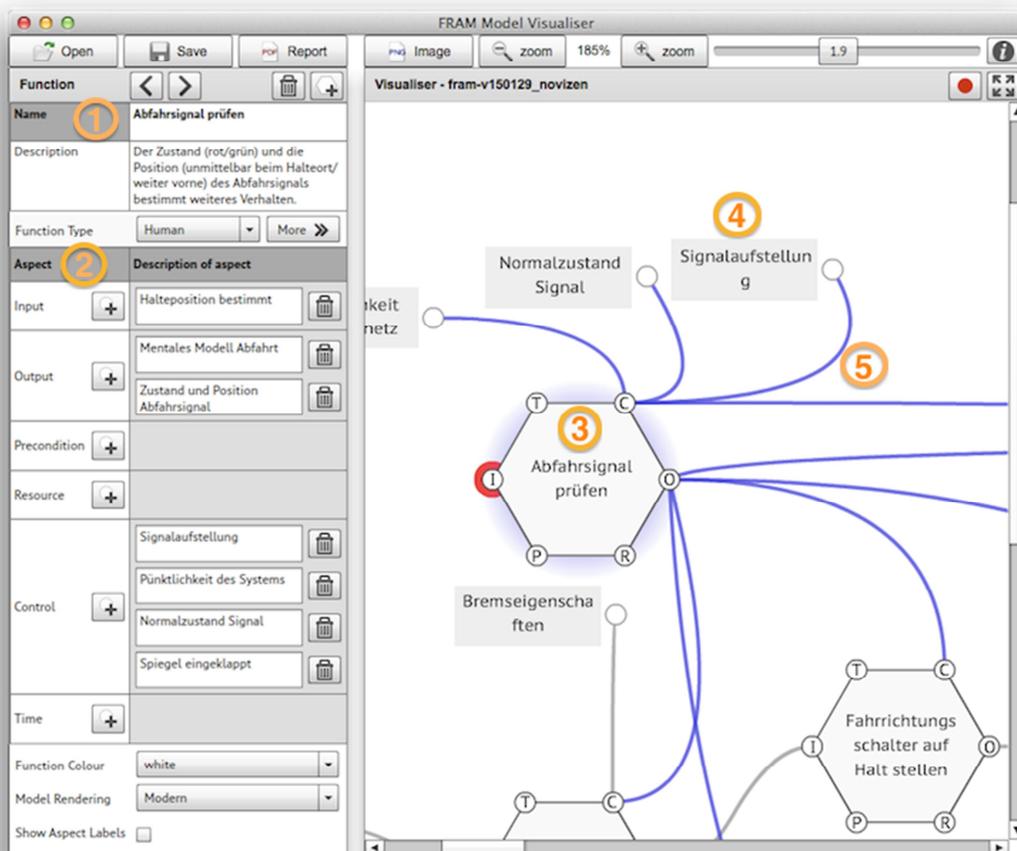


Abbildung 8: Fram Model Visualiser (FMV) Basisfunktionen

Bei der Erstellung des FRAM-Modells in FMV wurde ersichtlich, welche Funktionen noch fehlen um alle Aspekte der bestehenden Funktionen zu verknüpfen. So wurden fehlende Funktionen in einem iterativen Prozess identifiziert, mittels weiterer Beobachtungen und Interviews beschrieben und im Modell implementiert.

Das Ergebnis der Phase 2 war ein vollständiges FRAM-Modell in Textform wie auch als grafische Darstellung.

3.7 Phase 3: Erhebung Variabilität und Validierung Modell

Die dritte Phase umfasste die Identifizierung der potenziellen Variabilität der einzelnen Funktionen. Dazu wurden acht weitere Touren auf dem Führerstand beobachtet und das Lokpersonal teilweise in einer Pause oder im Anschluss an die Tour mittels eines halbstrukturierten Interviews befragt.

Die Dauer der teilnehmenden Beobachtung betrug zwischen vier und acht Stunden

und die Interviewdauer lag bei ungefähr 30 Minuten.

Die Beobachtungsdaten wurden direkt in ein ausgedrucktes FRAM-Modell eingetragen, welches im Nachgang zur Beobachtung jeweils ergänzt wurde. Wenn neue Funktionen oder Abhängigkeiten aufgetaucht waren, wurden diese im FRAM-Modell aufgenommen. In der dritten Phase lag der Schwerpunkt der Beobachtung auf möglichen Schwankungen bei der Ausführung von Funktionen und wichtigen Ressourcen im Abfahrprozess.

Das halbstrukturierte Interview umfasste folgende Themen:

- Erklärung der Studie und die Beschränkung auf den Abfahrprozess
- Offene Fragen zum Verständnis von beobachteten Situationen auf dem Führerstand
- Mögliche Quellen von Schwankungen in der Ausführung von einzelnen Funktionen
- Überprüfung, ob das FRAM-Modell verstanden wird und der Realität entspricht

Die potenzielle Variabilität wurde in Bezug auf Zeit und Präzision beschrieben, abhängig vom Funktionstyp (menschliche Funktion, technische Funktion, organisationale Funktion).

Zur Beschreibung der Variabilität wurde eine Matrix auf Basis von Microsoft Excel entwickelt, in welcher die Quellen der Variabilität eingetragen werden konnten. Anhand der Angaben zu Zeit und Präzision der Funktion wurde eine Bewertung der Ergebnis-Variabilität vorgenommen.

Abbildung 9 zeigt einen Screenshot der Excel-Matrix. Zu jeder Funktion (Zeilen) werden in Spalte E und F Angaben zur Quelle der Variabilität in Textform erfasst. Die potenzielle Ergebnis-Variabilität wird in Spalte G und H mittels Auswahlliste ausgewählt. Die Bewertung der Ergebnis-Variabilität erfolgt in Anlehnung an die im „Tornado Airworthiness System Model“ verwendete Bewertung (Tomczynski, 2014).

		Quelle der Variabilität				potenzielle Output Variabilität			
ID	Funktion	Typ	Modell	Endogen	Exogen	Zeit	Präzision	Wert	Bewertung
3	1 Abfahrtsignal prüfen	M	N / E	Wahrnehmung, Erfahrung	Signalaufstellung	zu spät	genau	6	Hoch
4	2 Abfahrtsignal abwarten	M	N / E	Wahrnehmung	Zeitdruck	zu spät	genau	4	Mittel
5	3 Befreien aus ZUB	M	N / E	Vergessen		zu früh	ungenau	2	Niedrig
6	4 Bremsystem bedienen	M	N / E		Fahrzeug, Wetter	zu früh	genau	2	Niedrig
7	5 Fahren im Bahnhof	M	N / E	Wahrnehmung	Signalisation	zu spät	genau	3	Mittel
8	6 Fahrplan prüfen	M	N / E	Einstellung LEA		zu spät	annehmbar	4	Mittel
9	7 Fahrrichtungsschalter auf Fahrt stellen	M	N / E	Routine	Ergonomie	zu früh	genau	2	Niedrig
10	8 Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen	M	N / E	Routine, Wahrnehmung	Ergonomie	überhaupt nicht	genau	3	Mittel
11	9 Halteposition prüfen	M	N / E	Erwartung	Signalisation	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel
12	10 Kundeninformation prüfen	M	N / E		Zeitdruck	zu spät	genau	2	Niedrig
13	11 Mindesthaltezeit einhalten	M	N / E		Zeitdruck	rechtzeitig	annehmbar	2	Niedrig
14	12 Rückspiegel beachten	M	N / E	Ablenkung		zu früh	genau	2	Niedrig
15	13 Spiegel ausklappen	M	N / E	Routine		zu früh	genau	2	Niedrig
16	14 Spiegel einklappen	M	N / E	Vergessen, Routine		überhaupt nicht	genau	3	Mittel
17	15 Tempomat einstellen	M	N / E	Erfahrung, Wahrnehmung	Zeitdruck, Ergonomie	zu früh	ungenau	6	Hoch
18	16 Türen freigeben	M	N / E	Vergessen		zu spät	genau	2	Niedrig
19	17 Türen verriegeln	M	N / E		Zeitdruck	zu früh	genau	2	Niedrig
20	18 Türfreigabe prüfen	M	N / E		Zeitdruck	zu spät	genau	2	Niedrig
21	19 Vorbeifahrt an Ausfahrtsignal	M	N / E	Erfahrung	Pünktlichkeit	zu früh	genau	2	Niedrig
22	20 Novize: Abfahrtschwindigkeit prüfen							#NV	
23	21 Novize: ZUB Anzeige prüfen							#NV	
24	22 Novize: Zugkraft einstellen							#NV	
25	23 Experte: Abfahrtschwindigkeit prüfen	M	E	Wahrnehmung, Erfahrung	Signalisation	zu früh	ungenau	6	Hoch
26	24 Experte: ZUB Anzeige prüfen	M	E	Wahrnehmung	Fehlerhafte Übertragung	zu spät	annehmbar	4	Mittel
27	25 Experte: Zugkraft einstellen	M	E	Erwartung	Zeitdruck, Ergonomie	zu früh	ungenau	6	Hoch

Abbildung 9: Screenshot Tool zur Bewertung der Ergebnis-Variabilität

Die Angaben zu Zeit und Präzision werden je in einen numerischen Wert umgewandelt und in Spalte K multipliziert. Die zugehörigen Werte sind in Tabelle 4 ersichtlich. Das Produkt beschreibt das Ausmass der potenziellen Ergebnis-Variabilität (je höher desto grössere Variabilität). Die Werte werden in Spalte L wiederum in Niedrig, Mittel und Hoch zusammengefasst, um einen Überblick über die Variabilität zu erhalten. Die Zusammenfassung der Werte ist in Tabelle 5 beschrieben.

Tabelle 4: Werte für potenzielle Ergebnis-Variabilität

	Wert 1	Wert 2	Wert 3
Zeit	rechtzeitig	zu früh zu spät	überhaupt nicht
Präzision	genau	annehmbar	ungenau

Tabelle 5: Bewertung potenzielle Ergebnis-Variabilität

	Niedrig	Mittel	Hoch
Werte	1-2	3-4	>5

Die potenzielle Variabilität wurde ebenfalls in FMV in die grafische Darstellung des FRAM-Modells implementiert. In FMV werden Funktionen mit einer potenziellen Ergebnis-Variabilität mittels geschwungener Linie, wie in Abbildung 10 exemplarisch dargestellt, abgebildet.

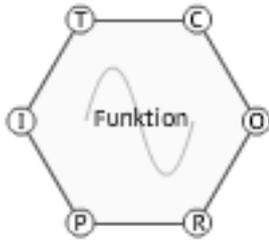


Abbildung 10: Funktion mit Variabilität in FMV

Die Entwicklung des definitiven FRAM-Modells war ein iterativer Prozess. Erkenntnisse wurden in das FRAM-Modell implementiert und in neuen Beobachtungs- und Interviewsequenzen validiert.

3.8 Phase 4: Prospektive Analyse

Um zu untersuchen was, Schwankungen in den funktionalen Einheiten des Abfahrprozesses bewirken können, wurden Risikoanalysen anhand von Instanzen der FRAM-Modelle durchgeführt. Dadurch wurde auch überprüft, ob FRAM eine geeignete Methode für Untersuchungen im Bahnbetrieb ist. Die Szenarien der durchgeführten Risikoanalysen basierten auf Themen oder Fragestellungen, welche während den Beobachtungsphasen aufgetaucht sind.

Für die Beschreibung der tatsächlichen Variabilität von Funktionen in den FRAM-Instanzen bzw. Szenarien, wurde eine Excel-Matrix entwickelt, in welcher die Zusammenhänge zwischen vor- und nachgelagerten Funktionen eingetragen werden konnten. Die Ausprägung der Variabilität wurde möglichst realistisch abgeschätzt, allerdings haben die Szenarien natürlich hypothetischen Situationen entsprochen. Die Abschätzung der Variabilität nahm der Autor anhand des aufgebauten Wissens vor. Abbildung 11 zeigt einen Screenshot der Matrix. Die Funktionen sind darauf orange hinterlegt, darunter ist pro Zeile eine vorgelagerte Funktion mit entsprechender Variabilität und der möglichen Auswirkung auf die Funktion aufgeführt. Die Matrix diente lediglich der Übersichtlichkeit und nahm keine automatischen Berechnungen vor.

FRAM-Instanz: Spiegelzustand									
aktuelle Variabilität vorgelagerte Funktion			Auswirkung auf diese (nachgelagerte) Funktion				Ergebnis-Variabilität		
ID	Funktion	Aspekt	ID	Funktion	Dimension	Ausmass	Effekt	Bewertung	Bemerkung
1	Abfahrtsignal prüfen								Abfahrtsignal vermeintlich Fahrt zeigend
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	14	Spiegel einklappen	Zeitpunkt	erhaupt nicht	Ausgeklappte Spiegel stehen für Fahrt zeigendes Signal	[V↑] vergrösserte Variabilität	
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	36	Signal	Präzision		Signal zeigt normalerweise Fahrt		
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	38	HF: Pünktlichkeit Streckennetz	Zeitpunkt		Zeitdruck, Verspätungen im Netz		
4	Bremssystem bedienen								Zug unter falschen Annahmen angehalten
4	Bremssystem bedienen	Regulierug	1	Abfahrtsignal prüfen	Präzision	ungenau	Vermeintlich Fahrt zeigendes Signal: Halteposition direkt unter Signal gewählt, ohne Sicht auf Signal	[V↑] vergrösserte Variabilität	
8	Fahrriichtungsschalter auf Halt stellen	Regulierug					Vermeintlich Fahrt zeigendes Signal: Fahrriichtungsschalter wird nicht auf Halt gestellt		Fahrriichtungsschalter wird nicht auf Halt gestellt
8	Fahrriichtungsschalter auf Halt stellen	Regulierug	1	Abfahrtsignal prüfen	Präzision	ungenau	Vermeintlich Fahrt zeigendes Signal: Fahrriichtungsschalter wird nicht auf Halt gestellt	[V↑] vergrösserte Variabilität	
2	Abfahrtsignal abwarten								Abfahrtsignal wird nicht abgewartet
2	Abfahrtsignal abwarten	Regulierug	1	Abfahrtsignal prüfen	Präzision	ungenau	Vermeintlich Fahrt zeigendes Signal: Wird nicht abgewartet	[V↑] vergrösserte Variabilität	

Abbildung 11: Screenshot Tool zur Beschreibung tatsächlicher Variabilität

Die Variabilität der Funktionen wurde danach in FMV in die FRAM-Instanz eingetragen. Die für die Analyse unwichtigen Funktionen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit entfernt. Teilweise wurden Hintergrundfunktionen in Vordergrundfunktionen umgewandelt, wenn sie in den Fokus der Untersuchung gerückt waren.

Die Kopplung der Funktionen und der funktionalen Resonanz auf den FRAM-Instanzen wurde schlussendlich anhand der grafischen Repräsentationen aus FMV und der Excel-Matrix abgeleitet und beschrieben.

4 Entwicklung FRAM-Modell und Analyse der funktionalen Resonanz

Im nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung beschrieben. Die einzelnen Unterkapitel beziehen sich dabei auf die einzelnen Phasen der Untersuchung, welche in Abbildung 7 aufgeführt sind.

4.1 Identifizierung und Beschreibung der Funktionen

Die Beobachtungen und Interviews der ersten Begleitfahrten wurden in hierarchischen Aufgabenanalysen (HTA) festgehalten. Beim Vergleich der dokumentierten HTA zeigte sich, dass die Aufgabenausführung des beobachteten Lokpersonals in zwei Kategorien eingeteilt werden kann: Die Aufgabenausführung des erfahrenen (Experten) und des unerfahreneren (Novizen) Lokpersonals. Die Arbeitserfahrung der Novizen umfasste in der Stichprobe maximal 5 Jahre Arbeitserfahrung, die Gruppe der Experten mehr als 10 Jahre Arbeitserfahrung.

Die Tätigkeiten der Novizen und Experten unterschieden sich vorerst vorwiegend in der Reihenfolge, in der sie ausgeführt wurden. So stellten die Experten zum Beispiel bereits während der Einfahrt in den Bahnhof den Tempomat für die Weiterfahrt ein, während Novizen dies erst nach Erhalt der Abfahrerlaubnis ausführten. Allgemein zeigte sich, dass einige für die Abfahrt relevante Tätigkeiten, wie zum Beispiel das Einstellen des Tempomats oder das Prüfen des Abfahrtsignals, bereits vor dem Anhalten des Zuges ausgeführt werden. Aus diesem Grund beginnt die Untersuchung des Abfahrprozesses in der vorliegenden Studie bereits mit der Einfahrt in den Bahnhof. Die HTA der Novizen ist in Abbildung 12 ersichtlich, diejenigen der Experten in Abbildung 13, wobei jeweils die Ziele/Tätigkeiten, welche die HTA unterscheiden, orange markiert sind.

4.1.1 FRAM-Funktionen allgemein

In Tabelle 6 bis Tabelle 24 sind diejenigen Funktionen beschrieben, welche sich nicht unterscheiden zwischen Novizen und Experten. Alle Funktionen sind in FRAM-Frames beschrieben. Wenn zusätzliche Aspekte in den Funktionen aufgenommen wurden, welche nicht der HTA entspringen und Erklärung bedürfen, wurde dies jeweils kommentiert.

Um den Zug anzuhalten, ist es oft notwendig das Abfahrtsignal bereits zu kennen, weil je nach Zustand des Abfahrtsignals eine andere Bremse gewählt, die Bremse unterschiedlich bedient oder die Halteposition anders gewählt wird. Durch das Prüfen des Abfahrtsignals beim Einfahren in den Bahnhof bildet das Lokpersonal ein mentales Modell der Abfahrt. Das mentale Modell enthält eine Vorstellung davon wie der Abfahrtsprozess ablaufen wird, ob noch ein Halt zeigendes Signal abgewartet werden muss und welches Signal das richtige ist. Die Funktion ist in Tabelle 6 beschrieben.

Wenn der Zug am Perron steht muss die Abfahrerlaubnis abgewartet werden bzw. gewartet werden bis das Abfahrtsignal Fahrt zeigt. Diese Funktion ist in Tabelle 7 beschrieben. Wie sich in Beobachtungen gezeigt hat, wird diese Funktion, durch das bei der Einfahrt gebildete, mentale Modell der Abfahrt beeinflusst. Ebenfalls wird die Funktion reguliert durch den Spiegelzustand. Beide Regulationsaspekte sind Teil von prospektiven Analysen im Diskussions-Kapitel.

Tabelle 6: FRAM-Funktion Abfahrtsignal prüfen

Funktion	Abfahrtsignal prüfen
Beschreibung	Ermittlung des Zustands (Fahrt/Halt) und Position des Abfahrtsignals. Das Ergebnis ist ein mentales Modell der Abfahrt.
Aspekt	Beschreibung
Input	Halteposition bestimmt
Output	Mentales Modell Abfahrt Zustand und Position Abfahrtsignal
Precondition	
Resource	Signalbild
Control	Signalaufstellung Pünktlichkeit des Systems Normalzustand Signal
Time	

Tabelle 7: FRAM-Funktion Abfahrtsignal abwarten

Funktion	Abfahrtsignal abwarten
Beschreibung	Warten bis das Abfahrtsignal Fahrt zeigt.
Aspekt	Beschreibung
Input	Fahrgastwechsel läuft
Output	Abfahrtsignal zeigt Fahrt
Precondition	
Resource	
Control	Mentales Modell Abfahrt Spiegel eingeklappt
Time	Signalbild

Tabelle 8: FRAM-Funktion befreien aus ZUB

Funktion	Befreien aus ZUB
Beschreibung	Zeigt das Signal Fahrt und die ZUB-Anzeige nicht, muss das Fahrzeug aus der ZUB-Überwachung befreit werden. Dadurch wird keine automatische Bremsung eingeleitet, die Maximalgeschwindigkeit liegt bei 40km/h
Aspekt	Beschreibung
Input	ZUB Anzeige geprüft
Output	ZUB zeigt Abfahr- laubnis
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 9: FRAM-Funktion Bremssystem bedienen

Funktion	Bremssystem bedienen
Beschreibung	Je nach Situation und Zugeigenschaften muss ein Bremssystem (elektrisch oder Luft) gewählt und bedient werden. Die Nähe des Halteorts zum Signal spielt bei der Bedienung eine Rolle.
Aspekt	Beschreibung
Input	Halteposition bestimmt
Output	Zug hält
Precondition	
Resource	
Control	Zustand und Position Abfahr- signal Bremseigenschaften Zug
Time	

Wie sich bei den Begleitfahrten zeigte, müssen beim Fahren innerhalb des Bahnhofs verschiedenste Aspekte berücksichtigt werden. Einerseits sind oft Geschwindigkeitswechsel zu beachten, andererseits muss je nach Bahnhof zügig gefahren werden, damit durch die hohe Zugfolge keine anderen Züge behindert werden. Die Funktion „Fahren im Bahnhof“ in Tabelle 10 wurde aufgenommen um diese Aspekte berücksichtigen zu können.

Tabelle 10: FRAM-Funktion Fahren im Bahnhof

Funktion	Fahren im Bahnhof
Beschreibung	Das Fahren in Bahnhofs-geschwindigkeit ist ab-hängig von verschiedenen Aspekten des Bahnhofs und des Gesamtsystems.
Aspekt	Beschreibung
Input	Zug fährt
Output	Fahren in Bahnhofsge-schwindigkeit
Precondition	
Resource	
Control	Geschwindigkeitswechsel LaFa Geschwindigkeitswechsel Einschränkung Geschwindigkeitswechsel Abschnittsignal Geschwindigkeitsanzeige ZUB
Time	Zugfolgen

Tabelle 11: FRAM-Funktion Fahrplan prüfen

Funktion	Fahrplan prüfen
Beschreibung	Die geplante Abfahrts-zeit wird in der Fahrordnung überprüft und mit der Uhrzeit verglichen.
Aspekt	Beschreibung
Input	Mindesthaltezeit er-reicht
Output	Abfahrzeit erreicht
Precondition	
Resource	Fahrordnung
Control	
Time	

Tabelle 12: FRAM-Funktion Fahrrichtungsschal-ter auf Fahrt stellen

Funktion	Fahrrichtungsschal-ter auf Fahrt stellen
Beschreibung	Der Fahrrichtungsschal-ter kann auf Vorwärts, Halt und Rückwärts eingestellt werden. Er dient als zusätzliche Sicherung bei Halt zei-gendem Signal. Bei Fahrt zeigendem Ab-fahrtsignal muss der Schalter auf Vorwärts gestellt werden.
Aspekt	Beschreibung
Input	Abfahrtsignal zeigt Fahrt
Output	Zug in Abfahrstellung
Precondition	Zug in Haltestellung
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 13: FRAM-Funktion Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen

Funktion	Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen
Beschreibung	Der Fahrrichtungsschalter kann auf Vorwärts, Halt und Rückwärts eingestellt werden. Bei Halt zeigendem Abfahrtsignal muss der Schalter auf Halt gestellt sein, um irrtümliche Abfahrten zu verhindern.
Aspekt	Beschreibung
Input	Zug hält
Output	Zug in Haltestellung
Precondition	
Resource	
Control	Mentales Modell Abfahrt
Time	

Tabelle 14: FRAM-Funktion Halteposition prüfen

Funktion	Halteposition prüfen
Beschreibung	Je nach Bahnhof ist eine Halteort-Tafel angebracht oder der Halteort muss nach Erfahrung gewählt werden. Die Zuglänge muss beachtet werden, damit der ganze Zug am Perron zu stehen kommt.
Aspekt	Beschreibung
Input	Intention zum Anhalten
Output	Halteposition bestimmt
Precondition	
Resource	Erfahrung mit Bahnhof Zuglänge
Control	
Time	

Tabelle 15: FRAM-Funktion Kundeninformation prüfen

Funktion	Kundeninformation prüfen
Beschreibung	Das Kundeninformationssystem steuert die Ansagen und Anzeigen im Zug. Es wird überprüft, ob der Status des Systems mit der Position des Zuges übereinstimmt. Allenfalls muss das System justiert werden, um korrekte Informationen auszugeben.
Aspekt	Beschreibung
Input	Türen offen
Output	Fahrgastwechsel läuft
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 16: FRAM-Funktion Mindesthaltezeit einhalten

Funktion	Mindesthaltezeit einhalten
Beschreibung	Es gilt eine Mindesthaltezeit an Bahnhöfen. Diese ist länger, wenn das Lokpersonal über den Rückspiegel nicht den ganzen Zug überblicken kann.
Aspekt	Beschreibung
Input	Abfahrtsignal zeigt Fahrt
Output	Mindesthaltezeit erreicht
Precondition	
Resource	
Control	
Time	Krümmung Perron

Tabelle 17: FRAM-Funktion Rückspiegel beachten

Funktion	Rückspiegel beachten
Beschreibung	Bevor der Fahrgastwechsel beendet wird, wird der Rückspiegel betrachtet, um sicherzustellen, dass alle Fahrgäste eingestiegen sind.
Aspekt	Beschreibung
Input	Abfahrzeit erreicht
Output	Fahrgastwechsel beendet
Precondition	Spiegel ausgeklappt
Resource	
Control	Krümmung Perron
Time	

Tabelle 18: FRAM-Funktion Spiegel ausklappen

Funktion	Spiegel ausklappen
Beschreibung	Die Rückspiegel werden zur Sichtkontrolle des Fahrgastwechsels ausgeklappt. Nach Vorschrift dürfen diese erst bei Fahrt zeigendem Abfahrtsignal ausgeklappt werden, damit sich das Lokpersonal nicht durch Vorgänge hinter dem Führerstand ablenken lässt.
Aspekt	Beschreibung
Input	Abfahrtsignal zeigt Fahrt
Output	Spiegel ausgeklappt
Precondition	Spiegel eingeklappt
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 19: FRAM-Funktion Spiegel einklappen

Funktion	Spiegel einklappen
Beschreibung	Die Rückspiegel werden auf offener Strecke bzw. vor dem nächsten Halt eingeklappt.
Aspekt	Beschreibung
Input	Bahnhof verlassen
Output	Spiegel eingeklappt
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 20: FRAM-Funktion Tempomat einstellen

Funktion	Tempomat einstellen
Beschreibung	Der Tempomat wird auf die Ausfahr- oder eine kommende Streckengeschwindigkeit eingestellt. Das Fahrzeug beschleunigt bei gestellter Zugkraft bis zur eingestellten Geschwindigkeit und hält diese.
Aspekt	Beschreibung
Input	Abfahrgeschwindigkeit bekannt
Output	Tempomat eingestellt
Precondition	
Resource	
Control	Erfahrung mit der Strecke Haptik Tempomat
Time	

Tabelle 21: FRAM-Funktion Türen freigeben

Funktion	Türen freigeben
Beschreibung	Selektion der Seite, auf welcher die Türen beim Halt des Zuges geöffnet werden. Die Türfreigabe kann bei einer Geschwindigkeit unter 40km/h aktiviert werden.
Aspekt	Beschreibung
Input	Intention zum Anhalten
Output	Türfreigabe
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 22: FRAM-Funktion Türen verriegeln

Funktion	Türen verriegeln
Beschreibung	Die Türfreigabe wird aufgehoben, wenn alle Türen geschlossen sind oder eine Türschliesung erzwungen wird.
Aspekt	Beschreibung
Input	Fahrgastwechsel beendet
Output	Türen geschlossen
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 23: FRAM-Funktion Türfreigabe prüfen

Funktion	Türfreigabe prüfen
Beschreibung	Das Leuchten der Türleuchte (oder eine Anzeige auf dem Display) zeigt, dass Türen geöffnet sind und der Fahrgastwechsel läuft.
Aspekt	Beschreibung
Input	Zug hält
Output	Türen offen
Precondition	Türfreigabe
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 24: FRAM-Funktion Vorbeifahrt an Ausfahrtsignal

Funktion	Vorbeifahrt an Ausfahrtsignal
Beschreibung	Ab dem Ausfahrtsignal gilt die signalisierte Streckengeschwindigkeit. Das Ausfahrtsignal ist nicht immer gekennzeichnet.
Aspekt	Beschreibung
Input	Fahren in Bahnhofs-geschwindigkeit
Output	Bahnhof verlassen
Precondition	
Resource	Erfahrung mit der Strecke
Control	
Time	

4.1.2 FRAM-Funktionen Novizen

In Tabelle 25 bis Tabelle 27 sind die spezifischen Funktionen der Novizen beschrieben. Bei Beobachtungen von Novizen ist aufgefallen, dass die unterschiedlichen ZUB-Anzeigen nicht immer eindeutig verstanden werden (die ZUB-Anzeige stellt oft keine Geschwindigkeit in Zahlen dar, sondern gibt zum Beispiel an, dass die signalisierte Geschwindigkeit gilt). Die Prüfung der ZUB-Anzeige in Tabelle 26 wird deswegen durch das mentale Modell der Abfahrt beeinflusst.

Tabelle 25: FRAM-Funktion Novizen Abfahr-
geschwindigkeit prüfen

Funktion	Abfahrsgeschwindigkeit prüfen
Beschreibung	Die Abfahrsgeschwindigkeit wird aus der Streckentabelle oder vom Signal gelesen.
Aspekt	Beschreibung
Input	Abfahrtsignal zeigt Fahrt
Output	Abfahrsgeschwindigkeit bekannt
Precondition	
Resource	Streckentabelle Zustand und Position Abfahrtsignal
Control	Erfahrung mit der Strecke
Time	

Tabelle 26: FRAM-Funktion Novizen ZUB Anzei-
ge prüfen

Funktion	ZUB Anzeige prüfen
Beschreibung	Das Zugbeeinflussungssystem (ZUB) kennt, je nach Vorhandensein der entsprechenden Infrastruktur, den Zustand von Signalen, zeigt diesen auf einer Anzeige im Führerstand und kann den Zug bremsen. Der tatsächliche Signalzustand und die Anzeige im Führerstand weichen jedoch teilw. voneinander ab.
Aspekt	Beschreibung
Input	Zug in Abfahrstellung
Output	ZUB Anzeige geprüft
Precondition	
Resource	
Control	Mentales Modell Abfahrt
Time	

Tabelle 27: FRAM-Funktion Novizen Zugkraft
einstellen

Funktion	Zugkraft einstellen
Beschreibung	Mit der Zugkraft werden die Beschleunigung und die elektrische Bremse gesteuert. Die Geschwindigkeit kann ebenfalls über die Zugkraft geregelt werden, allerdings wird die im Tempomat eingestellte Geschwindigkeit nicht überschritten.
Aspekt	Beschreibung
Input	Türen geschlossen
Output	Zug fährt
Precondition	Zug in Abfahrstellung Tempomat eingestellt ZUB zeigt Abfahrerlaubnis
Resource	
Control	Pünktlichkeit des Zuges Haptik Zugkraftregler Beschleunigung Fahrzeug
Time	

4.1.3 FRAM-Funktionen Experten

In Tabelle 28 bis Tabelle 30 sind die spezifischen Funktionen der Experten beschrieben.

Weil die ZUB-Anzeige oft nur anzeigt, dass die signalisierte Geschwindigkeit gilt, ist die Funktion in Tabelle 29 durch das mentale Modell der Abfahrt beeinflusst.

Tabelle 28: FRAM-Funktion Experten Abfahr-geschwindigkeit prüfen

Funktion	Abfahrgeschwindigkeit prüfen
Beschreibung	Die Abfahrgeschwindigkeit wird aus der Streckentabelle oder vom Signal gelesen oder aus der Erfahrung übernommen.
Aspekt	Beschreibung
Input	Intention zur Weiterfahrt
Output	Abfahrgeschwindigkeit bekannt
Precondition	
Resource	Streckentabelle Zustand und Position Abfahrtsignal Erfahrung mit der Strecke
Control	
Time	

Tabelle 29: FRAM-Funktion Experten ZUB Anzeige prüfen

Funktion	ZUB Anzeige prüfen
Beschreibung	Das Zugbeeinflussungssystem (ZUB) kennt, je nach Vorhandensein der entsprechenden Infrastruktur, den Zustand von Signalen, zeigt diesen auf einer Anzeige im Führerstand und kann den Zug bremsen. Der tatsächliche Signalzustand und die Anzeige im Führerstand weichen jedoch teilw. voneinander ab.
Aspekt	Beschreibung
Input	Türen geschlossen
Output	ZUB Anzeige geprüft
Precondition	
Resource	
Control	Mentales Modell Abfahrt
Time	

Tabelle 30: FRAM-Funktion Experten Zugkraft einstellen

Funktion	Zugkraft einstellen
Beschreibung	Mit der Zugkraft werden die Beschleunigung und die elektrische Bremse gesteuert. Die Geschwindigkeit kann ebenfalls über die Zugkraft geregelt werden, allerdings wird die im Tempomat eingestellte Geschwindigkeit nicht überschritten.
Aspekt	Beschreibung
Input	ZUB zeigt Abfahrerlaubnis
Output	Zug fährt
Precondition	Zug in Abfahrstellung Tempomat eingestellt Türen geschlossen
Resource	
Control	Pünktlichkeit des Zuges Haptik Zugkraftregler Beschleunigung Fahrzeug
Time	

4.1.4 Hintergrundfunktionen

Im Verlauf der Beobachtungen sind Funktionen dazugekommen, die nicht in der HTA identifiziert worden waren, sondern in spezifischen Beobachtungssituationen auffielen. Es handelt sich dabei nicht um Tätigkeiten, sondern leistungsbeeinflussende Faktoren, was innerhalb von FRAM als Hintergrundfunktion definiert wird. Diese Hintergrundfunktionen werden in Tabelle 31 bis Tabelle 54 in alphabetischer Reihenfolge beschrieben. Die Herleitung der Hintergrundfunktionen wird jeweils mit Beobachtungssituationen beschrieben, damit nachvollzogen werden kann, warum die entsprechende Funktion im Abfahrprozess eine Rolle spielt.

Um die Systemgrenze von FRAM klar zu beschreiben, wurde die „Intention zum Anhalten“ als Funktion aufgenommen. Diese wird in Tabelle 31 beschrieben. In verschiedenen Beobachtungssituationen ist aufgefallen, dass vor den Tätigkeiten des Lokpersonals zum Anhalten des Zuges eine Absicht bestand, dies zu tun. Bestimmte Trigger, wie ein Signal, eine bestimmte Uhrzeit oder das Erreichen einer geografischen Position, haben beim Lokpersonal Handlungen zum Anhalten ausgelöst.

Bei Beobachtungen von Experten ist aufgefallen, dass neben der „Intention zum An-

halten“ des Zuges auch eine Funktion „Intention zur Weiterfahrt“ eine Rolle spielt. Diese wird in Tabelle 32 beschrieben. Die „Intention zur Weiterfahrt“ hat Tätigkeiten ausgelöst, um den Zug nach dem Anhalten wieder anzufahren. Zum Beispiel wurde der Tempomat beim Einfahren in den Bahnhof bereits auf die Geschwindigkeit eingestellt, welche erst für die nächste Strecke, nach dem erneuten Abfahren des Zuges, eine Rolle spielte.

Intention wird von Fröhlich (2010) als Absicht oder Vorsatz beschrieben eine bestimmte Handlung durchzuführen bzw. ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Intentionen sind dabei mentale Repräsentationen, die handlungsleitenden Charakter haben. Nach Gollwitzer (1999) wird zwischen Ziel- und ImplementierungsIntention unterschieden, wobei sich die ZielIntention auf das Erreichen bestimmter Zielzustände und die ImplementierungsIntention auf das spezifische Verhalten bezieht.

Die beiden FRAM-Funktionen „Absicht zum Anhalten“ und „Absicht zum Weiterfahren“ sind als ZielIntentionen zu verstehen, welche die mentale Repräsentationen der jeweiligen Handlungen hervorrufen. In der vorliegenden Untersuchung definieren die beiden Funktionen ebenfalls die Systemgrenze bzw. den Beginn des untersuchten Systems.

Tabelle 31: FRAM-Funktion Absicht zum Anhalten

Funktion	Absicht zum Anhalten
Beschreibung	Vor allen Handlungen des Lokpersonals, welche ein Anhalten des Zuges steuern, steht die Absicht anzuhalten.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Intention zum Anhalten
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 32: FRAM-Funktion Absicht zum Weiterfahren

Funktion	Absicht zum Weiterfahren
Beschreibung	Vor den Experten-Handlungen des Lokpersonals, welche ein Weiterfahren des Zuges steuern, steht die Absicht weiterzufahren.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Intention zur Weiterfahrt
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Die Zugfolge beschreibt in welchem Abstand Züge auf demselben Gleis hintereinander geführt werden. Eine Beobachtungssituation zeigte, dass die Zugfolge einen Einfluss auf das Verhalten des Lokpersonals hat, wie dies die Funktion in Tabelle 33 be-

schreibt. Der Zug war weniger als zwei Minuten verspätet zwischen Stettbach und Stadelhofen Richtung Zürich Hauptbahnhof unterwegs. Auf dieser Strecke sind nach Auskunft des Lokführers sehr kurze Zugfolgen üblich. Der Lokführer hat auf dieser Strecke und innerhalb der Bahnhöfe darauf geachtet, möglichst rasch anzufahren, möglichst nah an der erlaubten Geschwindigkeit zu fahren und stark abzubremsen. Der Lokführer hat insgesamt angespannt gewirkt. Der Lokführer fügte an, dass auf dieser Strecke verspätete Züge schneller als anderswo angehalten werden, um nicht weitere Züge zu verspäten, und dass man aufgrund der hohen Zugfolge stets auf rasches Abfahren und Anhalten achten müsse.

Tabelle 33: FRAM-Funktion Abstand Zugfolgen

Funktion	Abstand Zugfolgen
Beschreibung	Je nach Verkehrsdichte und Möglichkeit der Infrastruktur werden Züge mit mehr oder weniger Distanz auf dem Schienennetz geführt.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Zugfolgen
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Bei Beobachtungen verschiedener Fahrzeugtypen ist aufgefallen, dass neuere Fahrzeuge deutlich schneller beschleunigen als ältere Fahrzeuge. Dieser Unterschied ist vor allem aufgefallen zwischen den älteren Doppelstock-Pendelzügen (DPZ) und neueren Fahrzeugen wie Flirt oder Regio-Doppelstock (DTZ). Die Beschleunigung hat nach Aussage des Lokpersonals Einfluss auf die Möglichkeit Verspätungen aufzuholen. Die Beschleunigung ist in Tabelle 34 aufgeführt.

Bei Beobachtungen unterschiedlicher Fahrzeugtypen ist auch aufgefallen, dass je nach Bremseigenschaften des Fahrzeugtyps oder des spezifischen Fahrzeugs, das Bremssystem unterschiedlich bedient wird. So gab es Fahrzeuge, welche sehr stark bremsten und damit ein schnelles Anhalten erlaubten. Bei anderen Fahrzeugen, wurde zum Beispiel die pneumatische Bremse verwendet, wenn der Halteort unmittelbar vor einem Halt zeigenden Signal lag, weil die elektrische Bremse des entsprechenden Fahrzeugs als zu wenig genau beeinflussbar erlebt wurde. Aufgrund dieser Beobach-

tungen wurde die, in Tabelle 35 beschriebene, Funktion „Bremseigenschaften“ aufgenommen.

Tabelle 34: FRAM-Funktion Beschleunigung Fahrzeug

Funktion	Beschleunigung Fahrzeug
Beschreibung	Je nach Fahrzeugtyp unterscheidet sich das Beschleunigungsverhalten erheblich. Moderne Fahrzeuge beschleunigen rasch, während ältere Fahrzeuge langsam anfahren.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Beschleunigung Fahrzeug
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 35: FRAM-Funktion Bremseigenschaften

Funktion	Bremseigenschaften
Beschreibung	Die Bremseigenschaften (Bremsleistung, Reaktion der Bremsen, etc.) beeinflussen die Bedienung der Bremse.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Bremseigenschaften Zug
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Mit der Einfahrt auf die offene Strecke wird der Bahnhof verlassen. In der vorliegenden Untersuchung endet mit der Einfahrt auf die Strecke das untersuchte System bzw. das Abfahren des Zuges. Die Funktion „Einfahrt auf Strecke“ in Tabelle 36 stellt demnach die Systemgrenze dar und ist innerhalb des FRAM-Modells als nachgelagerte Funktion definiert.

Tabelle 36: FRAM-Funktion Einfahrt auf Strecke

Funktion	Einfahrt auf Strecke
Beschreibung	Mit der Einfahrt auf die Strecke endet der Abfahrprozess.
Aspekt	Beschreibung
Input	Spiegel eingeklappt
Output	
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Bei den Beobachtungen ist der Unterschied zwischen Novizen und Experten durch den Einfluss der Erfahrung aufgefallen. Experten haben oft Handlungen eingeleitet oder ausgeführt, ohne dass die Reize von aussen dies verlangt hätten.

Beispielsweise wurde ein erfahrener Lokführer einen ganzen Tag auf derselben Linie zwischen den Endbahnhöfen einer S-Bahn-Linie begleitet. An einem Bahnhof, kurz vor Zürich, hat der Lokführer am Morgen bei Halt zeigendem Abfahrtsignal, entgegen den Vorschriften, den Fahrrichtungsschalter in Fahrtstellung belassen und die Spiegel ausgeklappt. Darauf angesprochen hat der Lokführer gesagt, dass das Abfahrtsignal in dieser Situation immer Halt zeigen würde, demnächst jedoch Fahrt und Geschwindigkeit 70 anzeigen würde, weswegen er zur Zeitgewinnung in Abfahrtstellung bleiben würde (Der Zug war leicht verspätet unterwegs). Wenige Sekunden nachher wechselte das Signal auf Fahrbefehl 5 mit Geschwindigkeits-Ausführung 70, wodurch sich die Erwartung des Lokführers bestätigte.

An demselben Bahnhof, vor demselben Signal, stellte der Lokführer am Nachmittag bei Halt zeigendem Abfahrtsignal den Fahrrichtungsschalter auf Halt und liess die Spiegel eingeklappt, liess den Zug also in Haltestellung. Erneut darauf angesprochen, wieso er dies nun anders als am Morgen machen würde, meinte der Lokführer, dass er vorher „den 39er von Zürich“ nicht hätte vorbeifahren sehen und dieser wohl verspätet sei, wodurch die Strecke vor uns belegt sei und das Signal vorerst geschlossen bleibe. Tatsächlich fuhr kurze Zeit später der erwartete Gegenzug vorbei und das Abfahrtsignal wechselte erst dann auf Fahrt.

Diese und ähnliche Beobachtungssituationen haben deutlich gemacht, dass die Erfahrung des Lokpersonals mit der Strecke als Hintergrundfunktion, wie in Tabelle 38 dargestellt, aufgenommen werden muss, weil sie verschiedene Vordergrundfunktionen beeinflusst.

Andere Beobachtungssituationen haben gezeigt, dass die Erfahrung mit dem Bahnhof, wie in Tabelle 37 aufgezeigt, einen Einfluss auf Vordergrundfunktionen hat. Beispielsweise haben innerhalb der Stadtbahn Zug (Streckennetz im Kanton Zug) nicht alle Haltestellen Halteortstafeln. Diese Tafeln zeigen dem Lokpersonal mit welcher Zuglänge es wo anhalten muss. Ein unerfahrener Lokführer hielt in einer Beobachtungssituation an einer Haltestelle ohne Halteortstafel zu früh. Er bemerkte den Fehler zwar, konnte ihn aufgrund der bereits geöffneten Türen allerdings nicht korrigieren (der falsche Halteort hatte in diesem Fall keinen sichtbaren Einfluss auf die Sicherheit). Ein erfahrener Lokführer hielt an einem anderen Bahnhof ohne Halteortstafel bewusst an einem unüblichen Ort an, weil sich dadurch der Komfort für die

Kunden aufgrund des kürzeren Fusswegs zur Unterführung erhöhen würde.

Tabelle 37: FRAM-Funktion Erfahrung Bahnhof

Funktion	Erfahrung Bahnhof
Beschreibung	Aspekte der Erfahrung des Lokpersonals mit dem Bahnhof haben Einfluss auf Tätigkeiten rund um das Anhalten.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Erfahrung mit Bahnhof
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 38: FRAM-Funktion Erfahrung Strecke

Funktion	Erfahrung Strecke
Beschreibung	Verschiedene Funktionen sind beeinflusst durch Aspekte der Erfahrung des Lokpersonals mit der Strecke.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Erfahrung mit der Strecke
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Innerhalb des Bahnhofs müssen verschiedene mögliche Geschwindigkeitswechsel beachtet werden, wie die Funktionen in Tabelle 39 bis Tabelle 43 zeigen. Die Geschwindigkeitswechsel sind entweder im LEA eingetragen, sind durch Aussensignalisation ersichtlich oder müssen, im Falle einer Einschränkung welche ein ganzes Gebiet oder eine bestimmte Situation betrifft, den Vorschriften entnommen werden. Ebenfalls kann es sein, dass die Anzeige der Zugbeeinflussung (ZUB) im Führerstand eine von der Aussensignalisation abweichende Geschwindigkeit anzeigt, weil zum Beispiel die Geschwindigkeit nicht in den Führerstand übermittelt wurde. In diesem Fall muss die Geschwindigkeit der ZUB-Anzeige eingehalten werden.

Tabelle 39: FRAM-Funktion Geschwindigkeitswechsel Langsamfahrstelle

Funktion	Geschwindigkeitswechsel Langsamfahrstelle
Beschreibung	Im LEA können Langsamfahrstellen (LaFa) eingetragen sein, welche beachtet werden müssen.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	LaFa
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 40: FRAM-Funktion Einschränkung Bhf beachten

Funktion	Geschwindigkeitswechsel Einschränkung
Beschreibung	Wenn für ganze Bahnhöfe oder Situationen Geschwindigkeitseinschränkungen festgelegt werden, sind diese nicht zwingend signalisiert, sondern werden den Aushängen oder Vorschriften entnommen.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Einschränkung
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 41: FRAM-Funktion Geschwindigkeitswechsel Baustelle

Funktion	Geschwindigkeitswechsel Baustelle
Beschreibung	Vor Baustellen sind provisorische Signale mit Geschwindigkeitsangaben für die Langsamfahrstelle angebracht, welche beachtet werden müssen. Die Baustellensignalisation kann von den elektronischen Angaben in LEA abweichen.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Baustelle
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 42: FRAM-Funktion Geschwindigkeitswechsel Abschnittsignal

Funktion	Geschwindigkeitswechsel Abschnittsignal
Beschreibung	Innerhalb des Bahnhofs können Abschnittsignale unterschiedliche Geschwindigkeiten anzeigen.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Abschnittsignal
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 43: FRAM-Funktion Geschwindigkeit der ZUB-Anzeige anpassen

Funktion	Geschwindigkeit der ZUB Anzeige anpassen
Beschreibung	Bei Geschwindigkeitswechsel wird die Übereinstimmung der Signale zu ZUB geprüft, da die Anzeige im Führerstand von der Signalisation abweichen kann. Bei Abweichungen darf die angezeigte ZUB-Geschwindigkeit nicht überschritten werden.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Geschwindigkeit ZUB
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Das LEA, welches dem Lokpersonal alle Informationen und Tools digital zur Verfügung stellt, hat eine starke Präsenz im Abfahrprozess und im Arbeitssystem allgemein. Bei fast allen Beobachtungen auf dem Führerstand war das LEA ununterbrochen eingeschaltet und das Lokpersonal hat darauf Informationen nachgeschaut oder etwas am Gerät manipuliert. Das LEA stellt unter anderem die Fahrordnung und die Streckentabelle für die entsprechende Zugfahrt bereit. Die Software stellt dabei einen Ausschnitt der gesamten Strecke dar, mit allen für das Lokpersonal relevanten Informationen wie Halteorte, Abfahrtszeiten und Geschwindigkeiten. Im Idealfall stellt die Software den tatsächlichen Ausschnitt der Strecke dar, in welchem sich der Zug befindet. Allerdings kann es durch Verspätungen des Zuges oder Bedienung des LEA zu Abweichungen zwischen Anzeige und Realität kommen, wie es bei mehreren Beobachtungen aufgetreten ist. Aus diesem Grund wurden zwei Funktionen aufgenommen, welche zwar beide mit LEA zu tun haben, allerdings mit unterschiedlichen Funktionen im Abfahrprozess zusammenhängen. In Tabelle 44 wird die Streckentabelle beschrieben, welche Informationen über die Strecke und die Bahnhöfe beinhaltet. In Tabelle 45 wird die Fahrordnung beschrieben, welche Informationen zum Zug beinhaltet.

Tabelle 44: FRAM-Funktion LEA Streckentabelle

Funktion	LEA Streckentabelle
Beschreibung	Die Streckentabelle umfasst unter anderem die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nach Strecke. Die Streckentabelle wird dem Lokführer auf dem LEA digital zur Verfügung gestellt.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Streckentabelle
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 45: FRAM-Funktion LEA Fahrordnung

Funktion	LEA Fahrordnung
Beschreibung	Die Fahrordnung umfasst unter anderem die Verkehrszeiten (Fahrplan) des Zuges. Die Fahrordnung wird dem Lokführer auf dem LEA digital zur Verfügung gestellt.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Fahrordnung
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Vor allem bei Beobachtungen von erfahrenem Lokpersonal fiel auf, dass die Erwartung eines Signalzustands oder einer Zustandsänderung des Signals beeinflusst war vom bisher erlebten Normalzustand des Signals. Die entsprechende Funktion wird in Tabelle 46 beschrieben. Beispielsweise hat ein sehr erfahrener Lokführer während einer Beobachtung zu einem Ausfahrtsignal die Aussage gemacht, dass er dieses in seiner bisherigen Tätigkeit noch nie geschlossen gesehen habe. Bei anderen Beobachtungen ist aufgefallen, dass es Signale gibt, welche stets kurz vor der Durchfahrt des Zuges auf Fahrt schalten und vorher Halt zeigen. In den Interviews wurde bestätigt, dass das Lokpersonal dadurch die Erwartung entwickelt, das Signal würde immer auf Fahrt stellen wenn der Zug naht. Zudem sei die Aufmerksamkeit bei Signalen mit immer wechselnden Signalbildern höher.

Tabelle 46: FRAM-Funktion Normalzustand

Signal

Funktion	Normalzustand Signal
Beschreibung	Der Signalzustand (z.B. rot/grün), welchen das Lokpersonal üblicherweise sieht, beeinflusst massgeblich die Erwartung des Signalzustandes und dadurch auch die Wahrnehmung.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Normalzustand Signal
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Nach Aussage des Lokpersonals gibt es Strecken und Zeiten, zu welchen der eigene Zug stets mit etwas Verspätung verkehrt. Einige Lokführer waren bei den Beobachtungen bestrebt Verspätungen aufzuholen, andere haben dies weder offensichtlich versucht noch explizit erwähnt. Da die Züge grundsätzlich stets nach erlaubter Höchstgeschwindigkeit der Strecke verkehren, ist nach Aussage des Lokpersonals die effektivste bzw. einzige Möglichkeit, Zeit aufzuholen, das Anhalten und Abfahren. Durch starkes Abbremsen kurz vor dem Halt und möglichst rasches Beschleunigen auf Höchstgeschwindigkeit könne bei jedem Halt etwas Zeit gewonnen werden.

Mehrere Lokführer haben zudem erwähnt, dass pünktliche Züge gegenüber verspäteten Zügen von der Leitzentrale bevorzugt würden, um die Verspätung auf möglichst wenige Züge zu verteilen. Dies habe, wenn man einen verspäteten Zug führe, negativen Einfluss auf Führerstands-Wechselzeiten und Pausen. Die entsprechende FRAM-Funktion ist in Tabelle 47 beschrieben.

Einen weiteren beobachteten Einfluss auf das Verhalten im Führerstand hatte, wie in Tabelle 48 beschrieben wird, die aktuelle Pünktlichkeit der Züge auf dem Streckennetz. Es ist mehrmals vorgekommen, dass die in der Fahrordnung aufgeführten Abfahrtszeiten nicht eingehalten werden konnten, weil die zu befahrene Strecke durch andere Züge belegt war. Das Lokpersonal musste dadurch oft Manipulationen am LEA vornehmen (justieren des angezeigten Streckenausschnitts). Ebenfalls haben sich dadurch Verspätungen des eigenen Zuges ergeben, welche das Lokpersonal oft durch

schnelles Beschleunigen und stärkeres Bremsen aufzuholen versuchte.

Tabelle 47: FRAM-Funktion Pünktlichkeit Zug

Funktion	Pünktlichkeit Zug
Beschreibung	Die aktuelle Pünktlichkeit des Zuges beeinflusst die Fahrweise des Lokpersonals.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Pünktlichkeit des Zuges
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 48: FRAM-Funktion Pünktlichkeit Streckennetz

Funktion	Pünktlichkeit Streckennetz
Beschreibung	Die aktuelle Pünktlichkeit der Züge auf dem Streckennetz beeinflusst die Tätigkeiten des Lokpersonals.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Pünktlichkeit des Systems
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Auf einer der beobachteten Touren musste das Lokpersonal innerhalb weniger Minuten den Führerstand eines anderen Zuges in Betrieb nehmen. Beide Züge waren Flirt-Kompositionen, waren von demselben Hersteller und entsprangen derselben Serie. Äusserlich haben sich die beiden Führerstände nicht unterschieden. Allerdings fiel beim Abfahren mit dem neu übernommenen Zug auf, dass der Tempomatregler im Unterschied zum vorherigen Fahrzeug heruntergedrückt werden musste, um die gewünschte Geschwindigkeit einzustellen. Darauf angesprochen bestätigte der Lokführer, dass an diesem Fahrzeug im Unterschied zum vorherigen eine neue Version des Führerpultes installiert worden sei. Bei anderen Beobachtungen fiel auf, dass das Lokpersonal je nach Bauart des Tempomatreglers mehr Zeit brauchte, um die gewünschte Soll-Geschwindigkeit einzustellen, weil die Anzeige zum Beispiel die gewünschte Geschwindigkeit überschritt und wieder nach unten korrigiert werden musste. Die Haptik des Tempomatreglers wurde deswegen als Funktion aufgenommen und wird in Tabelle 49 beschrieben.

Neben dem Tempomatregler wies auch der Zugkraftregler deutliche Unterschiede in der Bedienung auf. Bei älteren DPZ hatte der Regler die Form eines Rads, bei neueren Fahrzeugen wie dem Flirt war der Regler in Form eines Joysticks. Der Zugkraftregler steuert ebenfalls die elektrische Bremse und wies je nach Typ unterschiedliche Haptik und Ergonomie auf. Die Hintergrundfunktion des Zugkraftreglers wird in Tabelle 50 beschrieben.

Tabelle 49: FRAM-Funktion Regler Tempomat

Funktion	Regler Tempomat
Beschreibung	Je nach Alter, Hersteller und Bautyp des Fahrzeugs weist der Führerstand Unterschiede in Layout und Bedienung des Tempomats auf.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Haptik Tempomat
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 50: FRAM-Funktion Regler Zugkraft

Funktion	Regler Zugkraft
Beschreibung	Je nach Alter, Hersteller und Bautyp des Fahrzeugs weist der Führerstand Unterschiede in Layout und Bedienung des Zugkraftreglers auf.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Haptik Zugkraftregler
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

An verschiedenen Bahnhöfen fiel bei den Beobachtungen auf, dass das lokalisieren des richtigen Abfahrtsignals aufgrund der Signalaufstellung Schwierigkeiten bereitet. Beispielsweise gibt es mehrgleisige Bahnhöfe, bei welchen der Zug vor der Kurve anhalten muss und das Abfahrtsignal in einer Kurve aufgestellt ist, parallel zu den Abfahrtsignalen der anderen Gleise. Aus dem Führerstand konnte das zugehörige Signal nur schwer erkannt werden. Diese Erschwerung verstärkte sich noch bei Dunkelheit. Das Lokpersonal hat diese Beobachtung bestätigt. Die Signalaufstellung wird deswegen als eigene Funktion in Tabelle 51 beschrieben.

Das eigentliche Abfahrtsignal mit dem dazugehörigen Signalbild stellt quasi den Mittelpunkt des Abfahrprozesses dar, weil das Signal Fahrt zeigen muss, damit der Abfahrprozess ausgeführt werden darf. Die Hintergrundfunktion des Signalbilds wird in Tabelle 52 beschrieben. Das Signal kann je nach Bauart andere Signalbilder darstellen und zeigt Fahrt, wenn die vorliegende Fahrstrasse im Stellwerk für den Zug eingestellt ist.

Tabelle 51: FRAM-Funktion Signalaufstellung

Funktion	Signalaufstellung
Beschreibung	Die Signalaufstellung hat einen Einfluss auf die Sichtbarkeit der Signale.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Signalaufstellung
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Tabelle 52: FRAM-Funktion Signalbild Abfahrtsignal

Funktion	Signalbild Abfahrtsignal
Beschreibung	Das Signalbild des Abfahrtsignals muss Fahrt zeigen, damit der Abfahrprozess fortfahren kann.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Signalbild
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Ein weiterer Einfluss der Infrastruktur auf das Verhalten im Führerstand liegt bei der Topografie der Bahnhöfe, wie dies die FRAM-Funktion in Tabelle 53 beschreibt. Beispielsweise ist es in Zürich Stadelhofen nicht möglich über den Rückspiegel das Perron zu überblicken, weil der Bahnhof in einer Kurve liegt. Die Vorschriften besagen, dass in diesem Fall eine Mindesthaltedauer einzuhalten ist, weil das Lokpersonal keine Möglichkeit hat den Zug zu überblicken. Die einzige Möglichkeit festzustellen, dass der Fahrgastwechsel abgeschlossen ist, stellt die Türleuchte im Führerstand dar, die anzeigt, dass die Türen geschlossen sind.

Tabelle 53: FRAM-Funktion Topografie Bahnhof

Funktion	Topografie Bahnhof
Beschreibung	Die Topografie des Bahnhofs (z.B. Krümmung Perron) beeinflusst die Übersichtlichkeit für das Lokpersonal und dadurch die Haltedauer.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Krümmung Perron
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

Je nach Passagieraufkommen werden die Züge verlängert oder verkürzt. Die S-Bahn-Züge setzen sich dabei aus einer oder mehreren Zugkompositionen zusammen, wel-

che jeweils aus einer Lokomotive, mehreren Wagen und einem (bei älteren DPZ) oder zwei Steuerwagen und mehreren Wagen (bei neueren Triebzügen) bestehen. Auf den beobachteten Touren waren die Züge aus einer bis drei Kompositionen zusammengestellt, was einer Länge von 100, 200 oder 300 Meter entsprochen hat. Während einer Tour mussten teilweise Kompositionen an- oder abgehängt werden. Bei einer Verlängerung oder Verkürzung des Zuges müssen vom Lokpersonal neue Daten im Führerstand eingegeben werden, weil sich dadurch zum Beispiel das Bremsverhalten ändert. Je nach Zuglänge müssen auch unterschiedliche Halteorte eingehalten werden, damit zum Beispiel keine Passagiere ausserhalb des Perrons aussteigen. Da die Zuglänge einen Einfluss auf verschiedene Funktionen hat, wurde sie als Hintergrundfunktion aufgenommen und in Tabelle 54 beschrieben.

Tabelle 54: FRAM-Funktion Zuglänge

Funktion	Zuglänge
Beschreibung	Je nach Länge des Zuges müssen z.B. andere Halteorte eingehalten werden.
Aspekt	Beschreibung
Input	
Output	Zuglänge
Precondition	
Resource	
Control	
Time	

4.2 Potenzielle Variabilität der Funktionen

Wie in Kapitel 3.7 beschrieben, wurde zur Entwicklung des FRAM-Modells die potenzielle Variabilität erhoben. Diese sagt aus, welche Schwankungen in der Ausführung der Funktion zu erwarten sind, und wird in Bezug auf Zeit und Präzision beschrieben. Das Ergebnis der Erhebung zur potenziellen Variabilität ist in Tabelle 55 enthalten. Ebenfalls enthalten ist die aus der Variabilität abgeleitete Bewertung der möglichen Schwankung.

Tabelle 55: potenzielle Variabilität

Funktion	Dimension: Zeit	Dimension: Präzision	Bewertung Schwankung
Abfahrtsignal prüfen	zu spät	ungenau	hoch
Abfahrtsignal abwarten	zu früh	annehmbar	mittel
Befreien aus ZUB	zu spät	genau	niedrig
Bremssystem bedienen	zu spät	ungenau	hoch
Fahren im Bahnhof	rechtzeitig	ungenau	mittel
Fahrplan prüfen	zu spät	annehmbar	mittel
Fahrrichtungsschalter auf Fahrt stellen	zu früh	genau	niedrig
Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen	überhaupt nicht	genau	mittel
Halteposition prüfen	rechtzeitig	ungenau	mittel
Kundeninformation prüfen	zu spät	genau	niedrig
Mindesthaltezeit einhalten	rechtzeitig	annehmbar	niedrig
Rückspiegel beachten	zu früh	genau	niedrig
Spiegel ausklappen	zu früh	genau	niedrig
Spiegel einklappen	überhaupt nicht	genau	mittel
Tempomat einstellen	zu spät	ungenau	hoch
Türen freigeben	zu spät	genau	niedrig
Türen verriegeln	zu früh	genau	niedrig
Türfreigabe prüfen	zu spät	genau	niedrig
Vorbeifahrt an Ausfahrtsignal	rechtzeitig	annehmbar	niedrig
Novize: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	rechtzeitig	ungenau	mittel
Novize: ZUB Anzeige prüfen	zu spät	annehmbar	mittel
Novize: Zugkraft einstellen	rechtzeitig	ungenau	mittel
Experte: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	rechtzeitig	ungenau	mittel
Experte: ZUB Anzeige prüfen	zu spät	annehmbar	mittel
Experte: Zugkraft einstellen	rechtzeitig	ungenau	mittel
Abfahrtsignal prüfen	zu spät	ungenau	hoch

4.3 FRAM-Modell

Aus den Funktionsbeschreibungen und Erhebung der potenziellen Schwankung, konnten die FRAM-Modelle erstellt werden. Die beiden Modelle für Novizen in Abbildung 14 und Experten in Abbildung 15 stellen den normalen Abfahrtsprozess im S-Bahn-Verkehr Zürich dar. Die Aufteilung der Funktionen in Vordergrund- und Hintergrundfunktionen repräsentiert demnach die Tätigkeit, wie sie normalerweise ausgeführt wird. Für die Untersuchung spezifischer Fälle im Sinne einer Ereignisanalyse oder für eine Risikoabschätzung können Hintergrundfunktionen zu Vordergrundfunktionen gemacht werden und umgekehrt.

Zur übersichtlichen Darstellung der FRAM-Modelle wurden Hintergrundfunktionen, die einen Einfluss auf denselben Aspekt einer Funktion hatten, zusammengefasst. Die zusammengefassten Funktionen sind in Tabelle 56 aufgeführt.

Tabelle 56: Zusammengefasste Hintergrundfunktionen

Neue Funktion	Beinhaltete Hintergrundfunktionen
Geschwindigkeitswechsel	<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeitswechsel Langsamfahrstelle • Geschwindigkeitswechsel Einschränkung • Geschwindigkeitswechsel Baustelle • Geschwindigkeitswechsel Abschnittsignal

Die gelb umrandeten Funktionen können eindeutig dem Anhalten des Zuges zugeordnet werden, während die violett umrandeten Funktionen dem Abfahren des Zuges entsprechen. Die rot umrandeten Funktionen spielen sowohl beim Anhalten als auch beim Abfahren des Zuges eine wichtige Rolle. Grün sind die Hintergrundfunktionen dargestellt, welche die Systemgrenze markieren.

Die Funktionsaspekte sind in den FRAM-Modellen nicht beschriftet. Eine beschriftete Variante ist im Anhang B zu finden.

4.4 Prospektive Analyse

Zur Untersuchung der funktionalen Resonanz im S-Bahn-Abfahrprozess wurden prospektive Analysen anhand von Instanzen der FRAM-Modelle durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine Auswahl an Risikoanalysen, welche auf Themen basieren, die bei unterschiedlichen Beobachtungssituationen aufgefallen waren und deswegen relevant erschienen. Die Anzahl Risikoanalysen ist theoretisch nicht beschränkt.

In den Analysen wurden theoretische Annahmen über Rahmenbedingungen (Hintergrundfunktionen) und die Ausführungen von Funktionen (Variabilität) getroffen. Die Instanzen fokussieren auf einen Ausschnitt des FRAM-Modells, welcher für den jeweiligen Fall von Bedeutung ist. Funktionen ohne Einfluss auf die Analyse wurden ausgeblendet und die grafische Anordnung der Funktionen wurde teilweise leicht angepasst. Um die Instanzen im Modell einordnen zu können muss das zugrunde liegende FRAM-Modell beigezogen werden.

Die grafischen Darstellungen der Instanzen beinhalten ein Sternsymbol (✳), welches anzeigt wo innerhalb der Instanz eine Gefährdung auftritt. Auf die Zahlen in den grafischen Darstellungen wird jeweils in der Erklärung der funktionalen Resonanz verwiesen.

Den Hintergrundfunktionen wurde keine tatsächliche Variabilität zugewiesen, weil sie nur Bedingungen oder leistungsbeeinflussende Faktoren darstellen.

Detaillierte Beschreibungen zur tatsächlichen Variabilität der Instanzen sind dem Anhang C zu entnehmen.

4.4.1 Ausgeklappte Spiegel

Die Gestes métier (GM), welche unter anderem den Abfahrprozess beschreiben, sehen vor, dass die Rückspiegel bei Halt zeigendem Signal eingeklappt bleiben. Die Rückspiegel sollten erst bei Fahrt zeigendem Abfahrtsignal ausgeklappt und vor dem nächsten Halt wieder eingeklappt werden. Anhand nachfolgender Risikoanalyse, wurde der Einfluss des Spiegelzustands bei Experten auf das Wahrnehmen des Abfahrtsignals untersucht.

Beschreibung der hypothetischen Situation

Der Zug ist leicht verspätet unterwegs, der Lokführer ist bedacht nicht noch mehr Verspätung aufzubauen. Das Abfahrtsignal am aktuellen Bahnhof zeigt üblicherweise Halt und wechselt jeweils bald darauf auf Fahrt. Der Lokführer klappt die Rückspie-

gel normalerweise nach der Ausfahrt aus jedem Bahnhof ein, beim letzten Bahnhof hat er vergessen die Rückspiegel einzuklappen. Ein Passagier hinten am Zug zieht während dem Halt die Aufmerksamkeit des Lokführers auf sich.

Abbildung 16 zeigt die FRAM-Instanz der beschriebenen Situation. Für die prospektive Analyse wurde die Hintergrundfunktion „Pünktlichkeit Streckennetz“ in die Vordergrundfunktion „Pünktlichkeit Streckennetz beurteilen“ umgewandelt, welche durch die „Absicht zur Weiterfahrt“ aufgerufen wird. Auf der FRAM-Instanz sind nur die für diese Analyse relevanten Funktionen enthalten. Zur Vereinfachung wurden alle Funktionen zwischen „Abfahrtsignal abwarten“ und „Zugkraft einstellen“ durch eine Zusammenfassungs-Funktion „Zug abfahrtsbereit machen“ ersetzt.

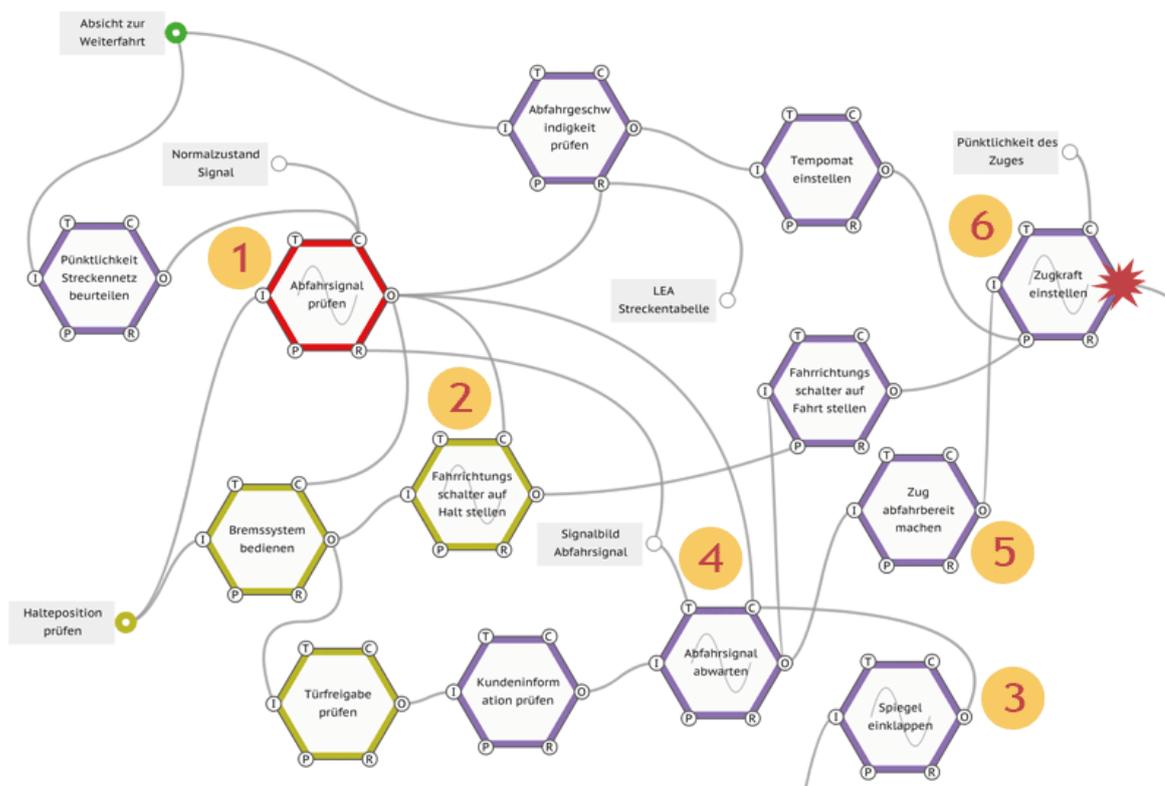


Abbildung 16: Prospektive Analyse Spiegelzustand

Tatsächliche Variabilität

In Tabelle 57 ist die tatsächliche Variabilität der Funktionen aufgeführt.

Tabelle 57: Tatsächliche Variabilität prospektive Analyse Spiegelzustand

Funktion	Dimension	Ausmass	Bemerkung
Abfahrtsignal abwarten	Zeitpunkt	zu früh	Funktion wird zu früh beendet.
Abfahrtsignal prüfen	Präzision	annehmbar	mentales Modell Abfahrt geht von Halt zeigendem und bald auf Fahrt wechselndes Abfahrtsignal aus.
Fahrrichtungsschalter auf Fahrt stellen	Zeitpunkt	zu früh	
Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen	Zeitpunkt	überhaupt nicht	Fahrrichtungsschalter steht bereits auf Fahrt und suggeriert Fahrt zeigendes Signal
Halteposition prüfen	Präzision	genau	
Kundeninformation prüfen	Präzision	genau	
Pünktlichkeit Streckennetz beurteilen	Präzision	annehmbar	
Spiegel einklappen	Zeitpunkt	überhaupt nicht	Spiegel stehen ausgeklappt. Diese suggerieren Fahrt zeigendes Signal
Tempomat einstellen	Präzision	genau	
Zug abfahrtsbereit machen	Präzision	genau	
Zugkraft einstellen	Zeitpunkt	zu früh	Zugkraft wird bei Halt zeigendem Signal eingestellt

Funktionale Resonanz

Die Aufzählungspunkte in folgender Liste beziehen sich auf die Nummerierungen in Abbildung 16.

1. Das Abfahrtsignal wird unter dem Einfluss des Normalzustands und der erkannten Unpünktlichkeit des eigenen Zuges geprüft. Der Lokführer nimmt das Halt zeigende Signal wahr und erwartet, wie üblich, dass das Signal gleich auf Fahrt wechseln wird. Aufgrund der leichten Verspätung muss der Lokführer

darauf achten, möglichst schnell abzufahren, sobald das Signal auf Fahrt wechselt.

2. Den Fahrrichtungsschalter stellt der Lokführer nicht auf Halt, weil er damit rechnet sogleich weiterfahren zu können. Die Funktion wird nicht ausgeführt.
3. Vor der Einfahrt in den aktuellen Bahnhof hatte der Lokführer vergessen die Rückspiegel einzuklappen. Die Funktion wurde nicht ausgeführt.
4. Alles deutet auf eine normale Situation hin. Der Lokführer ist unter Zeitdruck wegen der leichten Verspätung, was nicht aussergewöhnlich ist, allerdings den Lokführer dazu drängt möglichst schnell abzufahren. In den fälschlich ausgeklappten Rückspiegel lenkt ein Fahrgast den Lokführer ab. Als der Fahrgast endlich eingestiegen ist, beendet der Lokführer die Funktion „Abfahrtsignal abwarten“, ohne das Signal nochmals geprüft zu haben. Die ausgeklappten Rückspiegel suggerieren dem Lokführer, dass das Abfahrtsignal Fahrt zeigt, weil die Rückspiegel normalerweise erst bei Fahrt zeigendem Signal ausgeklappt werden. Das mentale Modell der Abfahrt, in welchem der Lokführer davon ausgeht, dass das Signal bald auf Fahrt wechselt, unterstützt den Lokführer in der falschen Annahme.
5. Der Zug wird abfahrtsbereit gemacht, nichts kann die Variabilität dämpfen: Die Abfahrtszeit ist erreicht und eine ZUB-Überwachung existiert nicht.
6. Der Tempomat wurde bereits vor dem Anhalten gestellt. Der Fahrrichtungsschalter steht auf Fahrt. Sobald der Zug abfahrtsbereit ist, stellt der Lokführer die Zugkraft ein, obwohl das Abfahrtsignal Halt zeigt.

4.4.2 Halteposition ausserhalb Perron

Vor dem Anhalten des Zuges wird auf dem Führerpult die Seite selektiert, auf welcher die Türen nach dem Halt geöffnet werden sollen. Dies erfolgt vor dem Halt, damit der Fahrgastwechsel möglichst effizient durchgeführt werden kann, sobald der Zug hält. Nach dem Anhalten kann mittels leuchtender Türleuchte oder Anzeigen auf dem Bildschirm festgestellt werden, ob die Türen tatsächlich offen stehen. Nachfolgende Risikoanalyse bezieht sich auf Novizen, könnte aber identisch bei Experten angewandt werden.

Auf der FRAM-Instanz zur prospektiven Analyse wurde die Hintergrundfunktion „Zuglänge“ in die Vordergrundfunktion „Zuglänge beurteilen“ umgewandelt, welche durch die „Absicht zum Anhalten“ aufgerufen wird.

Beschreibung der hypothetischen Situation

Durch die Absicht anzuhalten werden die Funktionen „Türen freigeben“, „Halteposition prüfen“ und „Zuglänge beurteilen“ aufgerufen. Die Türen werden vor dem Halt auf der richtigen Seite freigegeben. Jedoch wird die Zuglänge kürzer beurteilt, als dies tatsächlich der Fall ist. Die Halteposition am Bahnhof liegt mit einem längeren Zug weiter vorne, weil sonst der Zugschluss ausserhalb des Perrons zu stehen kommt. Wenn der Zug angehalten hat und die Türen offen stehen, kann der Zug aus Sicherheitsgründen nicht mehr bewegt werden.

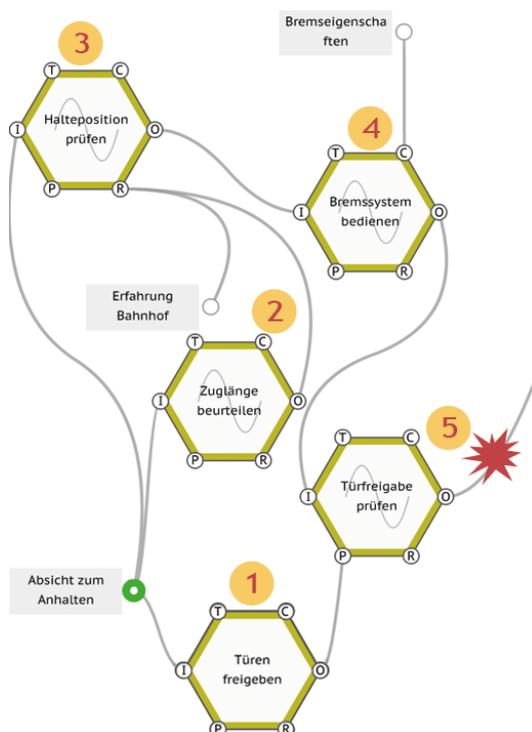


Abbildung 17: Prospektive Analyse Halteposition

Tatsächliche Variabilität

In Tabelle 58 ist die tatsächliche Variabilität der Funktionen aufgeführt.

Tabelle 58: tatsächliche Variabilität prospektive Analyse Halteposition

Funktion	Aspekt	tatsächliche Variabilität vorgelagerte Funktion		
		Funktion	Dimension	Ausmass
Halteposition prüfen	Ressource	Zuglänge beurteilen	Präzision	ungenau
Türfreigabe prüfen	Vorbedingung	Türen freigeben	Zeitpunkt	rechtzeitig

Funktionale Resonanz

1. Die Türen werden vor dem Anhalten des Zuges korrekt freigegeben.
2. Die Zuglänge wird falsch beurteilt, zum Beispiel weil kurz vorher eine zusätzliche Komposition angehängt wurde und der Lokführer dies nicht bedenkt. Das Ergebnis ist ungenau.
3. Die Halteposition wird aufgrund der falschen Zuglänge zu weit vorne am Perron gewählt.
4. Das Bremssystem wird korrekt bedient. Der Zug hält jedoch am falschen Ort.
5. Die Türen öffnen sich im hinteren Zugteil ausserhalb des Perrons. Es besteht die Gefahr, dass Personen auf die Fahrbahn aussteigen. Der Fehler kann, selbst wenn er bemerkt wird, nur schwer behoben werden, weil der Zug mit offenen Türen nicht bewegt werden kann und die Türen durch den Fahrgastwechsel blockiert sind.

4.4.3 Antizipation der Abfahrgeschwindigkeit

Erfahrenes Lokpersonal trifft bereits vor dem Anhalten des Zuges an einem Bahnhof Vorbereitungen zur Weiterfahrt. In normalen und für das Lokpersonal transparenten Situationen unterstützt diese Arbeitsweise ein pünktliches Weiterfahren. In der nachfolgenden Risikoanalyse wurde anhand einer Instanz des FRAM-Modells für Experten untersucht, welchen Einfluss die Überschaubarkeit des Bahnsystems auf das Verhalten des erfahrenen Lokpersonals hat.

Auf der FRAM-Instanz sind nur die für diese Analyse relevanten Funktionen enthalten. Zur Vereinfachung wurden alle Funktionen zwischen „Abfahrtsignal prüfen“ und „Zugkraft einstellen“ durch eine neue Funktion „Abfahrtsprozess durchführen“ ersetzt. Die Hintergrundfunktion „Pünktlichkeit Streckennetz“ wurde zur Vordergrundfunktion „Pünktlichkeit Streckennetz beurteilen“ umgewandelt, welche durch die „Absicht zur Weiterfahrt“ aufgerufen wird.

Beschreibung der hypothetischen Situation

Der erfahrene Lokführer kennt sowohl die Strecke als auch das Fahrzeug seit vielen Jahren. Durch die tägliche Arbeit hat er gelernt Muster in den Zugfolgen zu erkennen. Wenn eine Zugkreuzung nicht wie üblich stattfindet, fällt ihm das auf und er antizipiert eine vorausliegende Streckenblockierung. Ebenfalls hat sich eine Erwartung gegenüber einzelnen Signalen entwickelt. Der Lokführer hat seine Arbeitsweise

optimiert, weiss genau wann was zu erwarten ist und wie er seinen Zug pünktlich und sicher zum Ziel führt.

Das Abfahrtsignal zeigt, wie immer in dieser Situation, Halt. Der Lokführer antizipiert die Abfahrtschwindigkeit anhand der Pünktlichkeit des Streckennetzes, dem Normalzustand des Signals, der Streckentabelle und der eigenen Erfahrung mit der Strecke. Er stellt den Tempomat auf die antizipierte Geschwindigkeit ein, weil er pünktlich abfahren muss, damit er am nächsten Bahnhof einen anderen Zug übernehmen kann. Der Fahrrichtungsschalter ist auf Haltestellung, der Abfahrtsprozess wird korrekt durchgeführt, sobald das Signal Fahrt zeigt.

Allerdings wird, für den Lokführer nicht ersichtlich, ein verspäteter Zug auf dasselbe vorausliegende Gleis geleitet. Das Abfahrtsignal zeigt einen unüblichen Fahrbefehl, zum Beispiel eine reduzierte Geschwindigkeit oder Halt für ein vorausliegendes Signal. Der Lokführer übersieht den unüblichen Fahrbefehl und stellt den Zugkraftregler auf Fahrt, so dass der Zug in der eingestellten Geschwindigkeit abfährt.

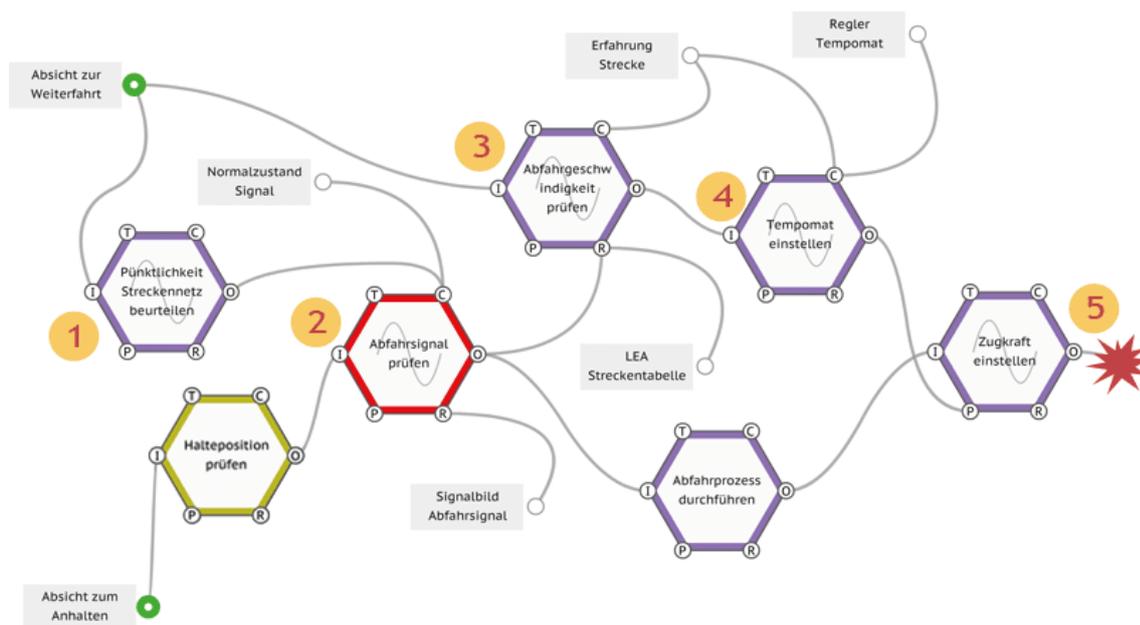


Abbildung 18: Prospektive Analyse Antizipation Abfahrtschwindigkeit

Tatsächliche Variabilität

In Tabelle 59 ist die tatsächliche Variabilität der Funktionen aufgeführt.

Tabelle 59: tatsächliche Variabilität prospektive Analyse Antizipation Abfahrgeschwindigkeit

		tatsächliche Variabilität vorgelagerte Funktion		
Funktion	Aspekt	Funktion	Dimension	Ausmass
		Pünktlichkeit beurteilen		
Abfahrtsignal prüfen	Regulierung	LEA Streckentabelle	Präzision	ungenau
Abfahrgeschwindigkeit prüfen	Ressource	Abfahrgeschwindigkeit prüfen	Präzision	ungenau
Tempomat einstellen	Eingabe	Abfahrtsprozess durchführen	Präzision	genau
Experte: Zugkraft einstellen	Eingabe	Tempomat einstellen	Präzision	ungenau
Experte: Zugkraft einstellen	Vorbedingung			

Funktionale Resonanz

1. Die Pünktlichkeit auf dem Streckennetz wird anhand der vorhandenen Informationen beurteilt. Dass ein anderer Zug verspätet ist und den eigenen Zug überholen wird, kann der Lokführer nicht wissen. Die Pünktlichkeit wird falsch beurteilt.
2. Das Abfahrtsignal zeigt Halt. Der Lokführer hat nichts anderes erwartet. Weder der Normalzustand des Signals noch das angezeigte Signalbild können die Variabilität, welche durch die vorgelagerte Funktion „Pünktlichkeit Streckennetz beurteilen“ übertragen wird, dämpfen. Es wird der übliche Fahrbegriff mit der üblichen Geschwindigkeit erwartet.
3. Das Prüfen der Abfahrgeschwindigkeit wird durch die vorgelagerte Funktion „Abfahrtsignal prüfen“ mit einer Ressource gekoppelt, die ein falsches Ergebnis liefert. Die Abfahrgeschwindigkeit wird anhand des falsch antizipierten Fahrbegriffs interpretiert. Weder die Streckentabelle noch die Erfahrung können die Variabilität dämpfen. Beides unterstützt die Antizipation der falschen Abfahrgeschwindigkeit, weil die Annahme dem Normalfall entspricht.
4. Der Tempomat wird entsprechend dem falschen Ergebnis der vorgelagerten Funktion auf die zu hohe Geschwindigkeit eingestellt.

5. Der Abfahrprozess ist korrekt durchgeführt, die Zugkraft wird eingestellt. Der Zug beschleunigt auf die im Tempomat falsch eingestellte Geschwindigkeit. Ab hier kann es sehr wohl Sicherheitssysteme geben, welche die zu schnelle Geschwindigkeit erkennen und den Zug bremsen. Die Situation kann aber auch zu einer Gefährdung führen.
-

5 Diskussion

In der vorliegenden Master Thesis wurde untersucht, wie der Abfahrprozess im S-Bahn-Verkehr Zürich ausgeführt wird, welche Voraussetzungen für einen fehlerfreien Abfahrprozess erfüllt sein müssen und welche Zusammenhänge zu unerwünschten Ergebnissen führen könnten.

Ausgehend von der Hauptfragestellung, „welches die funktionalen Einheiten des Abfahrprozesses bei Zügen der SBB Personenverkehr im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich sind, wie die funktionalen Einheiten zusammenhängen und welche funktionalen Einheiten Schwankungen unterliegen“ wurde zuerst mittels Hierarchischer Aufgabenanalyse die Tätigkeit beschrieben, um die funktionalen Einheiten identifizieren zu können. Die funktionalen Einheiten wurden mittels der Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in je ein Modell für Novizen und Experten implementiert, das beschreibt, welche Funktionen wie zusammenhängen und welche Funktionen Schwankungen aufweisen, also unterschiedlich ausgeführt werden. Die erste Forschungsfrage wurde demnach im Ergebnisteil beantwortet.

Anhand der FRAM-Modelle wurden danach Szenarien erarbeitet, die aufzeigen, wie Schwankungen in den funktionalen Einheiten des Abfahrprozesses sich zu einem unerwünschten Ergebnis aufschaukeln können, also sogenannte funktionale Resonanz entsteht. Anhand der Modelle und der Szenarien kann nun die zweite Frage geklärt werden, nämlich *„was Schwankungen in den funktionalen Einheiten des Abfahrprozesses bei Zügen der SBB Personenverkehr im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich bewirken, was die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Abfahrprozess sind und welche Ressourcen das Lokpersonal bei der Abfahrt zusätzlich unterstützen können“*.

Nachfolgend werden zuerst die wichtigsten Ergebnisse der Szenarien beziehungsweise prospektiven Analysen zusammengefasst und interpretiert und Möglichkeiten zur Dämpfung der funktionalen Resonanz vorgestellt. Im Anschluss wird aufgezeigt, welches wichtige Voraussetzungen sind, damit der Abfahrprozess erfolgreich ausgeführt werden kann und welche Ressourcen den erfolgreichen Abfahrprozess unterstützen können.

Ebenfalls wird das methodische Vorgehen kritisch hinterfragt. Zum Schluss wird ein Ausblick gewagt, ob FRAM eine geeignete Methode ist, um bei der SBB Ereignis- oder Risikoanalysen durchzuführen.

5.1 Interpretation der prospektiven Analysen

Die prospektiven Analysen, welche anhand von Instanzen des FRAM-Modells durchgeführt wurden, zeigen mögliche Auswirkungen von Schwankungen oder funktionaler Resonanz beim Abfahren von Zügen im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich. Weil zu einer prospektiven Analyse immer auch die Möglichkeiten zur Dämpfung der Risiken gehören, werden diese jeweils direkt nach den Analysen aufgeführt. Eine ausführliche Diskussion der möglichen Gestaltungsmassnahmen erfolgt in einem anschliessenden Kapitel.

5.1.1 Ausgeklappte Spiegel

Die prospektive Analyse des Spiegelzustands hat gezeigt, dass nicht eingeklappte Rückspiegel dem Lokpersonal ein Fahrt zeigendes Signal suggerieren können. Die funktionale Resonanz entsteht über mehrere Funktionen hinweg, es gibt keine eindeutige Ursache. Dadurch, dass der Spiegelzustand mittels Vorschriften an den Signalzustand gekoppelt wurde (Rückspiegel nur bei Fahrt zeigendem Abfahrtsignal ausklappen), sind die beiden Systemkomponenten beim Lokpersonal auch mental gekoppelt. Dasselbe gilt für den Fahrrichtungsschalter, der bei falscher Signalwahrnehmung nicht zurückgenommen wird und genau durch diese Vorwärtsstellung mental ein Fahrt zeigendes Signal suggeriert.

Es gibt Lokpersonal, welches die Rückspiegel bei Halt zeigendem Signal grundsätzlich und absichtlich ausklappt, um besser sehen zu können, was hinter dem Führerstand passiert. Für dieses Lokpersonal ist die mentale Kopplung zwischen Signal- und Spiegelzustand, trotz Vorschriften, wohl nicht gegeben. Gefährdet ist vorwiegend das Lokpersonal, welches die Spiegel normalerweise einklappen und dies dann, wie im vorliegenden Fall, einmal vergisst. Vor allem von erfahrenem Lokpersonal werden die Rückspiegel auch während der Fahrt verwendet, um zum Beispiel die Weichenabdeckung des Zuges zu prüfen. Dazu werden die Rückspiegel oft ein- und ausgeklappt. Dass dabei ein Einklappen vergessen geht, ist gut möglich.

Dämpfung der Variabilität

Die Rückspiegel müssen bei Halt zeigendem Signal nach Vorschrift eingeklappt werden, damit das Lokpersonal bei Halt zeigendem Signal nur auf das Signal fokussiert und sich nicht von Vorgängen am Zug ablenken lässt. Diese Sicherheitsmassnahme hat aber, durch die mentale Kopplung von Spiegel- und Signalzustand, ein neues Risiko geschaffen. Eine Entkopplung könnte nur mit der Aufhebung der Vorschrift gesche-

hen. Dazu müsste eine Abwägung stattfinden was gefährlicher ist, die Ablenkung durch die Rückspiegel oder die mentale Kopplung von Spiegelzustand und Signalzustand. Allgemein muss beim Aufstellen von Vorschriften unbedingt auf weitere Auswirkungen der neuen Regelung geachtet werden, zum Beispiel Auswirkungen auf die Wahrnehmung.

5.1.2 Halteposition ausserhalb Perron

Die FRAM-Instanz zur Analyse der Auswirkung einer falsch beurteilter Zuglänge auf die Halteposition legt nahe, dass eine falsche Repräsentation der Zuglänge beim Lokpersonal eine mögliche Gefahr für Reisende beim Aussteigen bedeuten kann. Wenn die Türfreigabe bereits beim Einfahren aktiviert wird, besteht nach dem Anhalten keine Möglichkeit mehr ein Aussteigen zu verhindern. Im Falle eines Halt zeigenden Abfahrtsignals und entsprechend eingeklappten Rückspiegel besteht sogar die Gefahr, dass das Lokpersonal den Fehler gar nicht bemerkt. Die Beurteilung der Zuglänge und die Wahl der entsprechenden Halteposition ist deswegen zentral. Die Gefahr der falsch repräsentierten Zuglänge beim Lokpersonal besteht insbesondere nach der Veränderung der Zuglänge durch An- oder Abhängen von Wagen oder nach der Übernahme eines Zuges mit anderer Länge.

Dämpfung der Variabilität

Zur Förderung der korrekten Repräsentation der Zuglänge und Dämpfung der Auswirkungen einer falsch beurteilten Zuglänge, können folgende Massnahmen helfen:

- Die Türfreigabe sollte erst bei stehendem Zug aktiviert werden. Dadurch hat das Lokpersonal die Möglichkeit den Zug an die richtige Halteposition zu fahren, wenn der Fehler bemerkt wird.
- Zur Überprüfung der korrekten Halteposition wären die Rückspiegel eine wichtige Ressource. Anhand dieser könnte in vielen Fällen geprüft werden, ob der ganze Zug am Perron steht. Da die Rückspiegel allerdings bei Halt zeigendem Abfahrtsignal eingeklappt sein müssen, besteht diese Möglichkeit nicht. Es empfiehlt sich daher die Notwendigkeit des Spiegeleinklappens bei Halt zeigendem Signal zu prüfen.
- Die Prüfung der Halteposition erfordert bei Bahnhöfen ohne Halteortstafeln mehr Erfahrung und mehr kognitive Ressourcen des Lokpersonals. Es besteht dadurch auch bei korrekt repräsentierter Zuglänge die Gefahr, dass eine falsche Halteposition gewählt wird. Flächendeckende Halteortstafeln wären eine

wichtige Ressource zur korrekten Festlegung der Halteposition.

5.1.3 Antizipation der Abfahrgeschwindigkeit

Die FRAM-Instanz zur Analyse des Zusammenhangs von Erfahrung und unerwartetem Signalzustand zeigt, dass die Antizipation von Situationen in einem intransparenten System zu einem negativen Ergebnis führen kann. Alle für das Lokpersonal verfügbaren Informationen deuten auf eine „normale“ Situation hin, wodurch automatisch nach dem mentalen Modell der „normalen Situation“ gehandelt wird. Der Tempomat wird bei Halt zeigendem Signal auf die übliche Geschwindigkeit eingestellt, bei Fahrt zeigendem Signal wird sofort abgefahren. Vielleicht hat genau dieser Ablauf bisher dabei geholfen, pünktlich anzukommen. In der untersuchten, hypothetischen Situation führt diese Routine des Experten dazu, dass aufgrund des unvollständigen Wissens über die Pünktlichkeit auf dem Streckennetz kein vollständiges Situationsbewusstsein entwickelt werden kann und der Zug mit zu hoher Geschwindigkeit abfährt.

Einfluss der Mustererkennung auf Situationsbewusstsein und Monotonie

Lokführerinnen und Lokführer, die über Jahre hinweg auf denselben Strecken fahren, bauen ein grosses Wissen über Zusammenhänge im Bahnsystem auf. Dieses Wissen wird unbewusst oder bewusst genutzt, um Muster bzw. Abweichungen von den Mustern zu erkennen und zukünftige Ereignisse zu antizipieren. Diese Fähigkeit unterscheidet Menschen grundsätzlich von Maschinen, wie Fitts (1951) bereits Mitte des letzten Jahrhundert in sogenannten „Men Are Better At - Machines Are Better At“ Listen beschrieben hat. Mustererkennung und Antizipation sind menschliche Leistungen, die im Normalfall in der Zugführung zu guten Ergebnissen führen. Züge kommen durch die Antizipation des Lokpersonals pünktlich zum Ziel, weil Handlungen vorbereitet werden, bevor offensichtliche Reize dazu vorhanden sind. Kritische Situationen können verhindert werden, weil das Lokpersonal Gefahren antizipiert, bevor ein technisches System die Gefahr erkennt und eingreift.

Endsley (2006) beschreibt die Antizipation im Konzept der „Situation Awareness“ als dritte und höchste Ebene des Situationsbewusstseins, welche erlaubt, effektiv mit komplexen und herausfordernden Aufgaben umzugehen. Die Vorhersage (Antizipation) eines zukünftigen Zustandes ist demnach nur durch die Wahrnehmung (erste Ebene) und das Verständnis (zweite Ebene) der aktuellen Situation möglich. Das Wissen über die Dynamik im System beeinflusst alle Ebenen des Situationsbewusstseins. Ein angemessenes Situationsbewusstsein liegt nach Manzey (2012) nur dann vor, wenn der Mensch bei der Aufgabenerfüllung zu jedem Zeitpunkt darüber im Bilde ist, was gera-

de passiert, warum es passiert und wie sich die Situation entwickeln wird. Das Situationsbewusstsein kann Manzey zufolge beeinträchtigt werden, wenn das System nicht verstanden wird und kein passendes mentales Modell der Situation aufgebaut werden kann.

Die Auseinandersetzung mit der eigenen Tätigkeit, unter der auch die Mustererkennung und Antizipation verstanden werden kann, hat eine dämpfende Wirkung auf Monotonie. Monotonie entsteht nach Ulich (2011) in reizarmen Situationen und bei einförmiger Tätigkeit, worunter penibles Abarbeiten vorgegebener Handlungen ohne gedankliche Auseinandersetzung verstanden werden kann. Monotonie kann laut Ulich durch die daraus resultierende hohe Beanspruchung zu Fehlhandlungen führen.

Für die Arbeit von erfahrenem Lokpersonal bedeutet dies, dass a) die Mustererkennung und Antizipation wichtige Voraussetzungen für Pünktlichkeit und Sicherheit sind, dass b) die Antizipation sowieso stattfindet, jedoch nur mit der richtigen Informationsgrundlage erfolgreich ist, und dass c) diese gedankliche Auseinandersetzung mit der eigenen Aufgabe Monotonie und somit Fehlhandlungen vorbeugt. Wenn Mustererkennung und Antizipation nicht erwünscht sein sollten, müsste in letzter Konsequenz das Lokpersonal durch Maschinen ersetzt werden, weil das Wahrnehmen, Verstehen und Antizipieren beim Menschen nicht umgangen werden kann.

Dämpfung der Variabilität

Zur Dämpfung der untersuchten funktionalen Resonanz muss das erfahrene Lokpersonal über die notwendigen Informationen verfügen, um den Systemzustand korrekt verstehen zu können. Dazu gehört die Kenntnis relevanter Verspätungen auf dem umliegenden Streckennetz und aussergewöhnlicher Überholmanöver anderer Züge. Nur mit diesem Wissen kann das Lokpersonal korrekte mentale Modelle aufbauen und ein ausreichendes Situationsbewusstsein erlangen. Die Information über Verspätungen könnte über eine Benachrichtigung durch die Zugverkehrsleitenden (ZVL) oder ein technisches System erfolgen. Eine direkte Kommunikation mit den ZVL hätte den Vorteil, dass das Lokpersonal und die ZVL ein gemeinsames mentales Modell und dadurch ein besseres Situationsbewusstsein aufbauen könnten. Gemeinsame mentale Modelle haben einen wesentlichen Einfluss auf sicheres Handeln, wie Hofinger (2012) feststellt. Gefördert werden können diese unter anderem durch standardisierte Sprache. Die ZVL müssten das Lokpersonal demnach mittels standardisierter Kommunikation über Abweichungen vom Normalfall informieren.

Eine weitere Möglichkeit, Variabilität zu dämpfen, ist das Training des erfahrenen

Lokpersonals in unüblichen Situationen im Simulator. Signale, welche über Jahre beim Vorbeifahren dasselbe Signalbild anzeigen, werden vom Lokpersonal automatisch ausgeblendet. Situationen, die immer gleich ablaufen, prägen sich beim Lokpersonal ein und beeinflussen das Situationsbewusstsein. Im Simulator könnten solche unüblichen Signalbilder an bekannten Signalen oder untypische Situationen auf bekannten Strecken gut trainiert werden.

5.1.4 Zwischenfazit

Mit der Diskussion der prospektiven Analysen werden mögliche Auswirkungen von Schwankungen in den Funktionen und dadurch ausgelöste funktionale Resonanz aufgezeigt. Damit ist der erste Teil der zweiten Forschungsfrage geklärt.

5.2 Voraussetzungen für einen erfolgreichen Abfahrprozess

Die FRAM-Modelle sind eine generische Darstellung des Abfahrprozesses im untersuchten Feld. Je nach Situation und Person verändern sich die Schwankungen der Funktionen oder die Unterteilung in Vordergrund- und Hintergrundfunktion, wodurch eine Instanz des Modells entsteht. Weil die Modelle generischer Natur sind, können auch nur zum Erfolg führende Voraussetzungen abgeleitet werden, die für das ganze Modell gelten. Je nach Person oder Situation gelten zusätzliche Voraussetzungen zur erfolgreichen Abfahrt. Im Folgenden werden generelle Voraussetzungen zur erfolgreichen Abfahrt anhand der FRAM-Modelle herausgearbeitet, um den zweiten Teil der zweiten Forschungsfrage zu klären, nämlich *„was die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Abfahrprozess bei Zügen der SBB Personenverkehr im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich sind“*.

Der Abfahrprozess wird, wie die HTA gezeigt hat, von Lokpersonal mit weniger als 5 Jahren Arbeitserfahrung (Novizen) und Lokpersonal mit mehr als 10 Jahren Erfahrung (Experten) unterschiedlich ausgeführt. Diese Unterscheidung wird beim Lokpersonal der SBB zum Zeitpunkt der Untersuchung weder in der Weiterbildung noch der Ereignisanalyse konsequent berücksichtigt.

Novizen sind stärker mit der momentanen Situation beschäftigt und führen das Anhalten und Abfahren Schritt für Schritt durch, während Experten bereits beim Einfahren Vorbereitungen zur Weiterfahrt treffen und besser Antizipieren. Novizen sind stärker beansprucht von alltäglichen Aufgaben, wie Signale zu lokalisieren oder den Tempomat auf die richtige Geschwindigkeit einzustellen. Störungen im System, zum Beispiel Fahrzeugstörungen, bewirken bei Novizen eine höhere mentale Beanspruchung als bei

Experten.

Unter mentaler Belastung werden die Einflüsse verstanden, die von aussen auf den Menschen einwirken. Unter mentaler Beanspruchung wird dagegen die individuelle Auswirkung der mentalen Belastung im Menschen verstanden (Ulich, 2011). Eine hohe mentale Belastung kann zu Überforderung führen, eine tiefe mentale Belastung zu Unterforderung. Eine optimale Leistung bzw. Beanspruchung kann bei mittlerer mentaler Belastung erreicht werden (Oesterreich, 2001). Für das Lokpersonal bedeutet dies, dass keine zu hohe aber auch keine zu tiefe mentale Belastung durch das Arbeitsumfeld erfolgen sollte, dass aber mit steigender Erfahrung auch die Belastung steigen kann, damit eine gute Leistung erzielt wird.

Im Folgenden wird detaillierter auf das Gelingen des Abfahrprozesses bei Novizen und Experten eingegangen. Dabei wird jeweils auf die mentale Belastung und Beanspruchung verwiesen.

5.2.1 Erfolgreiches Abfahren bei Novizen

Novizen führen den Abfahrprozess gut aus in einer vertrauten Situation, welche keine schnellen Reaktionen erfordert, in welcher die Aufmerksamkeit auf der primären Aufgabe (dem Abfahren des Zuges) liegt und in welcher keine unbekanntes Umweltreize auftauchen. Der realistischen Einschätzung der eigenen Fähigkeiten kommt wohl ebenfalls eine wichtige Aufgabe zu. So haben verschiedene Lokführer von „Lehrgeld“ (in Form von Signalfällen) gesprochen, welches von Novizen bezahlt werden müsse, weil sie die eigene Erfahrung überschätzen.

Novizen sollten zu Beginn nur einen Fahrzeugtyp bedienen und nur auf wenigen Strecken zum Einsatz kommen, damit Erfahrung aufgebaut werden kann. Viele unterschiedliche Fahrzeuge oder sehr unterschiedliche Strecken können einer hohen Belastung entsprechen und Überforderung zur Folge haben. Die Erweiterung von Fahrzeugtypen und Strecken sollte angepasst auf die Erfahrung und die mentale Beanspruchung erfolgen. Eine tiefe Beanspruchung, welche Unterforderung oder Monotonie zur Folge haben könnte, ist bei Novizen weniger zu befürchten.

Die Aus- und Weiterbildung von Novizen sollte auf die Entwicklung von Expertenstrategien zum Umgang mit Störungen und Schwankungen ausgelegt sein. Ebenfalls sollte der Umgang mit unbekanntes Situationen, seltenen Signalzuständen und seltenen Fahrzeugstörungen geübt werden. Denkbar wären dazu Begleitungen und Feedback durch Experten im Arbeitsalltag sowie Training im Simulator.

5.2.2 Erfolgreiches Abfahren bei Experten

Experten führen den Abfahrprozess gut aus, wenn die notwendigen Informationen zur Bildung eines angemessenen Situationsbewusstseins zur Verfügung stehen, wenn die Experten auf unübliche Situationen vorbereitet sind und wenn sie die Möglichkeit haben, die eigenen Fähigkeiten und das eigene Wissen in die Arbeitsausführung einzubringen.

Experten sollten Abwechslung von verschiedenen Strecken und Fahrzeugen haben, um eine mittlere Beanspruchung zu erreichen. Zwischen den Wechseln auf neue Fahrzeuge sollte genügend Zeit vorhanden sein, damit sich das Lokpersonal mental auf die neue Umgebung einstellen kann. Experten können komplexe Situationen gut einschätzen und ihr Handeln daran anpassen. Für ein vollständiges Verständnis der Situation müssen allerdings Informationen über Abweichungen vom Normalfall, wie zum Beispiel aussergewöhnliche Überholmanöver, bekannt sein.

Die Weiterbildung von Experten sollte auf das Trainieren unüblicher Situationen am Simulator ausgerichtet sein.

Die Gegenüberstellung in Tabelle 60 zeigt die unterschiedlichen Voraussetzungen für einen erfolgreichen Abfahrprozess bei Novizen und Experten.

Tabelle 60: Voraussetzungen von Novizen und Experten zum Gelingen des Abfahrprozesses

Voraussetzung	Novizen	Experten
Führerpult	Einheitliche Bedienung, einheitlicher Aufbau	Einheitliche Bedienung der Not-Elemente
Fahrzeug	Fahrzeuge mit einheitlichen Eigenschaften und zuverlässiger Funktionsweise	Unterschiedliche Fahrzeuge, mit genügender Zeit für Inbetriebnahme
Strecke	Wenige, aber gut bekannte Strecken	Abwechslung in den Strecken
Situationsbewusstsein	Vertraute Situation, wenig Erfahrungswissen notwendig, Pünktlichkeit	Kenntnis über aussergewöhnliche Manöver auf dem Streckennetz

Erfahrung	Realistische Einschätzung der eigenen Fähigkeiten und des eigenen Wissens	Möglichkeit die eigenen Fähigkeiten und das eigene Wissen in der Arbeitsausführung einzubringen
------------------	---	---

5.2.3 Angemessenes Situationsbewusstsein bei Einfahrt in Bahnhof

Die Untersuchung des Abfahrprozesses mittels Hierarchischer Aufgabenanalyse (HTA) hat gezeigt, dass das Prüfen des Abfahrsignals bereits beim Einfahren in den Bahnhof erfolgt. Die daraus entstandene FRAM-Funktion „Abfahrsignal prüfen“ zeigt, dass sehr viele Abhängigkeiten mit dieser Funktion bestehen. Einerseits ist das erfolgreiche Prüfen des Abfahrsignals von Ausseneinflüssen wie der Signalaufstellung, der Pünktlichkeit des Streckennetzes und dem Normalzustand des Signals abhängig, andererseits beeinflusst die Funktion den ganzen Halte- und Abfahrprozess. Damit ist die Funktion absolut zentral im ganzen Abfahrprozess.

Die Arbeitsanweisung für das Lokpersonal zur Abfahrt von Zügen („Geste métier Abfahrt“) beinhaltet zweimal den Punkt „Zugehöriges Signal zeigt Fahrt“, mit der Idee, dass das Lokpersonal zuerst auf das Fahrt zeigende Signal wartet, dann die Zeit prüft und Türen schliesst und am Schluss nochmals überprüft, ob das Signal wirklich Fahrt zeigt. Diese zweite Überprüfung des Signals, welche sich in der vorliegenden Untersuchung in der Funktion „Abfahrsignal abwarten“ wiederfindet, erfolgt jedoch auf Basis des mentalen Modells, welches bei der ersten Überprüfung aufgebaut wurde. Wird bei der ersten Überprüfung ein Fehler gemacht, ist die Gefahr gross, dass er bei der zweiten Überprüfung wiederholt wird, und die gewünschte Redundanz kann nicht erreicht werden. Die Gefahr der Signalverwechslung liegt somit bei der Einfahrt und nicht bei der Abfahrt. Das Entwickeln eines angemessenen Situationsbewusstseins bei der Einfahrt in den Bahnhof ist deswegen eine zentrale Voraussetzung für einen erfolgreichen Abfahrprozess bei Zügen der SBB Personenverkehr im Selbstabfahrprozess der S-Bahn Zürich.

Diese Erkenntnis widerspricht der gängigen Annahme der SBB, dass die Fokussierung auf das Signal bei stehendem Zug zentral ist, um eine Signalverwechslung zu verhindern. Die vorliegenden Forschungsergebnisse legen den Schluss nahe, dass die Signalverwechslung bei stehendem Zug vernachlässigbar ist, wenn das Lokpersonal bei der Einfahrt in den Bahnhof ein angemessenes Situationsbewusstsein entwickeln kann.

5.3 Gestaltungsmassnahmen

Zur Klärung des letzten Teils der zweiten Forschungsfrage, nämlich „*welche Ressourcen das Lokpersonal bei der Abfahrt zusätzlich unterstützen können*“, werden nachfolgend Gestaltungsmöglichkeiten aufgeführt, welche die Voraussetzungen dafür schaffen können, dass das Lokpersonal den Abfahrprozess erfolgreich ausführen kann. Die Gestaltungsmassnahmen wurden mehrheitlich bereits im vorherigen Diskussions- teil erwähnt, werden aus Gründen der Übersichtlichkeit hier aber nochmals prägnanter zusammengefasst.

5.3.1 Verstärkter Einsatz von Simulatoren

Wie die Untersuchung gezeigt hat, fehlen dem Lokpersonal in seltenen Situationen Fertigkeiten und Wissen, um ein angemessenes Situationsbewusstsein aufzubauen.

Simulatoren werden seit langem in verschiedenen Arbeitsgebieten eingesetzt, um die Realität unter experimenteller Kontrolle abzubilden und Fertigkeiten aufzubauen (Badke-Schaub et al., 2012). Die Übereinstimmung („fidelity“) der Simulation mit der Realität und der Einfluss dieser Übereinstimmung auf den Trainingserfolg wird dabei in der Fachliteratur oft diskutiert (Hancock, Vincenzi, Wise & Mouloua, 2008).

Für das erfahrene Lokpersonal wären „High-fidelity“ Simulatoren notwendig, welche die Realität möglichst genau nachbilden. Dabei wäre es wichtig, reale Strecken mit exakter Signalaufstellung und realitätsnaher Zugfolgen abzubilden. In diesen virtuellen Situationen könnten unübliche Situationen realitätsnah geübt werden, damit mentale Modelle entwickelt werden können, die auch im Arbeitsalltag nützlich sind. Die Übereinstimmung der Führerstände zwischen Simulator und Realität ist für das Training der Experten hingegen nicht entscheidend.

Für Novizen wäre dagegen die Übereinstimmung des Simulators mit realen Führerständen wichtig, damit der Umgang mit den Instrumenten und der Umgang mit Störungen geübt werden kann.

Um die Kommunikation und Entwicklung geteilter mentaler Modelle zu trainieren, wäre der Einsatz eines Simulators, der sowohl das Umfeld des Lokpersonals als auch das Umfeld der Zugverkehrsleitenden (ZVL) nachbildet, sinnvoll. So würden für beide Arbeitsfelder die jeweiligen Simulationen realistischer und lernförderlicher.

Das wichtigste Element realistischer Simulationen ist, wie Rall, Manser und Howard (2000) betonen, ein lernförderliches Debriefing, wozu die Instruktoren ausgebildet

sein müssen. Die Simulationen sollten als Lernsituationen verstanden werden, in welchen Fehler gemacht und offen besprochen werden. Wichtig ist auch die Vertraulichkeit der Simulationen: Was im Simulator geschieht, wird nicht nach aussen getragen.

5.3.2 Informationen des Lokpersonals über aussergewöhnliche Manöver

Die prospektive Analyse zur „Antizipation der Abfahrgeschwindigkeit“ (vgl. Kapitel 5.1.3) hat gezeigt, dass dem erfahrenen Lokpersonal Informationen zur Bildung eines angemessenen Situationsbewusstseins fehlen, wenn aussergewöhnliche Manöver stattfinden oder relevante Verspätungen auf dem umliegenden Streckennetz beim Lokpersonal unentdeckt bleiben.

Als Ressource zur Bildung eines angemessenen Situationsbewusstseins, sollten dem Lokpersonal diese Informationen über eine Benachrichtigung durch die ZVL oder ein technisches System zur Verfügung stehen.

5.3.3 Gedankliche Auseinandersetzung mit der eigenen Tätigkeit

Die gedankliche Auseinandersetzung mit der eigenen Aufgabe im Sinne von Mustererkennung, Antizipation und Einbeziehen eigener Erfahrung im Abfahrprozess wirkt, wie dies in der prospektiven Analyse zur „Antizipation der Abfahrgeschwindigkeit“ (vgl. Kapitel 5.1.3) beschrieben ist, dämpfend auf Monotonie. Da Monotonie auch Fehlhandlungen zur Folge haben kann, haben Monotoniezustände einen negativen Einfluss auf sicheres Arbeiten.

Mit der Automatisierung der Betriebsführung der SBB Infrastruktur, wird sich das Arbeitsumfeld des Lokpersonals weiter verändern. Heute wird zum Beispiel ein Zug auf derselben Strecke zu derselben Zeit meist auf demselben Gleis geführt. Das Lokpersonal kann dadurch Erfahrung aufbauen und Abweichungen erkennen, wie dies die Analyse gezeigt hat. Durch die automatische Spurwahl der Zuglenkung, wird es zukünftig vermehrt vorkommen, dass der Zug aus nicht ersichtlichen Gründen auf verschiedenen Gleisen geführt wird. Dies verunmöglicht den Erfahrungsaufbau des Lokpersonals zur Mustererkennung und führt dazu, dass die eigene gedankliche Auseinandersetzung mit der Tätigkeit weniger gefordert und auch weniger möglich ist.

Es ist gut möglich, dass die Automatisierung des Umfelds des Lokpersonals die weitere Automatisierung des Führerstands beschleunigen wird. Damit die Arbeit des Lokpersonals herausfordernd bleibt, sollte beachtet werden, dass mit der Automatisierung nicht Ressourcen des Lokpersonals entfernt werden, welche sie zur sicheren Ausführung der Tätigkeit benötigen. Es empfiehlt sich, die Funktionsteilung zwischen

Mensch und Maschine zu definieren und Anforderungen an die Technikgestaltung zu stellen, wie dies auch bei der Tätigkeit der ZVL bei der SBB gemacht wird (Brügger et al., 2012).

5.3.4 Ressource zum Revidieren des mentalen Abfahrmodells

Beim Prüfen des Abfahrsignals bei der Einfahrt in den Bahnhof speichert das Lokpersonal mental, welches das richtige Signal ist, welchen Zustand dieses Signal zeigt und wie der Abfahrprozess ablaufen wird. Beim Warten auf das Abfahrsignal in der FRAM-Funktion „Abfahrsignal abwarten“ wird nur noch auf das Signal gewartet, welches beim Einfahren als das richtige identifiziert wurde. Wenn das Lokpersonal bei der Einfahrt in den Bahnhof ein falsches Signal fokussiert, wird sich der Fehler im Abfahrprozess mit grosser Wahrscheinlichkeit weiterziehen, weil keine Ressource besteht, welche helfen kann den Fehler zu entdecken. Es gibt technische Einrichtungen wie Abfahrverhinderungen oder akustische Signale bei Abfahrt ohne Erlaubnis, welche eingreifen, falls sie funktionieren und die Infrastruktur dazu vorhanden ist. Ressourcen für das Lokpersonal, welche helfen allfällige Fehler zu entdecken, sind hingegen nicht vorhanden.

Eine Ressource für das Lokpersonal zur Revidierung des Situationsbewusstseins, welches bei der Einfahrt aufgebaut wurde, wäre eine redundante Zustimmung zur Abfahrt. Diese Redundanz könnte in Form eines zusätzlichen, eindeutig zuordenbaren Signals oder in Form einer Anzeige im Führerstand erreicht werden. Wichtig wäre, dass das Lokpersonal die Zustimmung zur Abfahrt zusätzlich zum Abfahrsignal an einem zweiten Ort überprüfen könnte.

Im Fernverkehr der SBB und an einzelnen Bahnhöfen ist diese Redundanz vorhanden, indem das Zugpersonal oder Zugverkehrsleitende durch ortsfeste Signale oder Zeichen des Personals ein Abfahrsignal erteilen. Im S-Bahn-Verkehr Zürich fehlt diese Redundanz jedoch. Dies zeigt sich womöglich in der Anzahl Signalfälle, denn über 90% aller Signalfälle bei der SBB Personenverkehr zwischen 2012 und 2014 wurden im Regionalverkehr verursacht (SBB, 2014).

5.3.5 Rückspiegel als Ressourcen einsetzen

Wie die prospektiven Analysen über „ausgeklappte Spiegel“ (vgl. Kapitel 5.1.1) und die „Halteposition ausserhalb Perron“ (vgl. Kapitel 5.1.2) gezeigt haben, besteht eine mentale Kopplung zwischen Spiegelzustand und Signal. Gleichzeitig fehlt eine Möglichkeit für das Lokpersonal, Fehler beim Anhalten bei Halt zeigendem Abfahrsignal

festzustellen.

Es empfiehlt sich daher, die Rückspiegel beim Anhalten und vor dem Abfahren dem Lokpersonal als Ressource zur Verfügung zu stellen, damit eigene Fehler entdeckt werden können und diese nicht die Wahrnehmung über den Signalzustand beeinträchtigen.

Auf der „Geste métier Halt zeigendes Signal“ müsste daher der Punkt „Rückspiegel bleiben geschlossen“ (SBB Personenverkehr, 2012, S. 7) ersatzlos gestrichen werden.

5.3.6 Türfreigabe erst nach erfolgreichem Anhalten

Die prospektive Analyse „Halteposition ausserhalb Perron“ (vgl. Kapitel 5.1.2) hat aufgezeigt, dass sich die Möglichkeiten zur Fehlerkorrektur durch das Lokpersonal verbessern würde, wenn die Türen erst bei stehendem Zug freigegeben würden. Das Lokpersonal könnte, zum Beispiel wenn der Zugschluss ausserhalb des Perrons liegt, den Zug nochmals anfahren und an die richtige Halteposition bringen.

Diese Gestaltungsmassnahme ergibt nur in Kombination mit der Verwendbarkeit der Rückspiegel beim Anhalten Sinn.

5.3.7 Flächendeckende Halteortstafeln

Die Prüfung der Halteposition erfordert bei Bahnhöfen ohne Halteortstafeln Erfahrung und kognitive Ressourcen vom Lokpersonal, wie die Analyse „Halteposition ausserhalb Perron“ und verschiedene Beobachtungssituationen gezeigt haben. Es besteht dadurch die Gefahr, dass eine falsche Halteposition gewählt wird. Flächendeckende Halteortstafeln wären eine Ressource zur korrekten Festlegung der Halteposition, vor allem für Novizen.

5.4 Methodenkritik

Durch den Entscheid, dass in der vorliegenden Untersuchung auf bestehende Erkenntnisse von Ereignisanalysen zu verzichten, konnte ein unbefangener Blick auf die Tätigkeit des Lokpersonals geworfen werden. Die Fokussierung auf den Abfahrprozess, so wie er normalerweise ausgeführt wird, hat zudem ersichtlich gemacht, dass nicht immer so gearbeitet wird, wie dies die Vorschriften vorsehen. Gleichzeitig wurde aber auch sichtbar, dass das Lokpersonal stets bestrebt ist seine Aufgabe erfolgreich auszuführen und dazu die vorhandenen Möglichkeiten einsetzt. Die unbefangene Herangehensweise hat sich, angesichts der Erkenntnisse zu Voraussetzungen für eine erfolgreiche Abfahrt von Zügen im S-Bahn-Verkehr Zürich, bewährt.

Die Identifikation der Funktionen des Abfahrprozesses mittels der hierarchischen Aufgabenanalyse bot eine gute Ausgangslage zur Beschreibung der Funktionen in FRAM. Dabei kann die kleine Stichprobe kritisiert werden, welche generelle Aussagen für die Gesamtheit des Lokpersonals erschwert. Weil mittels der Hierarchischen Aufgabenanalyse auf die eigentliche Tätigkeit fokussiert wird, ist es zudem schwierig damit beeinflussende organisationale und technische Faktoren zu identifizieren. Dieses Defizit konnte jedoch durch das iterative Vorgehen in der Beschreibung der Funktionen für FRAM teilweise ausgeglichen werden. Die kleine Stichprobe über die ganze Untersuchung, welche durch den grossen Aufwand der Ganzschicht-Beobachtungen erklärt werden kann, birgt aber trotzdem die Gefahr, dass Einzelfälle übergeneralisiert dargestellt werden.

Die Wahl von FRAM für die Untersuchung der Zusammenhänge im Abfahrprozess hat sich grundsätzlich sehr bewährt, weil die FRAM-Modelle eine verständliche Darstellung der Tätigkeit bieten. Es fällt jedoch auf, dass die FRAM-Modelle lediglich menschliche Funktionen als Vordergrundfunktionen aufführen und organisationale und technische Bestandteile der Tätigkeit nur als Hintergrundfunktionen enthalten sind. Wenn eine andere Methode als die Hierarchische Aufgabenanalyse als Ausgangslage gewählt würde, sähen die Modelle womöglich anders aus. Die FRAM-Funktionen in der vorliegenden Untersuchung stellen ausserdem nur einen sehr kleinen Teilaspekt des Abfahrprozesses dar. Auch dies ist mit der Hierarchischen Aufgabenanalyse als Ausgangslage begründbar, weil die Tätigkeiten als Funktionen übernommen wurden. Man kann sich fragen, ob dadurch der „Blick aufs Ganze“ verloren gegangen ist und übergeordnete Funktionen zu wenig Gewicht haben. Die Methode der Aufgabenanalyse müsste demnach für weitere Untersuchungen überprüft werden.

Die aufgeführten Risikoanalysen, welche anhand von FRAM-Instanzen untersucht wurden, zeigen, dass es mit FRAM möglich ist, eine sehr praxisnahe Risikoanalyse durchzuführen. Dadurch, dass man gezwungen wird alle Funktionen im FRAM-Modell mit einer Variabilität zu beschreiben, können Einflüssen entdeckt werden, die ohne vollständige Darstellung der Tätigkeit nur schwer erkennbar wären. Bei der Festlegung der Variabilität in Risikoanalysen sollte allerdings darauf geachtet werden, dass die Schwankungen in der Ausführung der Funktionen auch tatsächlich möglich sind. An der Methode kann kritisiert werden, dass auch sehr unwahrscheinliche Szenarien bestätigt werden könnten.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die gewählten Methoden sehr aufwändig sind, dass sich FRAM aber sehr gut eignet für die Operationalisierung, Darstellung und Untersuchung des Abfahrprozesses. Es konnten neue Zusammenhänge ermittelt werden, welche mit elaborierten Methoden der Ereignisanalyse und Risikoanalyse bei der SBB bisher nicht aufgezeigt werden konnten. Insbesondere die Unterscheidung der Aufgabenausführung von Novizen und Experten sei hier erwähnt.

5.5 Ausblick

Während der Untersuchung und Verschriftlichung der vorliegenden Master Thesis, haben sich bei der SBB Signalfälle und auch Unfälle ereignet. Die Massnahmen, welche anhand der Ereignisanalysen vorgeschlagen wurden, schränken dabei oft die Aufgabenausführung des Lokpersonals durch zusätzliche oder erweiterte Vorschriften ein. Diese Vorschriften können einzelne und spezifische Situationen sicherer gestalten. Die Auswirkungen der neuen Vorschriften auf diejenigen Fälle, in welchen alles gut läuft, können allerdings nicht beurteilt werden. Die Einschränkungen durch weitere Vorschriften können Ressourcen beschneiden, die in ganz anderen Situationen wichtig wären, um fehlerfrei, sicher und erfolgreich zu arbeiten.

Zur Klärung der Frage, ob die Functional Resonance Analysis Method (FRAM) auch zur Ereignisanalyse bei der SBB geeignet wäre, wurden einzelne vergangene Vorfälle, welche die Abfahrt von S-Bahn-Zügen betrafen, anhand des FRAM-Modells dargestellt und mit den Erkenntnissen der jeweiligen Ereignisanalyse verglichen. Die FRAM-Instanzen werden hier nicht aufgeführt, weil sie nicht Teil der Untersuchung waren. Es soll aber gesagt sein, dass anhand der FRAM-Modelle Fragen gestellt werden und Zusammenhänge untersucht werden können, die in den vorliegenden Ereignisanalysen nicht behandelt wurden. Der Einsatz der Methode für die Ereignisanalyse bei der SBB sollte unbedingt geprüft werden. Für wichtige Prozesse, wie hier den Abfahrprozess,

könnten FRAM-Modelle erstellt werden, welche bei anschliessenden Ereignisanalysen als Grundlage verwendet werden könnten.

Die Züge der SBB Personenverkehr fahren auf dem Streckennetz der SBB täglich an 300'000 Hauptsignalen vorbei. Das ergibt für das Jahr 2014, mit 40 Signalfällen an Hauptsignalen, eine Fehlerrate von 10^{-7} . Man kann sich die Frage stellen, ob diese Leistung überhaupt verbessert werden kann. Ganz sicher drängt sich aber eine Betrachtungsweise der Sicherheit auf, welche die 99.99996% aller Fälle, in welchen alles gut gegangen ist, genauso stark betrachtet, wie die 0.00004% der Fälle, in welchen ein unerwünschtes Ergebnis eingetroffen ist. Eine solche Betrachtungsweise könnte durch die Verwendung von FRAM ermöglicht werden.

6 Verzeichnisse

6.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Antonsen, S. (2009). *Safety culture: theory, method and improvement*. Farnham: Ashgate.
- Badke-Schaub, P., Hofinger, G. & Lauche, K. (2012). Human Factors. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors - Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (2. Aufl., S. 3-20). Berlin: Springer.
- Brünger, J., Grossenbacher, P., Zwahlen, P., Zimmermann, J., Gärtner, K., Wäfler, T. et al. (2012). Mensch-Maschine-Interaktion im Betrieb der SBB. *Grundlagen und Anwendungen der Mensch-Maschine-Interaktion* (Band 10, S. 524-530). Gehalten auf der Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Bundesamt für Verkehr. (2012). Schweizerische Fahrdienstvorschriften FDV. BBL, Verkauf Bundespublikationen. Zugriff am 18.3.2014. Verfügbar unter: <http://www.bav.admin.ch/grundlagen/03514/03533/03649/>
- Endsley, M.R. (2006). Situation Awareness. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (3. Aufl., S. 528-542). Hoboken, NJ: Wiley.
- EUROCONTROL. (2013). From Safety-I to Safety-II: A White Paper. Zugriff am 15.10.2013. Verfügbar unter: http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/safety/safety_whitepaper_sept_2013-web.pdf
- Fahlbruch, B., Schöbel, M. & Domeinski, J. (2008). Sicherheit. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors* (S. 19-33). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fitts, P. (1951). Engineering psychology and equipment design. In S. Stevens (Hrsg.), *Handbook of Experimental Psychology* (S. 1287-1340). New York: Wiley.
- Fröhlich, W.D. (2010). *Wörterbuch Psychologie*. München: Dt. Taschenbuch-Verl.
- Gollwitzer, P.M. (1999). Implementation intentions: strong effects of simple plans. *American Psychologist*, 54 (7), 493-503.
- Hancock, P.A., Vincenzi, D.A., Wise, J.A. & Mouloua, M. (2008). *Human Factors in Simulation and Training*. Boca Raton: CRC Press.
- Hill, R. & Hollnagel, E. (2014). Instructions for use of the FRAM Model Visualiser (FMV). Zugriff am 9.10.2014. Verfügbar unter: http://functionalresonance.com/onewebmedia/FMV_instructions_0.2.0.pdf
- Hofinger, G. (2012). Kommunikation. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors - Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (2. Aufl., S. 141-162). Berlin: Springer.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier.
- Hollnagel, E. (2011). Prologue: The Scope of Resilience Engineering (Resilience Engineering Perspectives). In E. Hollnagel, J. Pariès, D.D. Woods & J. Wreathall (Hrsg.), *Resilience Engineering in Practice* (S. XXIV-XXXIX). Farnham: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2012). *FRAM, the functional resonance analysis method: modelling*

-
- complex socio-technical systems*. Farnham, Surrey: Burlington, VT.
- Hollnagel, E. (2014a). *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*. Farnham: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2014b). Finding what goes right. Zugriff am 18.12.2014. Verfügbar unter: <http://functionalresonance.com/how-to-build-a-fram-model/finding-what-goes-right.html>
- Hollnagel, E. (2015). FRAM Model Visualiser. *THE FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD*. Zugriff am 12.2.2015. Verfügbar unter: <http://functionalresonance.com/tools-visualisation/fram-visualisation.html>
- Hollnagel, E., Hounsgaard, J. & Colligan, L. (2014). FRAM - the Functional Resonance Analysis Method - a handbook for the practical use of the method. Centre for Quality, in the Southern Region of Denmark. Zugriff am 30.11.2014. Verfügbar unter: <http://www.centerforkvalitet.dk/dwn398554>
- Leveson, N.G. (2011). Applying systems thinking to analyze and learn from events (The gift of failure: New approaches to analyzing and learning from events and near-misses - Honoring the contributions of Bernhard Wilpert). *Safety Science*, 49 (1), 55-64.
- Levkov, I., Gerber, P., Kost, M., Kaegi, M. & Pachel, J. (2013). *Gutachten zur risikoorientierten Ausrüstung Zugbeeinflussung und internationaler Vergleich Kollision infolge Signalfällen*. Bern: Emch+Berger.
- login. (2012). Zugführung. Hauptmodul 3. login Berufsbildung AG.
- Manzey, D. (2012). Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors - Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (2. Aufl., S. 333-352). Berlin: Springer.
- Oesterreich, R. (2001). Das Belastungs-Beanspruchungskonzept im Vergleich mit arbeitspsychologischen Konzepten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 55 (3), 162-178.
- Rall, M., Manser, T. & Howard, S.K. (2000). Key elements of debriefing for simulator training. *European Journal of Anaesthesiology*, 17 (8), 516-517.
- Reason, J.T. (2008). *The human contribution: unsafe acts, accidents and heroic recoveries*. Farnham: Ashgate.
- SBB. (2013a). *SBB Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht*. Bern: Schweizerische Bundesbahnen AG. Zugriff am 31.10.2014. Verfügbar unter: http://geschaeftsbericht.sbb.ch/fileadmin/user_upload/Downloads/SBB_GBNB_2013.pdf
- SBB. (2013b). *Zahlen und Fakten 2013*. Bern: Schweizerische Bundesbahnen AG. Zugriff am 31.10.2014. Verfügbar unter: http://geschaeftsbericht.sbb.ch/fileadmin/user_upload/Downloads/SBB_Zahlen-und-Fakten_2013.pdf
- SBB. (2014). Ereignisanalysen SBB Personenverkehr. Unveröffentlichtes Dokument, Bern.
- SBB Personenverkehr. (2012, Januar 7). Gestes métier Lokpersonal. Bern: SBB.
- Schmid, J., Wäfler, T. & Kolrep, H. (2013). *Arbeitsumfeld Lokpersonal*. Zürich: Safety Coaching.
- Schöbel, M. & Manzey, D. (2011). Subjective theories of organizing and learning from events (The gift of failure: New approaches to analyzing and learning from
-

-
- events and near-misses - Honoring the contributions of Bernhard Wilpert). *Safety Science*, 49 (1), 47-54.
- Stanton, N., Salmon, P., Walker, G., Baber, C. & Jenkins, D. (2005). *Human factors methods: a practical guide for engineering and design*. Farnham: Ashgate.
- Stoop, J. (2011). No Facts, No Glory (Resilience Engineering Perspectives). In E. Hollnagel, J. Pariès, D.D. Woods & J. Wreathall (Hrsg.), *Resilience Engineering in Practice* (S. 199-218). Farnham: Ashgate.
- Tomczynski, A. (2014). *Application of resilience engineering concepts to the management of airworthiness* (Unveröffentlichtes Dokument). Cranfield University.
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie* (7. Aufl.). Zürich: vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich.
- Underwood, P. & Waterson, P. (2013a). Systems thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis: A comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models. *Accident Analysis & Prevention*. Zugriff am 19.11.2013. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457513002959>
- Underwood, P. & Waterson, P. (2013b). Systemic accident analysis: Examining the gap between research and practice. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 154-164.
- Weick, K.E. & Sutcliffe, K.M. (2003). *Das Unerwartete managen: wie Unternehmen aus Extremsituationen lernen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Wittchen, H.-U. & Hoyer, J. (Hrsg.). (2006). *Klinische Psychologie & Psychotherapie* (Springer-Lehrbuch). Heidelberg: Springer.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bedienelemente Führerpult RaBe 514 DTZ.....	5
Abbildung 2: Darstellung einer Funktion in FRAM.....	15
Abbildung 3: Beispiel FRAM-Modell (Hollnagel, 2012, S. 123).....	16
Abbildung 4: Hierarchische Aufgabenanalyse der Geldentnahme aus einem Bankautomaten (Hollnagel, 2012, S. 41).....	23
Abbildung 5: beobachtete Strecken auf Streckennetz ZVV.....	27
Abbildung 6: Tour 318 Depot Zürich.....	28
Abbildung 7: Ablauf der Untersuchung	29
Abbildung 8: Fram Model Visualiser (FMV) Basisfunktionen	32
Abbildung 9: Screenshot Tool zur Bewertung der Ergebnis-Variabilität.....	34
Abbildung 10: Funktion mit Variabilität in FMV	35
Abbildung 11: Screenshot Tool zur Beschreibung tatsächlicher Variabilität.....	36
Abbildung 12: HTA Abfahrprozess Novizen	38
Abbildung 13: HTA Abfahrprozess Experten	39
Abbildung 14: FRAM-Modell Novizen	64
Abbildung 15: FRAM-Modell Experten.....	65
Abbildung 16: Prospektive Analyse Spiegelzustand	67
Abbildung 17: Prospektive Analyse Halteposition	70
Abbildung 18: Prospektive Analyse Antizipation Abfahrgeschwindigkeit.....	72

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: FRAM-Frame	16
Tabelle 2: Funktionale Kopplung zwischen vor- und nachgelagerter Funktion.....	21
Tabelle 3: Verteilung Stichprobe auf Tage und Arbeitsbeginn	28
Tabelle 4: Werte für potenzielle Ergebnis-Variabilität	34
Tabelle 5: Bewertung potenzielle Ergebnis-Variabilität	34
Tabelle 6: FRAM-Funktion Abfahrsignal prüfen	40
Tabelle 7: FRAM-Funktion Abfahrsignal abwarten.....	40
Tabelle 8: FRAM-Funktion befreien aus ZUB	41
Tabelle 9: FRAM-Funktion Bremssystem bedienen	41
Tabelle 10: FRAM-Funktion Fahren im Bahnhof.....	42
Tabelle 11: FRAM-Funktion Fahrplan prüfen.....	42
Tabelle 12: FRAM-Funktion Fahrrichtungsschalter auf Fahrt stellen	42
Tabelle 13: FRAM-Funktion Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen.....	43

Tabelle 14: FRAM-Funktion Halteposition prüfen	43
Tabelle 15: FRAM-Funktion Kundeninformation prüfen.....	43
Tabelle 16: FRAM-Funktion Mindesthaltezeit einhalten	43
Tabelle 17: FRAM-Funktion Rückspiegel beachten	44
Tabelle 18: FRAM-Funktion Spiegel ausklappen	44
Tabelle 19: FRAM-Funktion Spiegel einklappen.....	44
Tabelle 20: FRAM-Funktion Tempomat einstellen	44
Tabelle 21: FRAM-Funktion Türen freigeben	45
Tabelle 22: FRAM-Funktion Türen verriegeln	45
Tabelle 23: FRAM-Funktion Türfreigabe prüfen	45
Tabelle 24: FRAM-Funktion Vorbeifahrt an Ausfahrtsignal	45
Tabelle 25: FRAM-Funktion Novizen Abfahrgeschwindigkeit prüfen	46
Tabelle 26: FRAM-Funktion Novizen ZUB Anzeige prüfen	46
Tabelle 27: FRAM-Funktion Novizen Zugkraft einstellen	46
Tabelle 28: FRAM-Funktion Experten Abfahrgeschwindigkeit prüfen.....	47
Tabelle 29: FRAM-Funktion Experten ZUB Anzeige prüfen	47
Tabelle 30: FRAM-Funktion Experten Zugkraft einstellen.....	48
Tabelle 31: FRAM-Funktion Absicht zum Anhalten	49
Tabelle 32: FRAM-Funktion Absicht zum Weiterfahren	49
Tabelle 33: FRAM-Funktion Abstand Zugfolgen	50
Tabelle 34: FRAM-Funktion Beschleunigung Fahrzeug	51
Tabelle 35: FRAM-Funktion Bremseigenschaften	51
Tabelle 36: FRAM-Funktion Einfahrt auf Strecke	51
Tabelle 37: FRAM-Funktion Erfahrung Bahnhof	53
Tabelle 38: FRAM-Funktion Erfahrung Strecke.....	53
Tabelle 39: FRAM-Funktion Geschwindigkeitswechsel Langsamfahrstelle	54
Tabelle 40: FRAM-Funktion Einschränkung Bhf beachten	54
Tabelle 41: FRAM-Funktion Geschwindigkeitswechsel Baustelle	54
Tabelle 42: FRAM-Funktion Geschwindigkeitswechsel Abschnittsignal	54
Tabelle 43: FRAM-Funktion Geschwindigkeit der ZUB-Anzeige anpassen	55
Tabelle 44: FRAM-Funktion LEA Streckentabelle	56
Tabelle 45: FRAM-Funktion LEA Fahrordnung	56
Tabelle 46: FRAM-Funktion Normalzustand Signal	57
Tabelle 47: FRAM-Funktion Pünktlichkeit Zug	58
Tabelle 48: FRAM-Funktion Pünktlichkeit Streckennetz.....	58
Tabelle 49: FRAM-Funktion Regler Tempomat	59

Tabelle 50: FRAM-Funktion Regler Zugkraft.....	59
Tabelle 51: FRAM-Funktion Signalaufstellung.....	60
Tabelle 52: FRAM-Funktion Signalbild Abfahrtsignal	60
Tabelle 53: FRAM-Funktion Topografie Bahnhof	60
Tabelle 54: FRAM-Funktion Zuglänge	61
Tabelle 55: potenzielle Variabilität	62
Tabelle 56: Zusammengefasste Hintergrundfunktionen	63
Tabelle 57: Tatsächliche Variabilität prospektive Analyse Spiegelzustand	68
Tabelle 58: tatsächliche Variabilität prospektive Analyse Halteposition	70
Tabelle 59: tatsächliche Variabilität prospektive Analyse Antizipation Abfahrtschwindigkeit	73
Tabelle 60: Voraussetzungen von Novizen und Experten zum Gelingen des Abfahrprozesses	82

6.4 Abkürzungsverzeichnis

BAV.....	Bundesamt für Verkehr
CLP.....	Chef Lokpersonal
CREAM	cognitive reliability and error analysis method
DPZ	Doppelstock-Pendelzug
DTZ	Regio Doppelstock-Triebzug
FMV	FRAM Model Visualiser
FRAM.....	Functional Resonance Analysis Method
GM	Gestes métier - Arbeitsanweisungen für das Lokpersonal
HTA	Hierarchical Task Analysis - Hierarchische Aufgabenanalyse
LEA.....	Lokpersonal Elektronischer Assistent
SBB.....	Schweizerische Bundesbahnen
ZUB	Zugbeeinflussung
ZVL.....	Zugverkehrsleiter
ZVV	Zürcher Verkehrsverbund

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master-Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen, Hilfsmitteln und Hilfeleistungen erstellt habe und dass Zitate kenntlich gemacht sind.

12. April 2015

Simon Steiner

7 Anhang

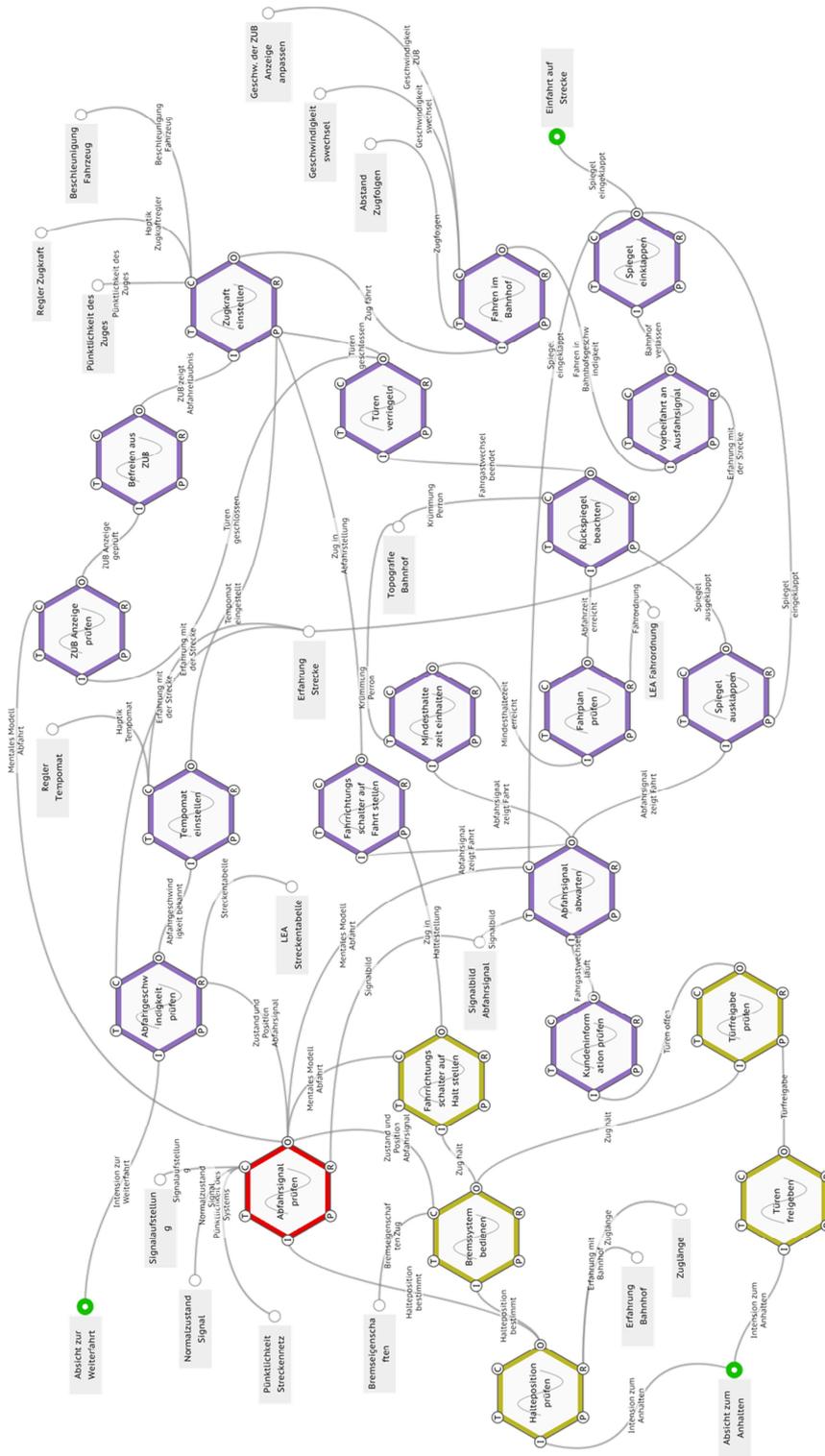
Anhang A	99
Anhang B	100
Anhang C	102

Anhang A

Potenzielle Variabilität

ID	Funktion	Quelle der Variabilität			potenzielle Output Variabilität				
		Typ	Modell	Exogen	Zeit	Präzision	Wert	Bewertung	
1	Abfahrtsignal prüfen	M	N/E	Wahrnehmung, Erfahrung	Signalaufstellung	zu spät	ungenau	6	Hoch
2	Abfahrtsignal abwarten	M	N/E	Wahrnehmung	Zeitdruck	zu früh	annehmbar	4	Mittel
3	Befreien aus ZUB	M	N/E	Vergessen		zu spät	genau	2	Niedrig
4	Bremssystem bedienen	M	N/E	Fahrzeug, Wetter, Zeitdruck,		zu spät	ungenau	6	Hoch
5	Fahren im Bahnhof	M	N/E	Wahrnehmung	Signalisation	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel
6	Fahrplan prüfen	M	N/E	Einstellung LEA		zu spät	annehmbar	4	Mittel
7	Fahrrichtungsschalter auf Fahrt stellen	M	N/E	Routine	Ergonomie	zu früh	genau	2	Niedrig
8	Fahrrichtungsschalter auf Halt stellen	M	N/E	Routine, Wahrnehmung	Ergonomie	überhaupt nicht	genau	3	Mittel
9	Halteposition prüfen	M	N/E	Erwartung	Signalisation	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel
10	Kundeninformation prüfen	M	N/E		Zeitdruck	zu spät	genau	2	Niedrig
11	Mindesthaltezeit einhalten	M	N/E		Zeitdruck	rechtzeitig	annehmbar	2	Niedrig
12	Rückspiegel beachten	M	N/E	Ablenkung		zu früh	genau	2	Niedrig
13	Spiegel ausklappen	M	N/E	Routine		zu früh	genau	2	Niedrig
14	Spiegel einklappen	M	N/E	Vergessen, Routine		überhaupt nicht	genau	3	Mittel
15	Tempomat einstellen	M	N/E	Erfahrung, Wahrnehmung	Zeitdruck, Ergonomie	zu spät	ungenau	6	Hoch
16	Türen freigeben	M	N/E	Vergessen		zu spät	genau	2	Niedrig
17	Türen verriegeln	M	N/E		Zeitdruck	zu früh	genau	2	Niedrig
18	Türfreigabe prüfen	M	N/E		Zeitdruck	zu spät	genau	2	Niedrig
19	Vorbeifahrt an Ausfahrtsignal	M	N/E	Erfahrung	Pünktlichkeit	rechtzeitig	annehmbar	2	Niedrig
20	Novize: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	M	N	Wahrnehmung	Signalisation	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel
21	Novize: ZUB Anzeige prüfen	M	N	Wahrnehmung, Erfahrung	Datenübertragung	zu spät	annehmbar	4	Mittel
22	Novize: Zugkraft einstellen	M	N	Erwartung	Zeitdruck, Ergonomie	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel
23	Experte: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	M	E	Wahrnehmung, Erfahrung	Signalisation	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel
24	Experte: ZUB Anzeige prüfen	M	E	Wahrnehmung	Datenübertragung	zu spät	annehmbar	4	Mittel
25	Experte: Zugkraft einstellen	M	E	Erwartung	Zeitdruck, Ergonomie	rechtzeitig	ungenau	3	Mittel

FRAM-Modell Experten mit Beschriftung Aspekte



Anhang C

Tatsächliche Variabilität der FRAM-Instanzen

FRAM-Instanz: Spiegelzustand												
ID	Funktion	Aspekt	aktuelle Variabilität	vorgelagerte Funktion	Dimension	Ausmass	Effekt	Auswirkung auf diese (nachgelagerte) Funktion	Bewertung	Ergebnis-Variabilität	Bemerkung	
1	Abfahrtsignal prüfen	Eingabe	9 Halteposition prüfen HF: Normalzustand	Präzision	genau							mentales Modell Abfahrt geht von Halt zeigendem und bad auf Fahrt wechselndes Abfahrtsignal aus.
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	36 Signal	Pünktlichkeit								
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	48 Streckennetz beurteilen HF: Signalbild	Präzision	annehmbar							
1	Abfahrtsignal prüfen	Ressource	42 Abfahrtsignal									
8	Fahrrichtungsschalte 8 r auf Halt stellen	Regulierug	1. Abfahrtsignal prüfen	Präzision	annehmbar							
2	Abfahrtsignal 2 abwarten	Regulierug	HF: Signalbild 42 Abfahrtsignal	Präzision	genau							
2	Abfahrtsignal 2 abwarten	Regulierug	1. Abfahrtsignal prüfen	Präzision	annehmbar							
2	Abfahrtsignal 2 abwarten	Regulierug	14 Spiegel einklappen Kundeninformation	Zeitpunkt	überhaupt nicht							
7	Fahrrichtungsschalte 7 r auf Fahrt stellen	Eingabe	10 prüfen	Präzision	genau							
7	Fahrrichtungsschalte 7 r auf Fahrt stellen	Eingabe	2 Abfahrtsignal abwarten	Zeitpunkt	zu früh							
25	Experte: Zugkraft 25 einstellen	Vorbedingung	Fahrrichtungsschalter 8 auf Halt stellen	Zeitpunkt	überhaupt nicht							
25	Experte: Zugkraft 25 einstellen	Eingabe	Zug abfahrbereit 49 machen	Präzision	genau							
25	Experte: Zugkraft 25 einstellen	Vorbedingung	Fahrrichtungsschalter 7 auf Fahrt stellen	Zeitpunkt	zu früh							

FRAM-Instanz: Halteposition

ID	Funktion	Aspekt	aktuelle Variabilität vorgelagerte Funktion			Auswirkung auf diese (nachgelagerte) Funktion		Ergebnis-Variabilität	
			ID	Funktion	Dimension	Ausmass	Effekt		Bewertung
9	Halteposition prüfen	Ausgabe							
9	Halteposition prüfen	Ressource	HF: Erfahrung 32 Bahnhof				Halteposition ist nicht signalisiert	[V↑] vergrösserte Variabilität	Halteposition zu früh gewählt
9	Halteposition prüfen	Ressource	Novize: Zuglänge 45 beurteilen	Präzision	ungenau		Zuglänge zu kurz eingeschätzt	[V↑] vergrösserte Variabilität	
16	Türen freigeben	Ausgabe							Türen werden auf richtigen Seite vor dem Anhalten freigegeben
4	Bremssystem bedienen	Ausgabe							Zug wird zu früh angehalten
4	Bremssystem bedienen	Regulierung	HF: 30 Bremsseigenschaften				Bremseigenschaften normal	[V↔] unveränderte Variabilität	
18	Türfreigabe prüfen	Ausgabe							Türen sind offen
18	Türfreigabe prüfen	Vorbedingung	16 Türen freigeben	Zeitpunkt	rechtzeitig		Türfreigabe normal	[V↔] unveränderte Variabilität	

FRAM-Instanz: vorzeitiges Festlegen Abfahrgeschwindigkeit

ID	Funktion	Aspekt	aktuelle Variabilität	vorgelegerte Funktion	Dimension	Ausmass	Effekt	Auswirkung auf diese (nachgelagerte) Funktion	Bewertung	Ergebnis-Variabilität	Bemerkung
1	Abfahrtsignal prüfen	Ausgabe									falschen Abfahrtsbefehl antizipiert
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	Experte: Pünktlichkeit	46 beurteilen	Präzision	ungenau	Situation wird falsch eingeschätzt.	[V↑] vergrösserte Variabilität			
1	Abfahrtsignal prüfen	Regulierug	HF: Normalzustand	36 Signal			in normalen Situationen zeigt das Signal Fahrbefehl XY	[V↑] vergrösserte Variabilität			
1	Abfahrtsignal prüfen	Ressource	HF: Signalbild	42 Abfahrtsignal			Signal zeigt Halt. Dies entspricht der erwarteten Situation	[V↔] unveränderte Variabilität			falsche Abfahrgeschwindigkeit antizipiert
23	Experte: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	Ausgabe									
23	Experte: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	Regulierug	HF: Erfahrung	33 Strecke			Anhand der Erfahrung wird Fahrbefehl angenommen	[V↑] vergrösserte Variabilität			
23	Experte: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	Ressource	HF: LEA	35 Streckentabelle	Präzision	ungenau	Ausfahrgeschwindigkeit entspricht der Erwartung	[V↔] unveränderte Variabilität			
23	Experte: Abfahrgeschwindigkeit prüfen	Ressource		1 Abfahrtsignal prüfen			Die Antizipation des falschen Fahrbefehls ist identisch mit dem Erfahrungswert	[V↑] vergrösserte Variabilität			
15	Tempomat einstellen	Ausgabe									Tempomat korrekt auf falsche Annahmen eingestellt
15	Tempomat einstellen	Regulierug	HF: Erfahrung	33 Strecke			auf der vorausliegenden Strecke bleibt die Geschwindigkeit normalerweise gleich	[V↑] vergrösserte Variabilität			
15	Tempomat einstellen	Eingabe	Experte: Abfahrgeschwindigkeit	23 it prüfen	Präzision	ungenau	falsche Annahme der Abfahrgeschwindigkeit wird übernommen	[V↑] vergrösserte Variabilität			Zug wird auf zu hohe Geschwindigkeit beschleunigt
25	Experte: Zugkraft einstellen	Ausgabe									
25	Experte: Zugkraft einstellen	Eingabe	Abfahrtsprozess	47 durchführen	Präzision	genau	Alles korrekt durchgeführt. Kein dämpfen der Variabilität.	[V↔] unveränderte Variabilität			
25	Experte: Zugkraft einstellen	Vorbedingung		15 Tempomat einstellen	Präzision	ungenau	Zug beschleunigt bis zu eingestellter V-Soll	[V↑] vergrösserte Variabilität			