
Werkzeug zur Formalisierung von betrieblich- technischen Regelwerken der Eisenbahnen

Method for the formalisation of operational-technical rules and regulations of the railways

vom Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Dissertation von Dipl.-Ing. Sebastian Andreas Schön aus Wiesbaden

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Andreas Oetting

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Reiner Hähnle

Darmstadt 2020



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Schön, Sebastian Andreas:

Werkzeug zur Formalisierung von betrieblich-technischen Regelwerken der Eisenbahnen

Method for the formalisation of operational-technical rules and regulations of the railways

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt,

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUprints: 2021

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juni 2020

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/>

Kurzfassung

Das System Bahn ist über mehr als ein Jahrhundert in Bezug auf technische Ausprägung und betriebliche Abwicklung gewachsen. Für die Erstellung der technischen Ausstattung und die Abwicklung des Betriebs sind zahlreiche Regelwerke erforderlich. Regelwerke der Eisenbahn sind immer umfangreicher geworden. Der Umgang mit ihnen wird dadurch wesentlich anspruchsvoller – sowohl für Nutzer als auch Ersteller.

Die Erstellung dieser Regelwerke ist derzeit Handarbeit, getrieben von Expertenwissen und teilweise gebunden an Einzelpersonen. Trotz ständiger Pflege durch Aktualisierungen können die sprachlich festgehaltenen Vorgaben Widersprüche enthalten, vom Nutzer widersprüchlich ausgelegt werden oder unvollständig sein.

Eine automatisierte Kontrolle von Regelwerken auf Widersprüche und Vollständigkeit existiert nicht. Eine automatisierte Kontrolle ist nur möglich, wenn die zugrunde liegenden Regelwerke für das System in modellierter Form vorliegen. Automatisch in eine modellierte Form übertragbare, betriebliche Regelwerke gibt es bisher nicht.

Die modellierte Form von betrieblichen Regelwerken kann auch als Grundlage für die Simulation des im Regelwerk beschriebenen Betriebs dienen. Dem Ersteller von Regelwerken für den Betrieb ist über eine Simulation des Betriebs bereits bei der Erstellung möglich, Fehler in den Betriebsprozessen aufzuzeigen. Die Simulation des Betriebs muss auf modellierte betriebliche Regeln zurückgreifen.

Mit der formalen Modellierung der Betriebsregeln kann nicht nur der Ersteller unterstützt werden. Betriebspersonale können die gepflegten Querbezüge eines formalen Modells nutzen, um alle Informationen zu erhalten, die notwendig sind, um eine Betriebssituation mit erhöhter Handlungssicherheit abzarbeiten.

Diese Unterstützung zur Erhöhung der Handlungssicherheit ist voraussichtlich vor allem bei der Abarbeitung von selten auftretenden Betriebssituationen hilfreich. Die Auswertung von Unfallberichten zeigt, dass menschliche Fehler bei der Anwendung von Betriebsregeln zu gefährlichen Ereignissen führen können. Diese Fehler sind besonders risikobehaftet bei der Anwendung von Betriebsregeln zur Aufrechterhaltung des Betriebs bei Abweichungen vom Regelbetrieb, bei denen der Mensch Teile der Sicherungsfunktion der Sicherungstechnik übernimmt.

Eine algorithmische Übertragung von Regelwerken in eine formal modellierte Form und auf dieser modellierten Form aufbauende Softwarewerkzeuge sind daher von hoher Relevanz. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Abbildung von Regelwerksinhalten in eine formal modellierte Form als „formale Modellierung“ bezeichnet.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren/Regeln zu entwickeln. Dieses Werkzeug besteht aus der Beschreibung der Prozessschritte der formalen Modellierung sowie aus den Grundbausteinen des formalen Modells zur Beschreibung von Betriebsverfahren und Regeln der Leit- und Sicherungstechnik in Form von Akteuren und Kommunikationsprozessen.

Für die Erfassung der vorhandenen Beschreibungsmittel zur formalen Modellierung werden eine Literaturlauswertung und eine Expertenbefragung in Form einer Fachinterviewreihe durchgeführt. Aus der Analyse der Literatur sowie aus der Expertenbefragung ergeben sich Anforderungen an das zu erstellende Werkzeug, die in einem Anforderungskatalog gesammelt dargestellt sind.

Die Methoden zur Modellierung müssen gegen den aufgestellten Anforderungskatalog auf ihre Einsetzbarkeit über eine vergleichende Bewertung geprüft werden. Im nächsten Schritt muss die Richtlinie ausgewählt werden, an welcher die Anwendbarkeit der ausgewählten Methode zur Modellierung überprüft wird. Um eine möglichst relevante Richtlinie für die formale Modellierung auszuwählen, wurden Unfallberichte der deutschen und schweizerischen Bahnen systematisch auf die Unfallursache hin untersucht und die Ereignisse in vier Cluster eingeteilt. Der größte Nutzen für das System Bahn ist zu erwarten, wenn die ausgewählte Richtlinie eine Anwendung für den Nutzer ermöglicht, die eine Verringerung des Auftretens der häufigsten Unfallursachen erwarten lässt.

Die denkbaren Anwendungen für den Nutzer, die sich aus der Expertenbefragung und einer strukturierten Analyse zu den möglichen Einsatzzwecken ergaben, werden in einem Katalog gesammelt. In diesem Katalog sind die Use Cases der denkbaren Anwendungen beschrieben. Über eine vergleichende Bewertung wird ein geeigneter Anwendungsfall für die ausgewählte Richtlinie selektiert. Unterschiedliche externe Einflüsse, wie die Anforderungen der zukünftigen Nutzer und die Herausforderungen bei der Erstellung einer Anwendung, die auf dem erstellten Werkzeug zur Modellierung basiert, werden bei der Auswahl ebenfalls berücksichtigt.

Um das Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln zu erstellen, werden im Hauptteil der Arbeit Modellierungsregeln beschrieben und Spezifikationen für Schnittstellen und Funktionen dokumentiert.

Dieses Werkzeug besteht aus der Beschreibung der Prozessschritte der formalen Modellierung und der Beschreibung der Modellierungsregeln für Grundbausteine des formalen Modells. Die Grundbausteine werden in Akteure und Informationsflüsse durch Kommunikation unterschieden. Aus den modellierten Akteuren und der aus den Betriebsverfahren hergeleiteten Kommunikation ergeben sich notwendige Schnittstellen mit anderen Akteuren und Funktionen der Akteure zur Durchführung der zu modellierenden Betriebsverfahren und Regeln.

Bisher gab es keinen Ansatz zur Überführung von Regelwerksinhalten betrieblicher Regelwerke in eine formale Modellierung und somit maschinenlesbare Form. Die betrieblichen Regelwerke sind Grundstein für den Betrieb des Systems Bahn. Das entwickelte Werkzeug ist mit seinen abstrakt modellierten Akteuren und Kommunikationen einsetzbar zur formalen Modellierung von

Betriebsprozessen und Regelwerken aus betrieblich-technischen Regelwerken der Eisenbahnen. Bei der Erstellung des Werkzeuges zeigte sich, dass die Betriebsprozesse der Richtlinie 408 auf wenige abstrakte Grundarten der Kommunikation zurückführbar sind, einige Spezialfälle wie der Betrieb von anzeigegeführten Zügen werden jedoch ausgespart.

Im Rahmen dieser Arbeit wird mit der Spezifizierung der Akteure, der Kommunikationsschnittstellen, der abstrakt klassifizierten Kommunikationsarten und der Funktionen der Akteure die Grundlage für eine ausführbare formale Modellierung für Anwendungsfälle im Eisenbahnbetrieb gelegt.



Abstract

The railway system has been developed and extended in the course of over a century in terms of both technical characteristics and operational handling. Numerous sets of railway regulations govern the creation of technical equipment and the operational handling. These regulations have become more and more extensive, as a result, dealing with them has become much more demanding - both for the users and creators.

Currently, the above discussed regulations are created and maintained manually, driven by expert knowledge and partially bound to individuals. Despite constant maintenance through updates, natural language specifications can contain contradictions, be interpreted contradictorily by the user or may be incomplete.

Automated check of rules and regulations for contradictions and completeness is not possible at the moment. An automated check is only possible if the underlying rules and regulations for the system are available in a formally modelled form. However, operational rules and regulations that can be automatically transferred into a modelled form do not yet exist.

The modelled form of operational regulations can also serve as a basis for simulating the operational procedures described in the regulations. The creator of the operating rules and regulations is able to identify errors in the operating processes by simulating the operations during the creation. The simulation of the operations must rely on the modelled operational rules.

The formal modelling of the operational rules not only provides a support framework for the creator, but also for the operational staff, who can use the maintained cross-references of a formal model to obtain all information necessary to process an operational situation with increased confidence of action.

A supporting framework for increasing the confidence of action might be particularly important when dealing with operational situations that occur infrequently. The evaluation of accident reports shows that human errors in the application of operating rules can lead to dangerous events. These errors are especially risky in the application of operating rules to maintain the operations during deviations from the regular operations and where humans take over parts of the safety function from the safety technology. An algorithmic transfer of sets of rules into a formally modelled form and software tools based on this modelled form are therefore highly relevant.

The aim of this work is to develop a tool for the formal modelling of operational procedures/rules recorded in operational-technical rules and regulations. The sought tool consists of a description of the process steps of formal modelling as well as the basic building blocks of the formal model for the description of operating procedures and rules of the railway control and safety technology in the form of actors and communication processes.

A literature review and a survey of experts in the form of a series of specialist interviews are carried out to record the existing means of formal modelling. The analysis of the literature as well as the

expert survey permit to derive the requirements for the tool to be created, which are collected in a catalogue of requirements.

The methods for formal modelling must be contrasted against the established catalogue of requirements for their applicability via a comparative evaluation. The next step is to select the operational-technical regulation against which the applicability of the selected modelling method will be tested. In order to select a the most relevant operational-technical regulation for formal modelling, accident reports from recent years on German and Swiss railways were systematically examined for the cause of the accident and the events were divided into four clusters. The greatest benefit for the railway system can be expected when the selected operational-technical regulation enables an application for the user that counteracts the most frequent causes of accidents.

Possible applications for the user that emerged from the expert survey and a structured analysis of the possible uses are collected in a catalogue. The use-cases of the conceivable applications are described in this catalogue. A comparative evaluation is used to select a suitable use-case for the selected operational-technical regulation. Different external influences, such as the requirements of future users and the challenges of creating an application based on the created modelling tool, are also taken into account during the selection process.

In order to create the tool supporting the formal modelling of operational procedures and rules laid down in operational-technical regulations, modelling rules are described and specifications for interfaces and functions are documented in the main part of the thesis.

The developed tool consists of the description of the process steps of formal modelling and a description of the modelling rules for the basic building blocks of the formal model. The basic building blocks are differentiated into actors and information flows through communication. From the modelled actors and the information flow through communication derived from the operational procedures, necessary interfaces with other actors and functions of the actors result in the implementation of the operational procedures and rules to be modelled.

Prior to this work, there has been no approach to transfer the contents of operational rules and regulations into a formal modelling and, thus, into a machine-readable form. The operational rules and regulations are the cornerstone for the operation of the railway system. The developed tool with its abstractly modelled actors and communications can be used for the formal modelling of both operational processes and sets of rules from operational-technical sets of rules. During the development of the tool, it became apparent that the operational processes of regulation 408 can be traced back to a few abstract basic types of communication; however, some special cases such as the operation of indicator-guided trains are omitted.

Within the scope of this work, the specification of the actors, the communication interfaces, the abstractly classified communication types and the functions of the actors lays the foundation for an executable formal modelling for use cases in railway operations.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	AUSGANGSSITUATION	1
1.2	MOTIVATION	3
1.3	FORMULIERUNG DER ZIELE	4
1.4	AUFBAU DER ARBEIT	5
2	STAND DER FORSCHUNG	7
2.1	EINLEITUNG.....	7
2.2	LITERATUR ZU MASCHINENLESBARKEIT	8
2.3	SAMMLUNG DER BESCHREIBUNGSMITTEL FÜR EINE FORMALE MODELLIERUNG	10
2.3.1	<i>Einsatz von formaler Modellierung im Bahnsektor</i>	<i>10</i>
2.3.2	<i>Einsatz in anderen Industriebereichen und bei weiteren Verkehrsträgern.....</i>	<i>13</i>
2.3.3	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>18</i>
2.4	VORGEHENSMODELLE FÜR DIE ENTWICKLUNG FORMALER MODELLIERUNGEN	18
2.4.1	<i>Lineare Vorgehensmodelle</i>	<i>19</i>
2.4.2	<i>Nicht lineare Vorgehensmodelle</i>	<i>20</i>
2.4.3	<i>Prozessmodelle</i>	<i>23</i>
2.4.4	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>25</i>
3	BESCHREIBUNG DER FACHINTERVIEWREIHE.....	26
3.1	EINLEITUNG.....	26
3.2	INHALTE DER FACHINTERVIEWREIHE	27
3.3	ERGEBNISSE DER FACHINTERVIEWREIHE	30
3.4	ZUSAMMENFASSUNG.....	31
4	PROBLEMSTELLUNG.....	32
4.1	AUFGABENSTELLUNG	32
4.2	ANFORDERUNGEN AN DAS WERKZEUG ZUR FORMALEN MODELLIERUNG	33
4.3	METHODE	39
4.4	VORGEHENSWEISE.....	41
4.5	INHALTLICHE ABGRENZUNG	44
4.6	ZUSAMMENFASSUNG.....	45
5	AUSWAHL ANWENDUNGSFALL UND RICHTLINIE	46
5.1	EINLEITUNG.....	46
5.2	AUSWAHL DER ART DER RICHTLINIE	46
5.3	BESCHREIBUNG UND AUSWAHL DER ANWENDUNGSFÄLLE	49
6	AUSWAHL BESCHREIBUNGSMITTEL.....	58
6.1	EINLEITUNG.....	58
6.2	AUSWAHL PER VERGLEICHENDER BEWERTUNG	58
7	PROZESS ZUR ERSTELLUNG DER FORMALEN MODELLIERUNG	69
7.1	EINLEITUNG.....	69
7.2	PROZESSBESCHREIBUNG	69

8	GRUNDBAUSTEINE DER FORMALEN MODELLIERUNG	74
8.1	EINLEITUNG	74
8.2	AKTEUR ZUG.....	74
8.3	AKTEURE DER INFRASTRUKTURSEITE	76
8.3.1	<i>Einleitung</i>	76
8.3.2	<i>Zusätzliche Punkte der Informationsübertragung</i>	79
8.3.3	<i>Zusammenfassung</i>	82
8.4	KOMMUNIKATION	83
9	MODELLIERUNGSPRINZIPIEN FÜR BETRIEBSPROZESSE	85
9.1	EINLEITUNG	85
9.2	AKTEURE	85
9.3	GRUNDLEGENDE BETRIEBLICHE PROZESSE.....	87
9.4	ZU DEN GRUNDLEGENDEN PROZESSEN ZUGEHÖRIGE AKTEURE	90
9.5	INFORMATIONSFÜSSE DURCH KOMMUNIKATION	91
9.6	ZUSAMMENFASSUNG ZU LOGISCHEN GRUPPEN.....	94
9.7	ARTEN DER KOMMUNIKATION MIT DEN LOGISCHEN GRUPPEN	96
9.7.1	<i>Erstes Inkrement</i>	96
9.7.2	<i>Zweites Inkrement</i>	100
9.7.3	<i>Drittes Inkrement:</i>	105
9.7.4	<i>Zusammenfassung der Arten der Kommunikation</i>	106
9.7.5	<i>Zeitliche Einordnung der Kommunikation unabhängig von der Infrastruktur</i>	107
9.8	ZUSAMMENFASSUNG	111
10	SCHNITTSTELLEN UND FUNKTIONEN DER AKTEURE.....	112
10.1	EINLEITUNG	112
10.2	SCHNITTSTELLEN UND FUNKTIONEN DER AKTEURE DES ZUGS.....	112
10.3	SCHNITTSTELLEN UND FUNKTIONEN DER AKTEURE DER INFRASTRUKTURSEITE.....	115
10.3.1	<i>Akteure an der Infrastruktur</i>	115
10.3.2	<i>Akteure im Stellwerk</i>	122
10.4	SCHNITTSTELLEN UND FUNKTIONEN DER LOGISCHEN GRUPPEN.....	122
10.5	ZUSAMMENFASSUNG	124
11	ANWENDUNGSBEISPIEL	125
11.1	EINLEITUNG	125
11.2	AUSWAHL DER RICHTLINIE FÜR DAS ANWENDUNGSBEISPIEL	125
11.3	AUSWAHL DER ZU FORMALISIERENDEN INHALTE	128
11.4	DURCHFÜHRUNG DER FORMALEN MODELLIERUNG DURCH ANWENDUNG DES WERKZEUGES.....	131
11.5	BEISPIELHAFT FORMAL MODELLIERUNG ALS AUSFÜHRBARES MODELL.....	133
11.6	ZUSAMMENFASSUNG	133
12	ABSCHLUSS.....	134
	LITERATURVERZEICHNIS.....	137
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	142
	TABELLENVERZEICHNIS	143
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	144

ANLAGENVERZEICHNIS	I
ANLAGE 1: FRAGEBOGEN ZUR FACHINTERVIEWREIHE	II
PHASE 1: REGELWERKSENTWURF	II
PHASE 2: REALISIERUNG UND GENEHMIGUNG	IV
PHASE 3: ANWENDUNG.....	VI
PHASENÜBERGREIFENDE FRAGEN	VII
ANLAGE 2: AUSWERTUNG UNFALLBERICHTE.....	VIII
ANLAGE 3: BEWERTUNG ANWENDUNGSFÄLLE	CCXLI



1 Einleitung

Regelwerke der Eisenbahn sind in ihrer Historie immer umfangreicher geworden. Der Umgang mit ihnen wird dadurch wesentlich anspruchsvoller – sowohl für Anwender als auch Ersteller. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Werkzeug entwickelt, um für diesen Bereich eine Optimierung zu erzielen. Kapitel 1 beschreibt zunächst kurz die Ausgangssituation und Herausforderungen zur Erreichung eines verbesserten Zielzustands für Anwender sowie Ersteller und schließt am Ende mit einer Zusammenfassung zur Gliederung der vorliegenden Arbeit.

1.1 Ausgangssituation

Das System Bahn ist über mehr als ein Jahrhundert in Bezug auf technische Ausprägung und betriebliche Abwicklung gewachsen. Für die Erstellung der technischen Ausstattung und die Abwicklung des Betriebs sind zahlreiche Regelwerke erforderlich. Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern ist das System Bahn stärker reglementiert.

Zahlreiche Regelwerke mit betrieblichen Regeln sowie Planungs-, Bau- und Instandhaltungsvorschriften – zum Teil mit Sicherheitsrelevanz – sind einzuhalten. Darüber hinaus gibt es weitere rechtlich bindende Verordnungen und Gesetze. Für den Betrieb und die Ausbildung der Betriebspersonale existieren spezielle Regelwerke. Die einzuhaltenden Vorschriften sind verteilt über verschiedene Regelwerke.

So sind z. B. beim Betrieb eines Bahnübergangs die Sicherung des Bahnübergangs bei Abweichungen in der Richtlinie 408 beschrieben, die Bedienvorschrift der Anlage enthält Bedienhinweise für das Betriebspersonal, der Aufbau der technischen Sicherung und die notwendigen Abstände von Achszählern sind in der Richtlinie 819 und weitere Hinweise für die Planung im Projekthandbuch festgehalten. Für die Instandhaltung gilt Richtlinie 892.

Die Erstellung dieser Regelwerke ist derzeit Handarbeit, getrieben von Expertenwissen und teilweise gebunden an Einzelpersonen. Über Jahrzehnte werden immer komplexere Vorschriften und Anweisungen gesammelt. Dies ist nicht nur in Deutschland der Fall, wie ein Vergleich mit den betrieblichen Regelwerken aus der Schweiz, dem Vereinigten Königreich, den Vereinigten Staaten von Amerika und Frankreich zeigte.

Trotz ständiger Pflege durch Aktualisierungen können die sprachlich festgehaltenen Vorgaben Widersprüche enthalten oder vom Nutzer widersprüchlich ausgelegt werden. Die Aktualisierung von Regelwerken ist aufwendig und derzeit rein durch Experten so weit wie möglich abgesichert.

Eine automatisierte Kontrolle von Regelwerken auf Safety-Eigenschaften sowie Über- und Unterspezifizierung existiert nicht, nur eine testfallbasierte Kontrolle, z. B. gegen die Spezifikationen bei Stellwerksplanungen, wobei eine vollständige Abdeckung nicht garantiert ist.

Eine automatisierte Kontrolle ist nur möglich, wenn die zugrunde liegenden Regelwerke für das System in modellierter Form vorliegen. Automatisch in eine modellierte Form übertragbare, betriebliche Regelwerke gibt es bisher nicht. In Deutschland existieren lediglich erste Versuche für

automatisch in eine formal modellierte Form übertragbare Planungsvorschriften im Projekt PlanPro der DB Netz (Gerke et al. 2012). Somit müssen die in den Regelwerken festgehaltenen Regeln in eine maschinenlesbare Form übersetzt werden. Diese neue Form kann anschließend für automatische Kontrollen dienen.

Auch Simulationsmöglichkeiten sind vor allem für betriebliche Abläufe im Störfall kaum vorhanden, bestehende Ansätze konzentrieren sich beispielsweise auf Simulationen des Regelbetriebes für Untersuchungen der Kapazität, der Fahrplan- oder Betriebsqualität. Diese betrieblichen Abläufe variieren je nach eingesetzter (Zug-)Sicherungstechnik und der zugrunde liegenden betrieblichen Situation.

Zusätzlich zu den bereits genannten Vorteilen einer formal modellierten Form von Regelwerken ergeben sich weitere Nutzen. Eine algorithmische Übertragung von Regelwerken in eine formal modellierte Form und auf dieser modellierten Form aufbauende Softwarewerkzeuge sind daher von hoher Relevanz. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Abbildung von Regelwerksinhalten in eine formal modellierte Form als „formale Modellierung“ bezeichnet.

Einige betriebliche Abläufe zur Aufrechterhaltung des Betriebs im Störfall laufen automatisiert ab. Andere Situationen wiederum verlangen intensive Mitarbeit mehrerer Betriebspersonale, die Übernahme von Sicherungsfunktionen der Stellwerkstechnik durch den Menschen und die Dokumentation von Aufträgen in Papierform. Eine formale Modellierung der in den Regelwerken festgehaltenen Regeln und Abläufe ist Voraussetzung, um in Zukunft immer mehr Situationen automatisiert abarbeiten zu können.

Das System Bahn führt in nächster Zeit viele neue Technologien wie z. B. das European Train Control System (kurz: ETCS) ein, u. a. um wettbewerbsfähig zu bleiben. Für diese Technologien werden neue Regelwerke entstehen und neue Betriebsverfahren möglich, für die ebenfalls eine Vielzahl neuer Regeln nötig sind.

Der Einsatz neuer Technologien wird zu vorab nicht vorausgesehenen Ereignissen (Gefahren/Unfälle) führen. Aus diesen Ereignissen werden geänderte Anforderungen hervorgehen, die über Aktualisierungen in die Regelwerke einzupflegen sind. Die regelmäßigen Ergänzungen des vorhandenen Regelwerks ohne eine generische neue Beschreibung der eigentlichen Ziele der Betriebsregeln führen zu einem immer umfangreicheren Regelwerk.

Jedoch lassen sich Aktualisierungen in den Regelwerken nicht von heute auf morgen realisieren. Die Überarbeitung der Regelwerke und die Abstimmung der Autoren mit allen von der Aktualisierung Betroffenen sowie für die Rezertifizierung durch alle Beteiligten benötigt Zeit. Die Abhängigkeiten zu anderen Regelwerken und die Liste der von der Aktualisierung Betroffenen ist von den Autoren selbst zu pflegen.

Die Nutzer eines Regelwerks (zum Beispiel Fahrdienstleiter oder Instandhaltungspersonale) haben bislang keine Möglichkeit, diese Abhängigkeiten leicht zu finden. Ein technisches Problem hierfür ist, dass die Regelwerke in gedruckter Form oder als PDF verteilt werden, beide Lösungen ermöglichen nur Kapitelbezüge zu pflegen. Neue technische Ausstattungen wie Laptop, Tablet oder Smartphone bieten Plattformen für neue, übersichtlich strukturierte Zugangsmöglichkeiten zu den Regelwerksinhalten mit gepflegten Querbezügen zu anderen Dokumenten.

Ebenso kann es durch die Verteilung von Definitionen, Grenzwerten und Informationen auf verschiedene Regelwerke dazu kommen, dass Überspezifizierungen entstehen, die durch ggf. unterschiedliche Definitionen in unterschiedlichen Regelwerken ggf. zu widersprüchlichen Aussagen für die Nutzer führen können. Im Gegenzug können beispielsweise gestrichene Regelwerksinhalte in einem Regelwerk bewirken, dass Unterspezifizierungen in anderen Regelwerken entstehen.

An der Erstellung, Pflege und dem Einsatz eines Regelwerks sind verschiedene Stakeholder beteiligt. Vom Regelwerksautor über den Nutzer bis hin zu den Genehmigungsbehörden und Herstellern technischer Anlagen. Die verschiedenen Stakeholder benutzen zum Teil ihre eigenen Definitionen für dieselben Objekte, angepasst auf den Zweck des Regelwerks. Der Austausch untereinander wird hierdurch erschwert.

1.2 Motivation

Maschinenlesbare Regelwerke mit gepflegten Querbezügen steuern den Problemen der Über- und Unterspezifizierungen sowie dem Problem der Zugänglichkeit für den Nutzer gegen. So kann der Nutzer beispielsweise während einer Situation im Betrieb über die gepflegten Querbezüge schnell Abhängigkeiten zu anderen Regelwerken finden und mit größerer Handlungssicherheit die korrekte Abarbeitung einer betrieblichen Situation angehen. Über die regelwerksübergreifend gleichen Definitionen ist die Verständlichkeit der Inhalte für alle Stakeholder sichergestellt. Das betrifft alle Arten von Regelwerken der Eisenbahnen, sowohl Regelwerke für die Planung als auch für den Betrieb.

Für alle Arten von Regelwerken der Eisenbahnen kann zusätzlich mit einer formalen Modellierung eine automatische Kontrolle auf Fehlerfreiheit während und am Ende eines Entwicklungsprozesses der Regelwerke ermöglicht werden. Dies ließe sich insbesondere durch die Nutzung von Simulationen während der Entwicklung zur frühzeitigen Fehlerrückmeldung unterstützen.

Der Ersteller von Regelwerken für die Planung von Eisenbahnen kann über eine Simulation des Betriebes Fehler in den Planungsvorschriften aufdecken, die sonst erst im Realbetrieb erkannt werden würden. Dem Ersteller von Regelwerken für den Betrieb ist über eine Simulation des Betriebs bereits bei der Erstellung möglich, Fehler in den Betriebsprozessen aufzuzeigen. Die Simulation des Betriebs muss auf modellierte betriebliche Regeln zurückgreifen.

Die formale Modellierung der betrieblichen Regeln muss vorab erstellt werden. Die Erstellung eines formalen Modells für alle betrieblichen Regeln eines Regelwerks ist aufwendig, eine möglichst abstrakte Formulierung der Betriebsregeln erhöht die Wiederverwendbarkeit des erstellten Modells für andere Betriebsverfahren.

Mit der formalen Modellierung der Betriebsregeln kann nicht nur der Ersteller unterstützt werden. Betriebspersonale können die gepflegten Querbezüge eines formalen Modells nutzen, um alle Informationen zu erhalten, die notwendig sind, um die Betriebssituation mit erhöhter Handlungssicherheit abzuarbeiten.

Diese Handlungssicherheit ist vor allem bei der Abarbeitung von selten auftretenden Betriebssituationen notwendig. Bei oft auftretenden Situationen ist die Handlungssicherheit durch Wiederholung bereits höher. Vor allem bei Abweichungen vom Regelbetrieb, die zwar Tagesgeschäft sind, aber sich nicht jeden Tag gleichen, kann das Betriebspersonal weiter unterstützt werden.

Die Auswertung von Unfallberichten zeigt, dass menschliche Fehler bei der Anwendung von Betriebsregeln zu gefährlichen Ereignissen führen können. Diese Fehler sind besonders risikobehaftet bei der Anwendung von Betriebsregeln zur Aufrechterhaltung des Betriebs bei Abweichungen vom Regelbetrieb, bei denen der Mensch Teile der Sicherungsfunktion der Sicherungstechnik übernimmt.

Mit einer erstellten und nachgewiesenen formalen Modellierung für Betriebsverfahren kann ein Handlungsleitfaden für die Abarbeitung einer betrieblichen Situation erstellt werden. Über die gepflegten Querbezüge und modellierten Regeln bekommt das Betriebspersonal nur die Inhalte aus den Regelwerken präsentiert, die für die gegenwärtige Situation wichtig sind. Ein Beispiel wäre hier die Sicherung eines Bahnüberganges, für welche der Triebfahrzeugführer die betrieblichen Regeln aus der Fahrdienstvorschrift Richtlinie 408 und zusätzlich die Bedienregeln für die Hilfseinschaltung eines Bahnübergangs aus der Bedienvorschrift zusammen präsentiert bekommt, ohne dass er in verschiedenen Regelwerken blättern muss.

Eine solche formale Modellierung kann auch Grundlage für die Automatisierung des Eisenbahnbetriebs sein. So könnte ein System für Automatic Train Operation (kurz: ATO) bei Abweichungen vom Regelbetrieb nur die betrieblich relevanten Informationen und Handlungsanweisungen zur Aufrechterhaltung des Betriebes übermittelt bekommen oder in einem Bordsystem selbst vorhalten.

1.3 Formulierung der Ziele

Formale Modelle können leicht verändert, in digitaler Form untereinander ausgetauscht, sehr einfach versioniert sowie mit Automatismen zur Aufdeckung von Abhängigkeiten und Unstimmigkeiten hinterlegt werden. Diese Automatismen sind Teil einer formalen Verifikation. Unter anderem sind so Unter- und Überspezifizierungen aufdeck- und vermeidbar.

Regelwerke, die über formale Modelle abgebildet werden, bieten für den Nutzer vollständig neue, übersichtlich strukturierte Zugangsmöglichkeiten zu Informationen und Abhängigkeiten. Die Regelwerke in ihrer derzeitigen natürlichsprachlichen Form leisten dies nicht. Der Endnutzer würde mit formalen Modellen nur noch das sehen, was ihn in der betrieblichen Situation interessiert oder was für seine aktuelle Infrastrukturplanung relevant ist.

Ziel der Eisenbahnen ist die Durchführung von Eisenbahnbetrieb. Hierfür sammeln die Eisenbahnen Regeln und die Beschreibung von Betriebsprozessen in sogenannten betrieblich-technischen Regelwerken. Grundlage für die Überprüfung aller betrieblich-technischen Regelwerke der Eisenbahnen ist die Klärung, ob Eisenbahnbetrieb uneingeschränkt möglich ist mit den in den Regelwerken getroffenen Regeln und Betriebsprozessen.

Hierzu dienen Simulationen. Für die Simulation müssen die Betriebsverfahren und Regeln modelliert werden. Diese Modellierung sollte für möglichst viele betrieblich-technische Regelwerke einheitlich sein, um die Wiederverwendbarkeit zu erhöhen. Die Modellierung sollte nicht speziell, sondern abstrakt sein.

Im Rahmen dieser Arbeit muss ein Werkzeug entwickelt werden zur möglichst einheitlichen und abstrakten formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren/Regeln. Im Weiteren wird der Begriff „Regelwerk“ synonym für den Begriff „betrieblich-technisches Regelwerk“ verwendet.

1.4 Aufbau der Arbeit

Das Literaturkapitel (Kapitel 2) dieser Arbeit behandelt drei große Themenfelder: Literatur zu Maschinenlesbarkeit, die Literaturarbeit zum Stand der Forschung über und den Einsatz von formaler Modellierung im Eisenbahnwesen sowie die Recherche zu Vorgehensmodellen bei der formalen Modellierung.

In Kapitel 3 wird die im Rahmen dieser Arbeit mit der DB Netz AG durchgeführte Fachinterviewreihe zum Einsatz formaler Modellierung im Eisenbahnwesen beschrieben.

Aus der Analyse des Stands der Forschung ergibt sich eine Forschungslücke und eine Aufgabenstellung zur Schließung eines Teils dieser Forschungslücke die beide in Kapitel 4 dargestellt sind. Aus der Aufgabenstellung, den Ergebnissen der Literaturarbeit zum Stand der Anwendung von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn und der Fachinterviewreihe kann ein Katalog von Anforderungen an das zu erstellende Werkzeug aufgestellt werden, der in Abschnitt 4.2 zu finden ist. Weiterhin behandelt Abschnitt 4.3 die eingesetzten Methoden zur Erarbeitung des Werkzeugs zur formalen Modellierung von Betriebsprozessen und Regeln der Eisenbahn, die daraus für die weitere Arbeit abgeleitete Vorgehensweise sowie inhaltliche Abgrenzungen im weiteren Vorgehen.

Ziel in Kapitel 5 ist die Auswahl des Anwendungsfalls für das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Werkzeug. Vor der Wahl des Anwendungsfalls wird in diesem Kapitel eine Richtlinie ausgewählt, deren Inhalte formal modelliert werden sollen. Um eine möglichst relevante Richtlinie

auszuwählen, werden die Unfallursachen von Unfallereignissen untersucht. Der Katalog und die Auswertung finden sich in Abschnitt 5.2. Aus dem Stand der Anwendung von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn sowie der ausgewählten Richtlinie ergeben sich mögliche Anwendungsfälle, die in einem Katalog in Abschnitt 5.3 gesammelt sind. Ein Anwendungsfall aus diesem Katalog wird ausgewählt.

Nach der Auswahl des Anwendungsfalls zeigt Kapitel 6 die Auswahl des Beschreibungsmittels über eine vergleichende Bewertung der gesammelten Beschreibungsmittel.

Die ausgewählte Richtlinie, der ausgewählte Anwendungsfall und das ausgewählte Beschreibungsmittel bestimmen das Vorgehen beim Prozess der formalen Modellierung.

Dieser Prozess stellt zusammen mit den Grundbausteinen der formalen Modellierung das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln dar.

Die Prozessschritte für den Anwender sind in Kapitel 7 dargestellt.

Um mit dem Prozess beginnen zu können, werden Grundbausteine des formalen Modells benötigt. Diese Grundbausteine werden in Kapitel 8 beschrieben.

Die Grundbausteine werden im Rahmen dieser Arbeit erstellten Werkzeug in Akteure und Informationsflüsse durch Kommunikation unterschieden. Die Modellierungsprinzipien dieser beiden Grundbausteine sind Inhalt von Kapitel 9.

Aus der Kommunikation und den modellierten Akteuren ergeben sich notwendige Schnittstellen mit anderen Akteuren und Funktionen der Akteure zur Durchführung der zu modellierenden Betriebsprozesse und Regeln. Diese Schnittstellen und Funktionen werden in Kapitel 10 erarbeitet.

Die Eignung des erstellten Werkzeuges wird an einem Anwendungsbeispiel in Kapitel 11 überprüft.

Die Arbeit schließt mit einer Ergebnisdarstellung und einer Analyse der Erkenntnisgewinne und des Nutzens dieser Arbeit in Kapitel 12.

2 Stand der Forschung

2.1 Einleitung

In diesem Abschnitt soll zunächst eine Übersicht über den Stand der Forschung in der formalen Modellierung von Regelwerksinhalten und nahe verwandter Forschungsfelder sowie über den Einsatz formaler Methoden in anderen Industriebereichen gegeben werden. Abschnitt 2.2 beginnt mit einem Überblick zur Maschinenlesbarkeit von Regelwerksinhalten. Abschnitt 2.3 gibt den Überblick über formale Modellierung von Regelwerksinhalten und den Einsatz formaler Methoden zur formalen Modellierung in anderen Industriebereichen.

Um in der Literatur den Einsatz von formalen Methoden erfassen zu können, muss zunächst der Begriff formale Methode definiert werden. Das NASA Langley Formal Methods Research Program fasst unter formalen Methoden Techniken und Werkzeuge zusammen für die Spezifikation, den Entwurf und die Verifikation von Software- und Hardwaresystemen (NASA Langley Formal Methods Research Program 2016).

Die Radio Technical Commission for Aeronautics (kurz: RTCA) erstellt gemeinsam mit der Bundesluftfahrtbehörde der Vereinigten Staaten FAA Standards für die Luftfahrtindustrie. Der Standard RTCA DO-333 definiert formale Methoden als mathematisch basierte Techniken zur Spezifikation, Entwicklung und Verifikation von Software-Aspekten digitaler Systeme. Die mathematische Basis formaler Methoden besteht dem Standard RTCA DO-333 nach aus formaler Logik, diskreter Mathematik und computerlesbaren Sprachen. (RTCA DO-333)

Aufbauend auf den Definitionen des NASA Langley Formal Methods Research Program und der RTCA DO-333 können Anwendungsfälle für den Einsatz von formalen Modellierungen und den Einsatz von formalen Methoden aus den folgenden Bereichen in der Literatur gesucht werden:

- Sammlung von Spezifikationen
 - Verfahren
 - Stellwerkssoftware
 - Stellwerkslogik
 - Infrastrukturplanung
- Entwurf von Software und Hardware
- Verifikation von Soft- und Hardware
- Testfälle

Weiterhin wird der Stand der Forschung zur Erarbeitung von Modellen in Abschnitt 2.4 mit den vorher gesammelten Beschreibungsmitteln dargestellt.

2.2 Literatur zu Maschinenlesbarkeit

Im folgenden Abschnitt wird auf den Stand des Wissens zur Überführung geschriebener Regelwerke in eine maschinenlesbare Form eingegangen. Hierbei muss zwischen zwei Domänen unterschieden werden:

- das unmittelbare Erfassen natürlicher Sprache (auch bezeichnet als Natural Language Processing, kurz: NLP)
- die Überführung in ein maschinenlesbares Abbild der Regelwerksinhalte in ein formales Modell (hier als Formalisierung bezeichnet)

Maschinenlesbar sind klassischerweise Daten auf Datenträgern (Magnetstreifen, Festplatten usw.), die über ein entsprechendes Programm geöffnet oder über eine Schnittstelle importiert werden können. Weiterhin gibt es maschinenlesbare Daten z. B. in Bar- oder QR-Codes, die ebenfalls von Programmen verarbeitet werden müssen. Auch existieren maschinenlesbare Schriften, die leichter als andere Schriften eingescannt werden können.

Die Inhalte der Regelwerke können beim Einlesen einer Schrift nicht unmittelbar in einer maschinenlesbaren Struktur erfasst werden. Es ist nur möglich, die Buchstaben über Mustererkennung zu erfassen. Diese Erkennung kann dazu genutzt werden, gescannte Dokumente in Dateien zu überführen, die in einer Textverarbeitung bearbeitet werden können.

Eine Weiterverarbeitung ist nötig, um die Inhalte der Regelwerke maschinenlesbar zu machen. Über das NLP wird versucht, ihnen eine Bedeutung innerhalb einer Satzstruktur zuzuordnen. Hierfür kommt in den letzten Jahren u. a. das Dependency Parsing (Abhängigkeitsparser) zum Einsatz.

Ein Abhängigkeitsparser analysiert die grammatikalische Struktur eines Satzes und stellt Beziehungen zwischen „Kopf“-Wörtern und Wörtern her, die diese Köpfe verändern (The Stanford Natural Language Processing Group 2019).

Die derzeit entwickelten Automatismen zur Untersuchung der Abhängigkeiten innerhalb des untersuchten Satzes (Veränderung der „Kopf“-Wörter) können zwischen einzelnen Wortarten unterscheiden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die mit dem Stanford Dependencies Parser automatisch unterscheidbaren Wortarten (Marneffe et al. 2014).

Tabelle 1: Wortarten des Stanford Dependencies Parser nach (The Stanford Natural Language Processing Group 2019)

Kurzname	Objekt	Kurzname	Objekt
acl	clausal modifier of noun (adjectival clause)	fixed	fixed multiword expression
advcl	adverbial clause modifier	flat	flat multiword expression
advmod	adverbial modifier	goeswith	goes with
amod	adjectival modifier	iobj	indirect object
appos	appositional modifier	list	list
aux	auxiliary	mark	marker
case	case marking	nmod	nominal modifier
cc	coordinating conjunction	nsubj	nominal subject
ccomp	clausal complement	nummod	numeric modifier
clf	classifier	obj	object
compound	compound	obl	oblique nominal
conj	conjunct	orphan	orphan
cop	copula	parataxis	parataxis
csubj	clausal subject	punct	punctuation
dep	unspecified dependency	reparandum	overridden disfluency
det	determiner	root	root
discourse	discourse element	vocative	vocative
dislocated	dislocated elements	xcomp	open clausal complement
expl	expletive		

Eine Herausforderung hierbei ist, dass in den einzelnen Sprachen die in der vorangegangenen Tabelle gezeigten Wörter unterschiedlich genutzt werden, um die „Kopf“-Wörter zu verändern (McDonald et al. 2013). Der Einsatz von bestehenden Automatismen, die zumeist für das Englische vorgesehen sind, ist für die Untersuchung deutschsprachiger Regelwerke nur mit Anpassungen möglich.

Darüber hinaus darf sich die Untersuchung nicht nur auf einzelne Sätze beschränken. Um die Regelwerksinhalte vollständig zu erfassen, müssen die Sätze im Verbund miteinander untersucht werden. Einzelne Sätze können Auswirkungen auf benachbarte Inhalte oder auf Inhalte an anderen Stellen im Regelwerk haben. Beispiel für die Implementierung solcher Automatismen konnten im Rahmen der Recherche nicht gefunden werden.

Somit ist davon auszugehen, dass weiterhin der Mensch die formale Modellierung vornimmt, jedoch von Automatismen wie dem Dependency Parsing bei der umfangreichen Arbeit unterstützt wird. In welcher Form der Mensch als Modellierer die in den Regelwerken beschriebenen Abläufe oder Abhängigkeiten ablegen/speichern/visualisieren kann (z. B. Diagramme, Programmcode), wird nachfolgend anhand einer über den Bahnsektor hinausgehenden Recherche gezeigt.

2.3 Sammlung der Beschreibungsmittel für eine formale Modellierung

Im Folgenden wird sowohl mit Literaturarbeit zur Erfassung der Grundlagenliteratur und von erfolgreichen Anwendungsfällen als auch mit einer Reihe von Fachinterviews mit Experten aus dem Bahnsektor gearbeitet, um aktuelle Entwicklungen aufzuzeigen. Hierbei wird keine vollständig repräsentative Nutzerstudie erstellt, da diese bereits im Rahmen von Shift2Rail-Forschungsvorhaben durchgeführt wurde (CNR und SIRTI 2019). Die Ergebnisse dieser Studie sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit noch nicht veröffentlicht.

2.3.1 Einsatz von formaler Modellierung im Bahnsektor

Formale Modellierung und formale Methoden sind nicht einheitlich und sie werden an verschiedenen Stellen für unterschiedliche Zwecke in der Eisenbahnindustrie verwendet. Die verwendeten formalen Methoden reichen von etablierten Simulationswerkzeugen über halbformale Ansätze in der Modellierung wie UML und die vollständige formale Spezifikation kritischer Komponenten in der formalen Sprache „Event-B“ bis hin zu einheitlichen Ansätzen für die Modellierung von Eisenbahnbetrieb in ABS.

Ein Überblick über die verwendeten formalen Modellierungen und ihre Anwendungsfälle in der Eisenbahnindustrie sowie über die erfolgreiche Anwendung formaler Methoden in anderen Ingenieurdisziplinen soll für die weitere Bearbeitung der Aufgabenstellung eine Wissensgrundlage legen. Eine Analyse, welche Aspekte die erfolgreiche Anwendung formaler Methoden in anderen Ingenieursdisziplinen ermöglichten, und ob diese Aspekte ebenso in der Eisenbahntechnik auftreten, schließt sich in den folgenden Kapiteln an.

Verwendete formale Modellierungen und ihre Anwendungsfälle in der Eisenbahnindustrie

Im Bahnsektor werden formale Methoden zum einen im Entwicklungsprozess vor allem für den Softwarebereich eingesetzt, zum anderen auch zur Modellierung von Prozessen und Logiken. Wenige Anwendungsfälle gehen jedoch über die Nutzung eines formalen Prozesses zur Dokumentation z. B. in Algorithmen hinaus. Auch erreichen bisher nur sehr wenige Anwendungsfälle den praktischen Einsatz.

Betriebsprozesse

Die meisten Arbeiten zur generischen Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen setzen standardisierte UML-Diagramme ein (Höppner 2015). Solche Diagramme werden ebenfalls von der DB Netz bei der Dokumentation der hauseigenen Prozesse z. B. aus dem Vertrieb oder dem

Infrastrukturmanagement verwendet. Ebenso wird hier versucht, alle für den Betrieb relevanten Stakeholder und Infrastrukturelemente zu erfassen und somit eine grundlegende Aufstellung aller relevanten Stammdaten zu erlangen. Diese Dokumentation wird als DB-Prozessmodell bezeichnet. Vorarbeiten hierzu lieferte u. a. die Entwicklung einer Methode zur Stammdatenintegration (Schmidt 2010) im Jahr 2010 an der Universität St. Gallen.

In Arbeiten an der TU Braunschweig wurde über die Erfassung von Stammdaten hinausgehend ein eigenes generisches Referenzsystem für Betriebsverfahren spurgeführter Verkehrssysteme entwickelt (Bosse 2010). Dieses Referenzsystem soll nicht auf bekannten Systemarchitekturen basieren und keine eingeführten Begriffe verwenden, sondern die Betriebsprozesse generisch beschreiben.

Ein ähnliches Referenzsystem mit formalen Steckbriefen nutzt die DB Netz zur Beschreibung der geschäftlichen Anwendungsfälle für die Leitung und Sicherung des Bahnbetriebs (kurz: GAF) sowie im Lastenheft zu den betrieblich-technischen Systemfunktionen (kurz: BTSF). In beiden Fällen sind jedoch gerade die vorhandenen Systemarchitekturen und eingeführten Begrifflichkeiten die Basis für die durchgeführten Prozessbeschreibungen für den signal- und anzeigegeführten Betrieb im Netz der Deutschen Bahn.

Neben den Arbeiten zu aktuellen Betriebsverfahren existieren auch Arbeiten zur Beschreibung und Untersuchung zukünftiger Betriebsverfahren. Für die Nachweise der unter ETCS geltenden betrieblichen Regeln sind vor allem zwei Ansätze nennenswert. In Real-Time Maude wurde für einfache Betriebsverhältnisse auf der Strecke der Nachweis für ETCS-Level 2 in einer Arbeit der Swansea University erbracht (James et al. 2015).

Planung der Ausrüstung mit LST-Komponenten

Sowohl theoretische Vorarbeiten zur regelbasierten Konsistenzprüfung von Infrastrukturplanungen (Luteberget und Johansen 2018) als auch erste praktische Anwendungen sind bekannt (Klaus et al. 2015). Die Universität Darmstadt entwickelt gemeinsam mit der DB Netz AG eine algorithmische Umsetzung für Planung (Dillmann und Hähnle 2019) und Planprüfung (Düpmeier et al. 2020) für die Infrastrukturausstattung mit ETCS Balisen.

Entwicklungsprozess

Im Entwicklungsprozess von Leit- und Sicherungstechnik werden entsprechend des V-Modells Spezifikationen und Testfälle zur Verifikation eingesetzt. Im industriellen Einsatz befinden sich bei den Signalbauunternehmen formale Verfahren und Methoden zur Sammlung von Stellwerksanforderungen (Hon 2009).

Zur Sammlung und Anwendung von Testfällen befinden sich Softwarelösungen zur Validierung von ETCS-Planungen z. B. im Projekt SAT-valid (Wenzel et al. 2012) sowie mehrere Produkte zur Zertifizierung von Stellwerksplanungen u. a. die Software Prover-Certifier im unmittelbaren praktischen Einsatz (Prover). In den letzten Jahren sind theoretische Arbeiten zum Testen gegen formal festgehaltene Spezifikationen beispielsweise zur Verifizierung von fahrzeug- oder infrastrukturseitigen Komponenten des ETCS-Levels 2 (Sango et al. 2014) aufgekommen.

Im Projekt openETCS wurde eine Formalisierung der offiziellen ETCS-Spezifikationen entwickelt. Ziel war die Nutzung in herstellerunabhängiger Referenzsoftware der ETCS on-board-unit in Testlaboratorien. (Gärtner et al. 2016)

Lasten- und Pflichtenheft für Stellwerksplanungen

Neben dem Einsatz bei der Sammlung von Spezifikationen und Testfällen ist ein Einsatz formaler Methoden bei der Modellierung von Stellwerkslogik naheliegend. Die formale Nachweise können die Korrektheit der geplanten Stellwerkslogik garantieren.

Zahlreiche Arbeiten aus Dänemark zeigen ein Verfahren zur Modellierung und zur formalen Überprüfung von Stellwerkslogiken (Gjaldbaek und Haxthausen 2003). Diese Logiken sind in Form von Verschlussstabellen festgehalten und werden mit dem SMT Solver der SONOLAR-Software verifiziert (Haxthausen et al. 2014).

Eine ähnliche Verifizierung wird im laufenden EUR-Interlocking-Projekt (Nachfolgeprojekt von INESS) angestrebt, eine endgültige Wahl des Verfahrens steht zum derzeitigen Zeitpunkt aus (Stand Ende 2019).

Im Rahmen des Projekts NeuPro werden durch die DB Netz AG Standardschnittstellen für diverse Anwendungsfälle (z. B. zur Ansteuerung eines Weichenantriebes oder zur Überwachung und Ansteuerung einer Bahnübergangssicherungsanlage) definiert. Dieser Spezifizierungsprozess für die Standardschnittstellen ist zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Weitere theoretische Ansätze zur formalen Modellierung lieferten Arbeiten an der ETH Zürich zur Modellierung und Gewährleistung von Abhängigkeiten in Eisenbahnsicherungsanlagen (Montigel 1994). Ebenfalls an der ETH Zürich existieren theoretische Vorarbeiten zur Modellierung von Betriebsverfahren mit formalen Methoden (Höppner 2015).

Anlagenspezifische Stellwerksplanungen

Die Open-Source-Software Werkzeugumgebung OnTrack generiert aus erstellten sicherungstechnischen Lageplänen Verschlussstabellen und in einem weiteren automatischen Schritt formale Modelle zur späteren Verifikation mit CSP||B (James et al. 2013).

Die Software Solver wurde kürzlich eingesetzt, um nach Umbaumaßnahmen einen bestehenden formalen Nachweis unter Nutzung der Sprache B für den Rechnerkern des Communication Based Train Control System (kurz: CBTC) der fahrerlosen U-Bahnlinie 14 in Paris zu erneuern (Prover).

Im industriellen Einsatz befinden sich in diesem Bereich die SCADE-Suite sowie die Software Solver. Beide Produkte können für die Modellierung und die Verifikation von Stellwerksprojektierungen, projektierten Bahnübergangssicherungsanlagen und den beiden Systemen zugrundeliegenden Achszählkreisen genutzt werden. Darüber hinaus wurde die SCADE-Suite im Projekt OpenETCS zur Modellierung und Verifizierung der im Projekt entwickelten On-Board-Unit-Software genutzt und ist in großem Umfang für die Verifizierung von Avionikkomponenten in der Luftfahrtindustrie im Einsatz.

Eisenbahnbetriebswissenschaft

Auch in anderen Bereichen des Eisenbahnwesens wie der Instandhaltung (Ruijters und Stoelinga 2016) und den Eisenbahnbetriebswissenschaften wurden formale Methoden teilweise eingesetzt. Bei den Eisenbahnbetriebswissenschaften zeigt eine Arbeit den Nutzen für eine deadlockfreie Fahrplanerstellung (Mazzanti et al. 2014) unter Verwendung einer Softwareumgebung zur Modellüberprüfung, die auf der Software UMC basiert.

Fazit

In den hier genannten Arbeiten zur Modellierung von Stellwerkslogik und Betriebsverfahren wird neben der Einführung neuer Ansätze zunehmend auf bewährte standardisierte Beschreibungsmittel für die formale Modellierung zurückgegriffen. Festzuhalten ist, dass in der Literatur meistens nur das Beschreibungsmittel vorgestellt und gegebenenfalls der Anwendungsfall näher beschrieben wird. Über Grenzen in der Anwendbarkeit des Beschreibungsmittels sowie das genaue Vorgehen bei der Anwendung des Beschreibungsmittels werden keine hinreichenden Aussagen getroffen.

2.3.2 Einsatz in anderen Industriebereichen und bei weiteren Verkehrsträgern

Im Folgenden wird ein Blick in andere Industriebereiche geworfen. Hierdurch können Hinweise zu den Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz formaler Methoden erlangt und die Sammlung von Beschreibungsmitteln um weitere Beschreibungsmittel erweitert werden. Hierzu werden zunächst Beispiele für den Einsatz bei weiteren Verkehrsträgern und anschließend erfolgreiche Beispiele aus der Softwareentwicklung untersucht.

Avionik

Im Bereich der Software von Avionikkomponenten oder der Programmierung von Mikroprozessoren für Avionikkomponenten wurden bereits frühzeitig formale Nachweise geführt.

Die Unterstützung bei der Fehlersuche ist bis heute die häufigste Verwendung von formalen Verifikationswerkzeugen unter Nutzung von Modellprüfsoftwarewerkzeugen zum Nachweis von vorgegebenen Eigenschaften wie dem nach den Spezifikationen erwarteten Datenfluss oder der ausgegebenen Ergebnisse. Anstatt den Beweis zu versuchen, dass eine Avionikkomponente für alle Eigenschaften zu jeder Zeit korrekt reagiert, wird diese Technik verwendet, um nur eine Teilmenge der Eigenschaften unter eingeschränkten Bedingungen nachzuweisen. Dies kann die Begrenzung

der Tiefe der Zustandsraumsuche oder die Verwendung von Simulationen zum Erreichen eines bestimmten Zustands und die anschließende Analyse des Zustandsraums mit formalen Methoden beinhalten.

Als frühes Beispiel sei hier die Untersuchung des Traffic Alert and Collision Avoidance System (kurz: TCAS II) Mitte der 1980er-Jahre genannt. Hierbei kam jedoch kein automatisiertes Tool zum Einsatz, sondern die formalen Spezifikationen wurden in Zustandsdiagrammen (Harris 1986) aufgezeichnet, in denen die Logiken der Software in tabellarischer Form gesetzt und präsentiert sind.

Später wurde zunehmend auf automatische Tool-Unterstützung für die Zertifizierung zurückgegriffen: So z. B. durch das Langley Research Center zum Nachweis der Uhrsynchronisation für Avionikanwendungen (Rush und Henke 1993) oder zur Spezifikation und Modellierung der Software für den Flight Warning Computer (FWC) der Airbus-Baureihen A330 und A340 unter Nutzung der LOTOS-Sprache und anhängigen Softwarewerkzeuge. Auf diesen Erfolgen aufbauend wurde bei Airbus bei der Neuentwicklung der kompletten Avioniksoftware für die Baureihe A380 (Souyris et al. 2009) auf formale Methoden und Nachweise zurückgegriffen.

Airbus ist aber nicht der einzige Hersteller, bei dem die formale Verifikation als kostengünstige Alternative zum Testen bereits frühzeitig erfolgreich eingesetzt werden konnte. Weiterhin ist Dassault-Aviation zu nennen. Auch Rockwell Collins hat die Modellprüfung zur Validierung von Anforderungen eingesetzt (Miller et al. 2006).

Anforderungen an den Zertifizierungsprozess von Software für Verkehrsflugzeuge sind seit 2011 im DO-178B-Standard, Softwareüberlegungen bei der Zertifizierung von luftgestützten Systemen und Geräten, festgehalten. Der Standard DO-178C erlaubt den Ersatz von bestimmten Formen der Prüfung durch formale Verifikation (Moy et al. 2013).

Einige dieser in die Standards aufgenommenen Regelungen sind auch auf die Forschungsaktivitäten der amerikanischen Luft- und Raumfahrtagentur NASA zurückzuführen. Die NASA begann bereits Mitte der 1990er-Jahre damit, die Anwendung formaler Methoden zur Zertifizierung kritischer Systeme zu erforschen (Rushby 1995) und erforscht deren Einsatz weiterhin mit zwei Gruppen (Robust Software engineering at Ames, Langley; Formal methods, Laboratory for Reliable Software at JPL).

Neben der industriellen Anwendung zur Verifizierung von Avionikbausteinen existieren weitere Studien zum Einsatz von Event-B bei der Planung von unbemannten Raumfahrtmissionen und der Produktion der genutzten Raumsonden (Bobaru et al. 2011).

In der Luftfahrtbranche werden formale Methoden aber nicht nur zum Nachweis von Avionikbausteinen und -software eingesetzt. Verschiedene, derzeit noch rein theoretische Forschungsvorhaben ohne industrielle Anwendung haben den Nachweis von Prozeduren während des Betriebs zum Ziel. So erstellte das DLR in Braunschweig eine eigene domänenspezifische Sprache zur formalen Verifikation von Simulationsszenarios in der Luftfahrt: Aviation Scenario Definition Language (ASDL) (Chhaya et al. 2018).

Eine Studie zu Prozeduren im Luftbetrieb zerlegte die Schritte des Abflugverfahrens auf einem Beispielflughafen bis zum Start in einen Graphen und modellierte diesen Graphen mittels der Vienna Development Method Specification Language (VDM-SL). Zusätzlich wurden die Infrastrukturen des Flughafens wie Taxiways sowie Start- und Landebahn ebenfalls in einen Graphen zerlegt. Vergleichbar mit einer Stellwerksprojektierung wurden Blöcke definiert, wobei die Graphenknoten mit Warteschleifen ausgestattet sind, an denen sich mehr als nur ein Flugzeug im Abflugverfahren anmelden kann. Die Erfüllung der Anforderungen, dass Flugzeuge bis zum Start schlussendlich eine sinnhafte Abfolge von Graphenknoten durchlaufen und alle Warteschleifen verlassen haben, wurde mit der VDM-SL-Toolbox analysiert und nachgewiesen. (Zafar 2016)

Ein weiteres Beispiel zur Untersuchung von Prozeduren in Luftverkehrssystemen ist die formale Analyse des Betriebskonzepts für das Kleinflugzeugtransportsystem (Small Aircraft Transportation System, kurz: SATS). Das SATS-Betriebskonzept wird mit nicht deterministischen, asynchronen Transitionssystemen modelliert, die dann formal mithilfe von Zustandserkundungstechniken analysiert werden (Muñoz et al. 2006).

Andere Verkehrsträger: automatisches Fahren im Straßenverkehr

Im High-Assurance Cyber Military Systems (kurz: HACMS) Project der Darpa wurden zum einen testweise formale Methoden zur Entwicklung von Systemen für den unmittelbaren militärischen Einsatz eingesetzt, aber zum anderen auch in Bereichen, die für eine zivile Nutzung denkbar sind. So wurden u. a. formale Methoden bei der testweisen Entwicklung von Satelliten und im Konvoi selbstfahrenden Lkw angewendet. Alle diese Anwendungsfälle kamen laut der veröffentlichten Berichte bei der Darpa bisher nicht über den Planspiel- oder Prototypen-Status hinaus.

Weitere theoretische Vorarbeiten nutzten Risikostrukturen als Modell für die Entwicklung von High-Level-Controllern, die in der Lage sind, die Risiken zur Laufzeit zu minimieren, d. h. die sichersten Zustände in einer gegebenen Betriebssituation aufrechtzuerhalten oder zu erreichen. Die bisher veröffentlichten Arbeiten skizzieren einen inkrementellen Ansatz zur Entwicklung von Strategien zur Eindämmung der Risiken beim automatischen Fahren im Straßenverkehr (Barrett et al. 2017).

Software Engineering

Bestimmte Felder aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften setzen ebenfalls formale Methoden bei der Entwicklung von Software ein. Vor allem hier sind Erfolge zu benennen. Ein Vergleich mit dem möglichen Einsatz im Eisenbahnwesen ist lohnend. Als besonders sicherheitskritischer Bereich seien im Folgenden die durchgeführten Projekte zu Modellüberprüfung und Anwendung formaler Methoden bei der Verifizierung von Steuerungssoftware für Atomkraftwerke aufgeführt.

Software Engineering für sicherheitskritische Ingenieurwissenschaften

Eine der ersten Anwendungen von formalen Methoden in diesem Kontext betraf die Systemsoftware bei der Reaktorabschaltung des Kernkraftwerks Darlington in Kanada. Im Planungsprozess für die Software wurde eine tabellarische Notation verwendet, um sowohl die Anforderungen als auch das Design zu beschreiben und um die Richtigkeit des Entwurfs mit einem Theorembeweiser überprüfen zu können. (Gerhart et al. 1994)

In Ungarn wurde die Software zur Kontrolle auf Leckage eines Reaktors mittels eines CPN-Formalismus (Coloured Petri Net) versuchsweise modelliert. Die korrekte Funktion konnte mittels Zustandsraumanalyse und expliziter Zustandsmodellprüfung nachgewiesen werden. Über den reinen Einsatz von formalen Nachweisen hinaus wurde zusätzlich die Primärkreisdynamik mit CPN modelliert und die Zusammensetzung dieses Modells sowie die Abschaltprozedur bei Leckage durch Simulation analysiert. (Németh et al. 2009)

Formale Methoden und Modellprüfung fanden in Korea intensiv im Rahmen von Forschungsprojekten zur Kernkraftwerksautomatisierung Anwendung. Die Ergebnisberichte beschreiben einen rechnergestützten Werkzeugsatz, der die Entwicklung von SPS-basierten Systemen (speicherprogrammierbare Steuerung) unterstützt (Koo et al. 2006). Dieser Werkzeugsatz umfasst Werkzeuge zur Pflege und Erstellung von formalen Pflichtenheften, für Systemdesign und eine automatische Übersetzung in C-Programme.

Eine formale Sprache, die einerseits auf tabellarischen Notationen und andererseits auf Zustandsautomaten basiert, wird für die Anforderungsspezifikation verwendet. Hieraus kann automatisch ein Code generiert werden. Im Nachgang werden nach weiteren nötigen Zwischenarbeitsschritten Modell- und Theoremprüfung zur Bestimmung der Korrektheit eingesetzt. Dabei ist der Code zunächst in Verilog (eine gebräuchliche Hardwarebeschreibungssprache) zu übersetzen. Die Verilog-Programme werden dann automatisch in die Eingabesprache des Cadence-SMV-Modellprüfers übersetzt.

Grenzwerte für eine zeitlich kritische Prozessdauer wurden von den Forschern in Zusammenarbeit mit Experten ermittelt und in das Modell eingepflegt. Schlussendlich dokumentierte man mehrere Fehler, die bei manuellen Inspektionen nicht bemerkt wurden. Die Einbindung von Expertenwissen war essenziell für den Projekterfolg und sollte Basis für weitere Versuche im Eisenbahnwesen sein.

Software Engineering in verteilten Systemen

Verteilte Systeme sind eine Menge interagierender Prozesse (oder Prozessoren), die über keinen gemeinsamen Speicher verfügen und daher mittels Nachrichten miteinander kommunizieren müssen (Löhr 2001). Aufgrund der überproportional steigenden Anforderungen bei der Programmierung von verteilten Systemen wird besonders hier versucht, formale Methoden anzuwenden, um Fehler aufzudecken.

Zahlreiche Forschungsarbeiten nutzen formale Methoden zur Verifizierung von in Software modellierten Prozessen verteilten Systemen: So wurde ein Bug im Prozess des mittels Needham-Schroeder-Protokoll (public key authentication) durchgeführten Schlüsselaustauschs zur Authentifizierung in großen Computernetzwerken gefunden, nachdem dieses bereits 17 Jahre im Einsatz war (Gavin Lowe 1995).

Im industriellen Einsatz finden sich u. a. Beispiele auch bei IBM, Microsoft, Amazon und Facebook:

- IBM: Einsatz bei neuen Releases seines Transaktionsverarbeitungssystems CICS (Gaudel et al. 1996)
- Microsoft: Verifizierung von HTTPS im Projekt Everest (Microsoft 2020)
- Amazon: Einsatz von TLA+ zur Verifizierung von Algorithmen für Back-ups, Konsistenzprüfung von Back-ups und weiteren Funktionen von verteilten Systemen und Web-Services, die Kunden zur Verfügung gestellt werden (Newcombe et al. 2015)
- Facebook: Integration eines auf statischer Analyse basierenden Verifikationstools in den Software-Entwicklungszyklus (Havelund et al. 2015)

Weitere Beispiele aus dem Software Engineering

Neben den genannten Beispielen für die Nutzung von formalen Methoden in der Spezifizierung, Entwicklung und Verifizierung z. B. von Avionikbausteinen sind auch andere Anwendungen aus der Softwareentwicklung zu nennen. Diese umfassen zahlreiche Softwarearten, u. a. hardwarenahe Software für Mikroprozessoren oder für Programmalgorithmen, die in einer High-Level-Language wie z. B. Java geschrieben wurden.

Hardwarenah kamen beispielsweise formale Methoden durch den Halbleiterhersteller Inmos bei der Entwicklung einer Floating Point Unit für den T800 Transputer zum Einsatz. Für die Medizintechnik wird durch Philips Healthcare der Analytical-Software-Design-Ansatz verfolgt, um für Bildgebungsgeräte wie Röntgen oder CT und Elektronenmikroskope die Kontrollsoftware zu erstellen und zu verifizieren. Hierbei wird zur frühzeitigen Aufdeckung von Fehlern Uppaal eingesetzt, eine integrierte Softwarewerkzeugumgebung zur Modellierung, Validierung und Verifikation von Systemen, die als Netzwerke von zeitgesteuerten Automaten funktionieren. Die Wahl fiel auf Uppaal wegen seiner ansprechenden und verständlichen Benutzeroberfläche und den Simulationmöglichkeiten, die für industrielle Anwender attraktiv sind (Hooman 2016).

Weiter wurde mit KeY, einem Softwareverifikationswerkzeug für in Java geschriebene Programme, ein Bug in der Java Standard Library entdeckt (Gouw et al. 2016).

2.3.3 Zusammenfassung

Die grundsätzlich vorhandenen und in Kapitel 2 aufgeführten Beschreibungsmittel für eine formale Modellierung lassen sich in drei grundsätzliche Cluster aufteilen:

- Spezifikationen in formalisierten Steckbriefen sammeln oder Abläufe und Regeln in formalisierter Weise aufschreiben (z. B. UML)
- Abläufe und Regeln in einer ausführbaren Programmiersprache umsetzen
- formale Sprachen nutzen und formale Nachweise führen

Fazit

Alle oben aufgeführten Beschreibungsmittel werden zur Deklaration eines Modells eingesetzt, sind aber als Beschreibungsmittel nur Werkzeug und geben nicht die Art und Weise des Vorgehens bei der Modellerstellung wieder. Für das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Werkzeug zur Überführung von Regelwerksinhalten in eine formale Modellierung muss neben dem Beschreibungsmittel eine Vorgehensreihenfolge festgelegt werden. Die nachfolgende Literaturliste zeigt den Stand der Technik für Vorgehensweisen bei der Modellierung.

2.4 Vorgehensmodelle für die Entwicklung formaler Modellierungen

Nachdem in Abschnitt 2.3 die Beschreibungsmittel aufgeführt wurden, ist es für das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Werkzeug wichtig festzulegen, wie mit den aufgeführten Beschreibungsmitteln gearbeitet werden kann und gearbeitet werden sollte. Ziel dieses Abschnitts ist es, verschiedene Vorgehensmodelle bei der Erstellung von formalen Modellierungen zu vergleichen und ein geeignetes Vorgehensmodell auszuwählen. Der Fokus liegt hierbei auf Vorgehensmodellen, die in der Softwareentwicklung eingesetzt werden. Das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsprozessen und Regeln soll möglichst einfach in der Entwicklung einer zukünftig einsetzbaren Softwarelösung zur Unterstützung des Systems Bahn eingesetzt werden können, das auszuwählende Vorgehensmodell soll deshalb bereits mit gutem Erfolg in der Softwareentwicklung eingesetzt worden sein. Hierfür werden unterschiedliche Vorgehensmodelle aus der Softwareentwicklung beschrieben und verglichen.

Die Modellierung physischer Systeme mittels der verschiedenen Beschreibungsmittel ist umfangreiche Aufgabe im Software Engineering. Balzert beschreibt das Software Engineering als zielorientierte Bereitstellung und systematische Verwendung von Prinzipien, Methoden und Werkzeugen vor allem für die arbeitsteilige Entwicklung von umfangreichen Softwaresystemen (Balzert 2008).

Die Vorgehensmodelle bei der Entwicklung von Softwaresystemen und der Beschreibung eines Modells als Teil dieses Prozesses werden in drei Kategorien unterteilt (Ludewig und Lichter 2013):

- lineare Vorgehensmodelle
- nicht lineare Vorgehensmodelle
- Prozessmodelle

Vorgehensmodelle geben für ein Softwareprojekt einen strukturierten Ablauf und die Einteilung in verschiedene Arbeitsabschnitte vor. Die Unterscheidung in lineare und nicht lineare Vorgehensmodelle begründet sich mit dem zeitlichen Ablauf des Projekts und der eventuellen Wiederholung von Arbeitsschritten (siehe Unterabschnitte 2.4.1 und 2.4.2).

In Abgrenzung zu den Vorgehensmodellen sind Prozessmodelle zu nennen (siehe Unterabschnitt 2.4.3) (Knollmann 2007), deren Kern ein Vorgehensmodell ist, die aber weiterhin Projektorganisationsstrukturen, Vorgaben zum Projektmanagement und zur Dokumentation enthalten. Die Begriffe werden in der Literatur jedoch oft synonym verwendet.

2.4.1 Lineare Vorgehensmodelle

Lineare Vorgehensmodelle zeichnen sich durch einen starren zeitlichen Ablauf der Arbeitsschritte aus. Es sind keine Wiederholungen eines Arbeitsschrittes oder einer Phase der Systementwicklung vorgesehen. Sie werden linear vom Projektbeginn bis zum Projektende durchlaufen.

Code and Fix

„Code and Fix“ ist die einfachste Vorgehensweise der Softwareentwicklung. Der Entwickler beginnt direkt mit der Implementierung des Systems, also der Übertragung eines Modells in einen Softwarecode. Treten bei diesem Vorgehen Probleme oder Änderungswünsche auf, werden diese wieder direkt im Code umgesetzt. Die Vorgehensweise birgt bereits bei kleineren Projekten eine große Gefahr der frühen Fehlentwicklung (z. B. der nicht mehr gegebenen Erweiterbarkeit) und ist hier nur der Vollständigkeit halber aufgelistet.

Wasserfallmodell

Das Wasserfallmodell teilt das Projekt sowohl in zeitlich als auch in inhaltlich abgegrenzte Phasen auf. Diese werden nacheinander streng sequenziell durchlaufen. Ist ein Arbeitsschritt abgeschlossen, wird in der nächsten Phase auf den Ergebnissen dieses abgeschlossenen Schrittes aufgebaut. Nach der Systemanalyse zu Beginn des Projekts steht am Projektende ein abgenommenes und einsatzfähiges Softwareprodukt zur Verfügung. Einzig in der anschließenden Wartungsphase kommt es zu zyklischen Wiederholungen.

Der Name begründet sich in der Analogie des zu einem Wasserfall herunterfließenden Wassers. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt das Vorgehen im Wasserfallmodell

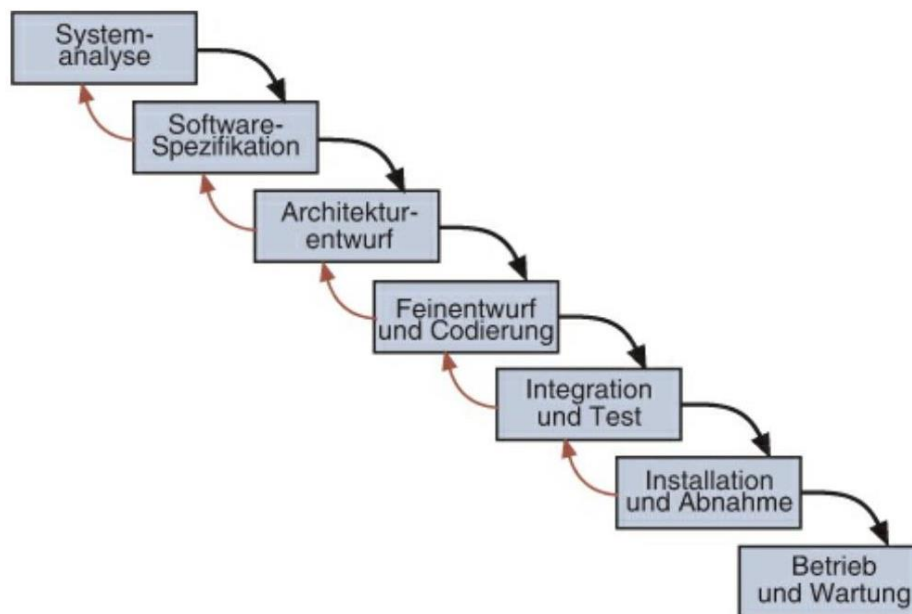


Abbildung 1: Sequenzieller Ablauf von Schritten im Wasserfallmodell (Ludewig und Lichter 2013)

Aufbauend auf der Grundidee des Wasserfallmodells gibt es weitere Variationen, bei denen die zeitliche Abfolge der Arbeitsschritte variiert wird. Dies sind u. a. das Baseline-Management-Modell, Wasserfallmodell mit Rückführschleifen (Goll 2011) und das strenge Wasserfallmodell, auch als Einbahnstraßenmodell bezeichnet (Ludewig und Lichter 2013). Nahezu alle weiteren Vorgehensmodelle bauen auf den sequenziellen Phasen des Wasserfallmodells auf.

2.4.2 Nicht lineare Vorgehensmodelle

Nicht lineare Vorgehensmodelle besitzen im Gegensatz zu den linearen Vorgehensmodellen keinen festen, hierarchischen Ablauf der Arbeitsphasen. Bei nicht linearen Vorgehensmodellen können sich Arbeitsphasen oder auch der gesamte Projektablauf mehrmals wiederholen.

Spiralmodell

Das Spiralmodell baut auf die erste Entwicklung des V-Modells (vgl. Unterabschnitt 2.4.3) auf und wurde 1988 von Barry W. Boehm veröffentlicht. Die Bezeichnung Spiralmodell ergibt sich durch das spiralförmige Durchlaufen der einzelnen Phasen (vgl. Abbildung 2). Durch die Spirale werden Arbeitsphasen wie die Abnahme oder die Simulation wiederholt in den Gesamtprojektablauf eingeschoben und aufs Neue durchlaufen.

Weiterhin wird im Spiralmodell die Risikoanalyse eingeführt – und so der Projektfortschritt evaluiert sowie das Fortschreiten in die nächste Projektphase entschieden.

Die Art der Phase ist aus dem Winkel der Darstellung erkennbar, während der Gesamtumfang des Projekts aus dem radialen Umfang abgelesen werden kann. Über die Variation dieser beiden Faktoren lässt sich das Spiralmodell gut auf verschiedene Projektumfänge anpassen (Specker 2005). Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt das Vorgehen im Spiralmodell.

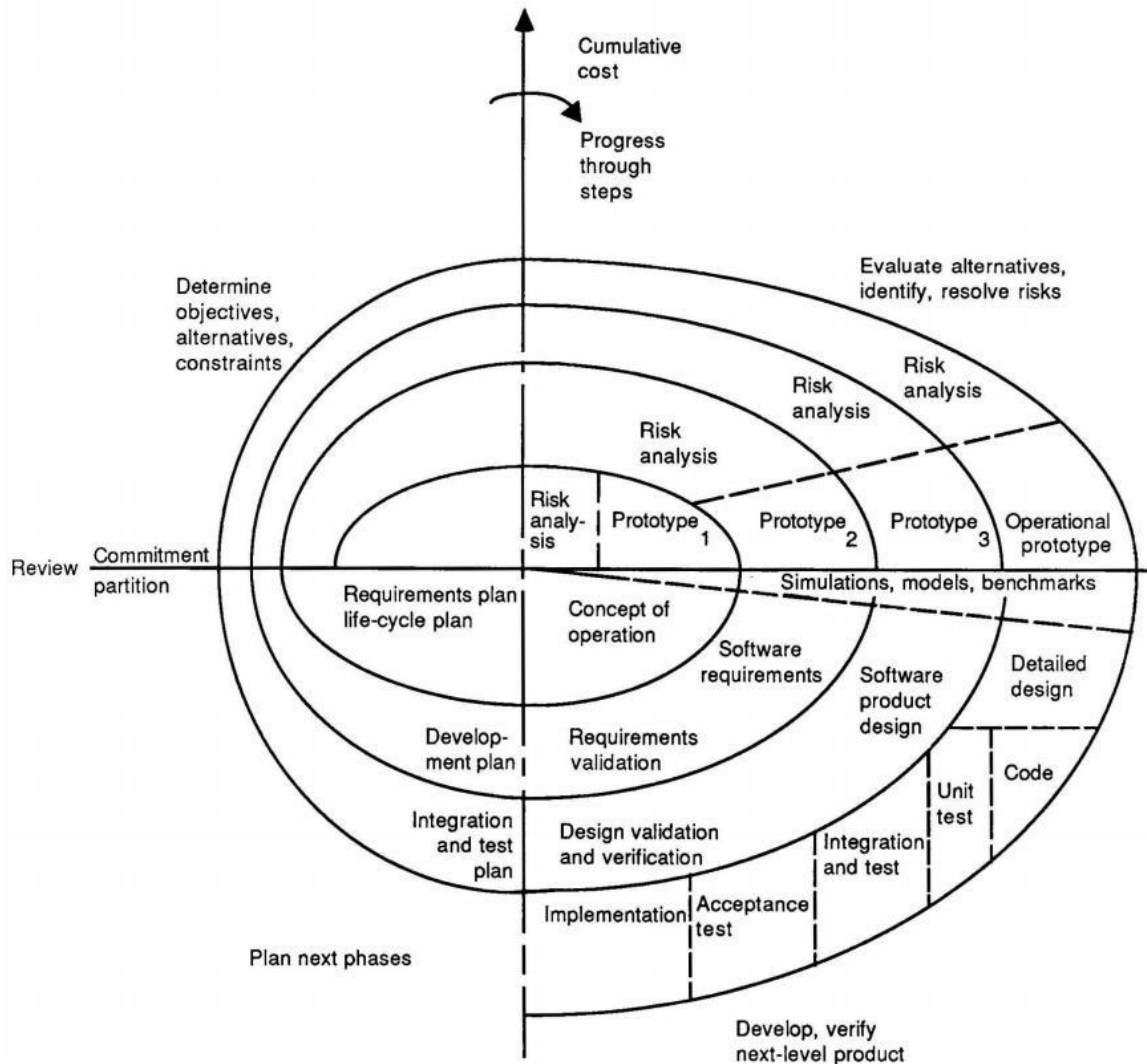


Abbildung 2: Spiralmodell nach Boehm (Boehm 1988)

Evolutionäre Entwicklung

Der Grundgedanke der evolutionären Entwicklung ist, die Entwicklungsschritte des Baseline-Management-Modells (eine leichte Abwandlung des Wasserfallmodells) mehrmals nach Abschluss eines Entwicklungsschrittes zu wiederholen. Wichtig ist hierbei, die Anforderungen an das Projekt zu Beginn der Evolutionsschritte immer wieder zu evaluieren und die Requirements ggf. neu aufzustellen. Innerhalb jeder Wiederholung sollte jedoch ein nutzbares Produkt, sprich eine getestete Baseline, entstehen (Goll 2011). Dies ist der wesentliche Unterschied zum Spiralmodell. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt das Vorgehen bei der evolutionären Entwicklung.

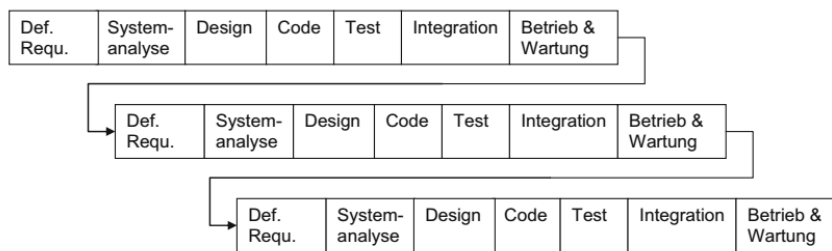


Abbildung 3: Evolutionäre Entwicklung (Dorfman und H. Thayer 1997)

Iterative Entwicklung

Bei der iterativen Softwareentwicklung werden mehrere geplante und kontrolliert durchgeführte Iterationsschritte vollzogen. Jeder Iterationsschritt ist ein vollständiger Entwicklungszyklus, der die Erfahrungen aus den vorherigen Schritten mit in die Entwicklung einfließen (Partsch 2010). Mit diesen Korrekturen und Verbesserungen entwickelt sich das System immer weiter und nähert sich so einer exakten Zielvorgabe an.

Es ist insbesondere dann sinnvoll, iterativ zu entwickeln, wenn keine konkreten Anforderungen an die Lösung oder keine Erfahrungen auf dem Gebiet vorliegen. Wie viele Iterationsschritte zur Fertigstellung des Projektes nötig sind, ist stark von dem jeweiligen Projekt abhängig und kann nicht pauschal beantwortet werden (Ludewig und Lichter 2013).

Inkrementelle Entwicklung

Die inkrementelle Entwicklung zeichnet sich durch die Entstehung in mehreren Ausbaustufen, den Inkrementen aus. Zuerst wird ein Kernsystem mit einer Grundfunktionalität entwickelt, das fortführend durch die verschiedenen Inkremente erweitert wird. Der Gesamtumfang des Projektes bleibt offen. Jedes Inkrement erweitert die Zielvorgaben mit jedem Zyklus, indem es die alten Komponenten verbessert und die Komponenten des Systems funktional erweitert. Dies unterscheidet das inkrementelle Vorgehen zum iterativen Vorgehen. Das inkrementelle Vorgehen eignet sich besonders dann, wenn ein klares Ziel noch nicht vorhanden ist und ein schnelles Ergebnis geliefert werden soll (Ludewig und Lichter 2013).

Beim Entwurf des Kernsystems ist darauf zu achten, dass ein weiterer Ausbau des Systems möglich ist. Eine erweiterte Variante des inkrementellen Vorgehensmodells ist die Einteilung in Major-,

Architectural- und Internal-Release, die die Inkremente auf die genannten Teilabschnitte aufgliedert und dort detaillierter gestaltet. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Aufbau einer möglichen inkrementellen Vorgehensweise mit dem grundsätzlichen Gedanken der Entwicklung von eigenständigen Inkrementen innerhalb der Phasen. In den ersten Teilabschnitten soll die generelle Struktur des Systems entworfen werden. Diese stellt die technische Grundlage für eine Implementierung der Teilabschnitte dar (Wieczorrek und Mertens 2011). Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt ein mögliches Vorgehen bei der inkrementellen Entwicklung.

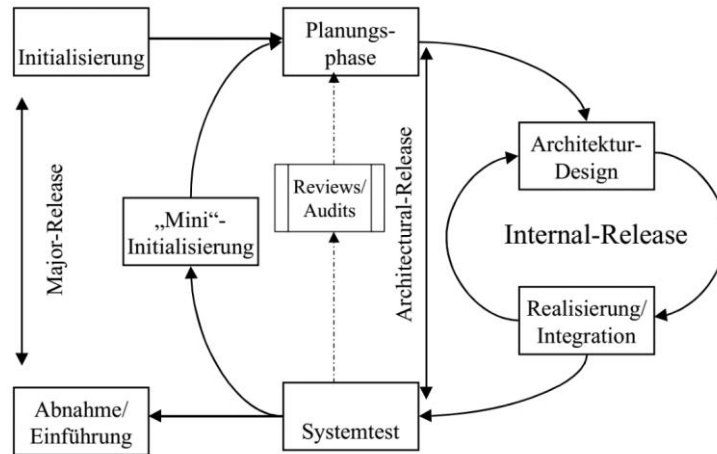


Abbildung 4: Darstellung eines möglichen inkrementellen Vorgehens mit mehreren Zwischenphasen aus (Jenny 2001)

2.4.3 Prozessmodelle

Eine Weiterentwicklung von Vorgehensmodellen sind Prozessmodelle. Sie erweitern die Vorgehensmodelle um paralleles Vorgehen und die Definition von Organisationsstrukturen und Verantwortlichkeiten. Hinzu kommen Vorgaben für das Qualitäts- und Projektmanagement und die Erstellung von Dokumenten. Sie sind meist für größere Entwicklerteams ausgelegt. Eine Vielzahl von Prozessmodellen hat die inkrementelle Vorgehensweise übernommen. Im Folgenden werden die beiden gebräuchlichsten Modelle kurz zusammengefasst.

V-Modell

Das V-Modell wurde in seiner ersten Variante Ende der 1980er-Jahre im Auftrag des Bundesverteidigungsministeriums zur Entwicklung komplexer Softwaresysteme ins Leben gerufen. Es wurde für die zivile Nutzung in einer ersten Version im Jahr 1992 unter dem Namen „V-Modell 92“ veröffentlicht und über das „V-Modell 97“ bis zum „V-Modell XT“ im Jahre 2005 weiterentwickelt. Im August 2015 wurde das V-Modell XT in seiner aktuellsten Version 2.0 veröffentlicht (Der Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik 2015).

Das V-Modell schreibt im Gegensatz zu anderen Modellen genau vor, was wann und wie entstehen soll. Grundlage des Vorgehens im Softwareentwicklungsprozess ist die V-förmige Darstellung, wie sie in Abbildung 24 erkennbar ist.

Das V-Modell XT ist auf ein produktorientiertes Vorgehen ausgerichtet. Es gilt als ein Referenzmodell, das auf jedes Projekt durch das sogenannte *Tailoring* individuell angepasst wird. Dies geschieht durch eine Reihe von Vorgehensbausteinen, deren Abarbeitungsfolge ebenfalls durch den Projekttyp entschieden wird (Wieczorrek und Mertens 2011; Knollmann 2007; Goll 2011). Sollen sicherheitskritische Systeme, in Bezug auf das Eisenbahnwesen z. B. die der Leit- und Sicherungstechnik, die äußerst gut dokumentiert sein müssen, entworfen werden, so sieht Knollmann den V-förmigen Prozess als die am besten dafür geeignete Grundlage (Knollmann 2007). Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt das Vorgehen im V-Modell.

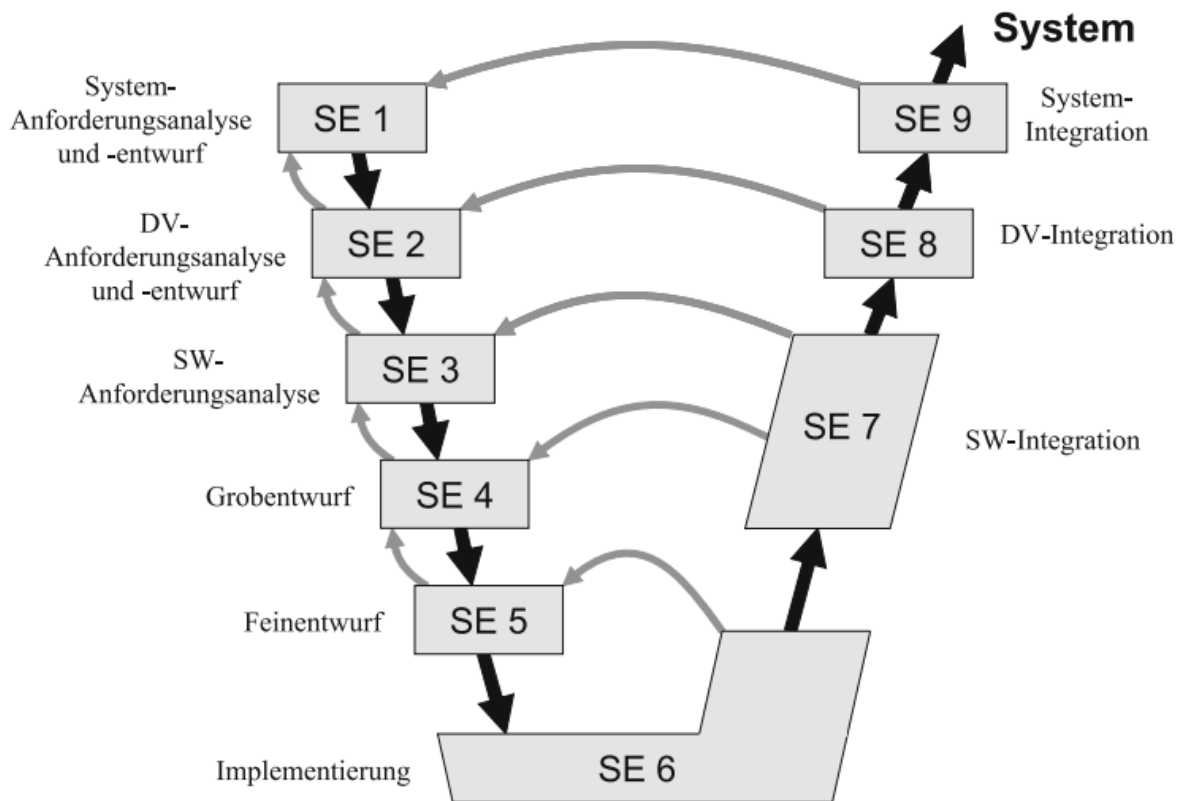


Abbildung 5: V-Modell (Knollmann 2007)

Rational Unified Process

Der Rational Unified Process (kurz: RUP) ist aus einer Erweiterung des Unified Process entstanden. Entwickelt wurde der RUP durch die Firma Rational als Ergänzung zur UML. Der RUP basiert auf einem Mix aus Wasserfall- und Spiralmodell und hatte das Ziel, den Systementwicklungsprozess zu vereinheitlichen (Specker 2005). Die einzelnen Projektphasen des Modells sind nicht mit den Entwicklungsschritten gekoppelt. Weiterhin arbeitet der RUP mit sogenannten Rollen, Aktivitäten und Artefakten, die aus dem Unified Process entnommen und konkretisiert wurden (Goll 2011).

Der Darstellung des RUP in Abbildung 6 können die Phasen (Einstieg, Ausarbeitung, Konstruktion, Überleitung) und die Arbeitskapazität des jeweiligen Entwicklungsschrittes innerhalb der Phase anhand der Größe der Fläche entnommen werden. Weiterhin sind im unteren Teil des Bildes die Anzahl der Iterationen zu erkennen. Der RUP ist ein iterativer Prozess, der die Phasen in zum Teil mehrere Iterationen teilt. Jede Iteration enthält eine inkrementelle Weiterentwicklung der jeweils relevanten (Ludewig und Lichter 2013).

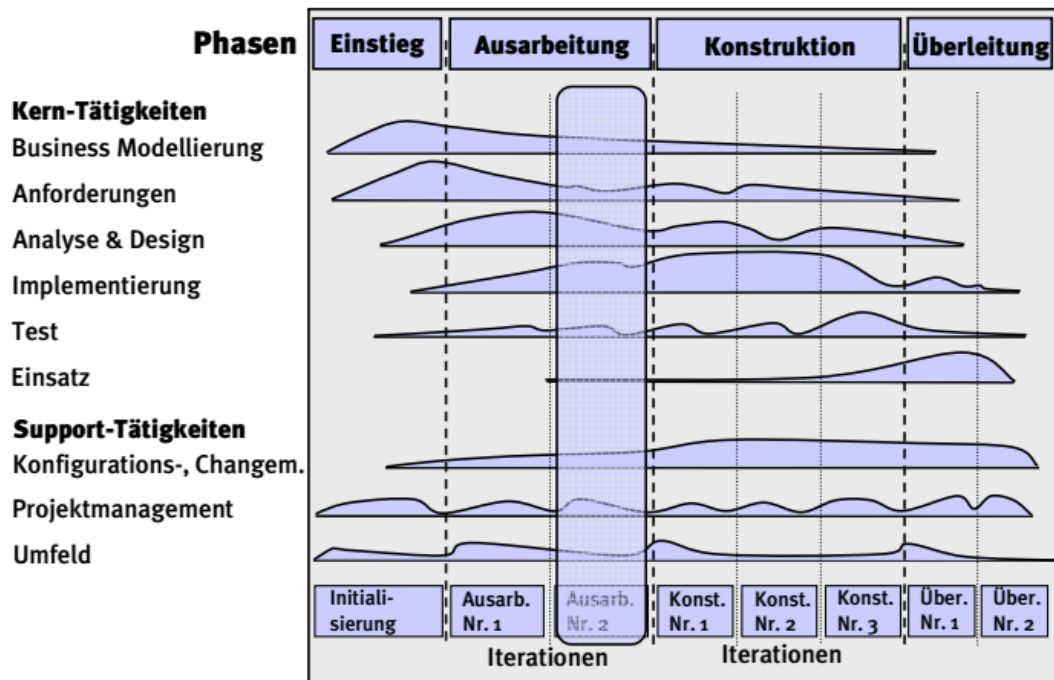


Abbildung 6: Phasenmodell des RUP (Specker 2005)

Kenntnis der UML wird für den Einsatz der RUP vorausgesetzt (Wieczorrek und Mertens 2011).

2.4.4 Zusammenfassung

Für komplexe Vorhaben mit großem und bisher nie in dieser Form umgesetzten Funktionsumfang ist es wichtig schnell funktionierende Zwischenprodukte zu erstellen, um den Erfolg der Umsetzung zu kontrollieren. Zukünftig zu erstellende Softwarelösungen, die auf dem im Rahmen dieser Arbeit zu erstellenden Werkzeug basieren und die formale Modellierung der Betriebsprozesse und Regeln nutzen, sind, der durchgeführten Literaturanalyse nach, in dieser Form noch nie umgesetzt worden.

Für die schnelle Erstellung von Zwischenprodukten, die jeweils bereits einen Einzelnutzen aufweisen, zur die Überprüfung des Umsetzungserfolges eignet sich die iterative Entwicklung sehr gut.

Die iterative Entwicklung wird für die später im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Entwicklung des Werkzeugs zur formalen Modellierung von betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsprozessen und Regeln eingesetzt.

3 Beschreibung der Fachinterviewreihe

3.1 Einleitung

Um zusätzlich zu den Ergebnissen der durchgeführten und dargestellten Recherche einen unmittelbaren Einblick in den aktuellen Stand und die bereits angestoßenen Entwicklungen zum Einsatz von formalen Modellierungen in der Regelwerkserstellung und -pflege zu erhalten, wurde mit Vertretern der DB Netz AG eine Fachinterviewreihe durchgeführt (vgl. Anlage 1: Fragebogen zur Fachinterviewreihe). Neben diesem Ziel galt es ebenso, mögliche Einsatzfelder formaler Methoden durch die Befragung zu identifizieren. Hierfür waren auch der aktuell durchgeführte Regelwerkserstellungs- und Pflegeprozess sowie der generelle (modulare) Aufbau der Regelwerke und der Umgang mit Querbezügen zu anderen Regelwerken Themen der Fachinterviews. Aus den Ergebnissen der Fachinterviewreihe können Rückschlüsse zum Stand der Anwendung und den geltenden Rahmenbedingungen für die Anwendung von formalen Modellierungen im System Bahn gezogen werden.

Die Fachinterviewreihe wurde durch den Ersteller dieser Arbeit 2016 im Rahmen des, durch das Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik gemeinsam mit der DB Netz AG durchgeführte, Forschungsprojekt FormbaR (<https://formbar.raillab.de>) durchgeführt. Die Mitschnitte und Protokolle der durchgeführten Interviews sind am Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik einsehbar. Die Interviews mit insgesamt 14 für die DB Netz AG tätigen Interviewpartnern deckten die folgenden Richtlinien, Projekte und Arbeitsbereiche ab:

- Ein Interviewpartner aus dem Kreis der Regelwerksautoren der Richtlinie 408: Fahrdienstvorschrift
- Zwei Interviewpartner aus dem Kreis der Regelwerksautoren und Regelwerksverantwortlichen der Richtlinie 413: Betriebliche Infrastrukturplanung bei der DB Netz AG
- Ein Interviewpartner aus dem Kreis der Regelwerksautoren der Richtlinie 809: Infrastrukturmaßnahmen planen, durchführen, abnehmen, dokumentieren und abschließen
- Ein Interviewpartner aus dem Kreis der Regelwerksautoren der Richtlinie 819: LST-Anlagen planen
- Zwei Interviewpartner aus der Systemstelle Regelwerkskoordination
- Zwei Interviewpartner aus dem Projekt PlanPro (Durchgängige, elektronische Datennutzung ohne Medienbrüche in der Leit- und Sicherungstechnik)
- Ein Interviewpartner aus dem Projekt NeuPro (Vereinheitlichung von Schnittstellen Elektronischer Stellwerke)
- Ein Interviewpartner aus dem ETCS Anforderungsmanagement bei der DB Netz AG
- Zwei Interviewpartner zur Dokumentation von Schaltfällen von Bahnübergangssicherungsanlagen

3.2 Inhalte der Fachinterviewreihe

Mit der Fachinterviewreihe sollen Aussagen über den Stand der Anwendung und über Rahmenbedingungen für die Anwendung von formalen Modellen und Methoden gesammelt werden – und zwar für alle Phasen im Lebenszyklus eines Regelwerks: Beginnend bei der Anforderungsanalyse bis hin zur Anwendung. Laut Auswertung der Literatur werden dafür die drei folgenden Phasen unterschieden:

- Planungsphase von der Anforderungsanalyse bis zum ersten Entwurf in Ideenform
- Erstellungsphase von der Phase der Grenzwertfindung mit oder ohne Simulationen bis hin zum Erstellen des Richtliniendokuments
- Betriebsphase von der Genehmigung des erstellten Richtliniendokuments über die Inbetriebnahme bis hin zur Anwendung durch den Anwender der Richtlinie

Ausgehend von einem aus der Literatur abgeleiteten grundlegenden Verständnis zum Prozess der Regelwerkserstellung wurden Fragen zum Ablauf der einzelnen Phasen aufgestellt.

Die Planungsphase beginnt mit dem Management der Anforderung für das zu erstellende oder zu ändernde Regelwerk. Für dieses Anforderungsmanagement können durch den Ersteller Prozesse und Tools in unterschiedlichem Grad verwendet werden, um Anforderungen zu sammeln und zu erfassen. In den späteren Prozessschritten zur Erstellung oder Änderung des Regelwerkes muss gegen die dokumentierten Anforderungen die Zielerfüllung der neu erstellten oder geänderten Regelwerke geprüft werden. So ergeben sich folgenden Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Wie wird die Nachverfolgbarkeit der gesammelten Anforderungen in den weiteren Phasen sichergestellt?
- Wie wird dokumentiert, was der Auslöser für eine erfasste Anforderung war?

Bereits in der Planungsphase kann vom Ersteller geprüft werden, ob Inhalte des zu erstellenden oder zu ändernden Regelwerks bereits existieren. Diese Inhalte können entweder aus einer vorherigen Version des zu bearbeitenden Regelwerks stammen oder aus einem anderen Regelwerk oder Projekt. So ergeben sich folgenden Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Wird auf die Wiederverwendbarkeit von erstellten Inhalten in anderen Regelwerken oder Projekten Wert gelegt?
- Gelten regelwerksübergreifende Definitionen von grundlegenden Zusammenhängen oder Prozessen oder regelwerksübergreifende Definitionen für Begriffe, die eine Wiederverwendbarkeit erstellter Inhalte erleichtern würden?
- Sollte es diese regelwerksübergreifenden Definitionen nicht geben: Werden Definitionen aus anderen Firmen oder von europäischen Einrichtungen wie der Eisenbahnagentur der Europäischen Union in die Regelwerke übernommen, um die europaweite Einsetzbarkeit der Inhalte zu unterstützen?

Bevor mit der Erstellung begonnen werden kann, muss das Team festgelegt werden, das die neuen Inhalte erstellen wird. Je größer das Team, und um so verteilter die Bearbeiter sind, desto mehr kann eine Tool-Unterstützung die gemeinsame Arbeit erleichtern. So ergeben sich folgenden Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Muss hierbei ein Team zusammengestellt werden?
- Setzt sich das Team aus Mitgliedern unterschiedlicher Firmen/Abteilungen der Deutschen Bahn zusammen?

In der Erstellungsphase werden die neuen Inhalte der Regelwerke realisiert. Um z. B. neue Grenzwerte festlegen zu können, sind praktische Untersuchungen, rechnerische Nachweise oder Simulationen notwendig. So ergeben sich folgenden Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Werden Simulationssoftware oder andere Werkzeuge zur Simulation des Betriebs eingesetzt, um die Auswirkungen von Grenzwertänderungen abschätzen zu können?
- Werden für solche Simulationen reale Betriebsdaten und reale Szenarien eingesetzt, um die Auswirkungen realitätsnah zu erfassen?
- Gibt es hierfür automatisierbare Analysen, die den Ersteller in seiner Arbeit entlasten?
- Ergeben sich aus den Simulationen Kenngrößen, wie beispielsweise erreichbare Kapazitätsreserven, werden diese Ergebnisse weiterverwendet für die Arbeit an anderen Regelwerken?

Der Ersteller kann nicht nur durch Simulationssoftware bei seiner Arbeit unterstützt werden, auch Visualisierungen erleichtern vor allem den Austausch der Teammitglieder bei der gemeinsamen Arbeit an den neuen Regelwerksinhalten. Der Einsatz von weiteren Werkzeugen können den Autor z. B. bei der Qualitätssicherung unterstützen. So ergeben sich folgende Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Werden für die Arbeit spezielle Visualisierungstools genutzt?
- Gibt es Automatismen, Methoden oder Software zur Qualitätssicherung und zur Sicherstellung der Vollständigkeit des neu erstellten Regelwerks?
- Wie wird bei der Erstellung die Kompatibilität weiterentwickelter Module mit dem gesamten eigenen Regelwerk und anderen Regelwerken geprüft?

Bevor die neuen Regelwerke gültig sind, müssen die geänderten Inhalte abgenommen und genehmigt werden. So ergeben sich folgende Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Was sind hierbei die beteiligten Gremien?
- Erhalten die beteiligten Gremien für die Genehmigung nur Erläuterungsberichte oder auch Rechen-/Simulationsergebnisse?
- Wie häufig werden durch die Genehmigungsbehörden noch Fehler gefunden?
- Wie sind die Anforderungen für ein erneutes Anstoßen des Genehmigungsprozesses?

Neben der Genehmigung gehören zur Betriebsphase noch die Pflege des Regelwerks mit unterjährigen Aktualisierungen und die Anwendung im täglichen Betrieb. Mit Blick auf den zukünftigen Anwender in der Betriebsphase ergeben sich folgende Fragen für die Fachinterviewreihe:

- Ist es für den Anwender denkbar, auf eine natürlichsprachliche Version des Regelwerks zu verzichten?
- Welche anderen Darstellungsformen von Regeln und Prozessen aus den Regelwerken sind denkbar?

Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt die abgefragten Themen in einer kurzen Zusammenfassung.

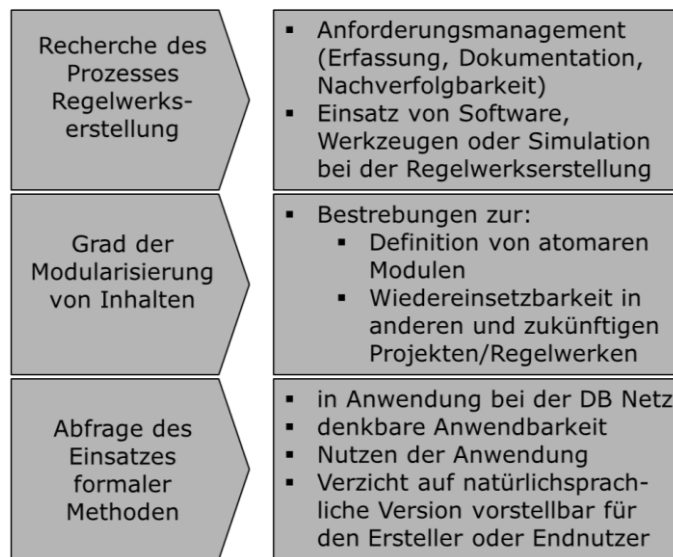


Abbildung 7: Themen der Fachinterviewreihe

Zu jeder Phase wurde zusätzlich abgefragt, mit welchem zeitlichen Aufwand die Schritte zu realisieren sind, und welche Abhängigkeiten zu nachfolgenden und vorherigen Prozessen bestehen. Das kann Hinweise auf umfangreiche Arbeitsschritte geben und somit Ansatzpunkte für den Einsatz von Automatismen liefern, die auf einem formalen Modell basieren und die einen Zeitgewinn entweder für langwierige Planungsvorhaben oder für betriebsbehindernde Abweichungen vom Regelbetrieb versprechen.

3.3 Ergebnisse der Fachinterviewreihe

Die Auswertung der Fachinterviewreihe ergab verschiedene über die Ergebnisse der Literatuarbeit hinausgehende Quellen und Anwendungen, die in nachfolgender Aufzählung zusammengefasst sind:

- Testfälle für Infrastrukturplanung:
 - SCHEMATRON-Regeln zur Prüfung von Planungsregeln (PlanProXML)
- Modellierung von Betriebsverfahren
 - Dokument „Betrieblich-technische Systemfunktionen 3“ als Lastenheft für den Betrieb unter ETCS in Deutschland
- Prozessmodell DB Netz AG zur einheitlichen Modellierung von Infrastrukturdaten und Geschäftsprozessen

Neben diesen weiteren Quellen ergaben die durchgeführten Fachinterviews zusätzliche Hinweise zur Arbeitsweise bei der Erstellung von Regelwerken und Ansatzpunkte für zukünftige Anwendungsszenarien.

Planungsphase-Anforderungsmanagement

Im Anforderungsmanagement werden unterschiedliche Lösungen eingesetzt: von Hand gepflegte Tabellen, Share-Point-Server-Ticketing-Systeme, vollumfängliche Change-Request-Verfahren oder weitere Lösungen.

Die Dokumentation von Änderungen im Regelwerk geschieht sowohl in öffentlichen Begleitschreiben und nicht öffentlichen E&E-Papieren.

Planungsphase-Modularisierter Aufbau

Die Arbeit an Regelwerksmodulen, im Gegensatz zur Arbeit am gesamten Regelwerk, ermöglicht eine zeitlich und inhaltlich flexiblere Arbeitsweise. Eine Begrenzung oder Kapselung der vorgenommenen Änderungen auf ein bearbeitetes Regelwerksmodul wird angestrebt.

Dies ist jedoch nicht immer möglich. In diesen Fällen müssen die Querbezüge zu anderen Regelwerken klar sein, um dort entsprechende Änderungen anzustoßen. Hierbei könnten Informationsnetze mit gepflegten Querbezügen und Visualisierungen der Abhängigkeiten die Arbeit unterstützen und den Zugang zu allen relevanten Regelwerksinhalten erleichtern.

Bisher ist keine solche Lösung bei der DB Netz AG im Einsatz. Jedoch wurde das Projekt „Prozessmodell DB Netz AG“ mit dem Ziel begonnen, gemeinsamen feste Definitionen zu Informationsprojekten und Prozessen zu beschreiben.

Planungsphase-Entwurf

Das Wissen über Querbezüge zu anderen Regelwerken und neu zu erstellende Inhalte ist gebunden an den Fachautor. Er wird in seiner Arbeit durch ressortübergreifende Workshops unterstützt. Die Änderungen im Regelwerk werden durch betroffene Ressorts bereits in der Entwurfsphase mitgezeichnet.

Für die technische Grenzwertermittlung – beispielsweise mittels einer Simulation – werden weitgehend nur externe Gutachter beauftragt.

Erstellungsphase-Realisierung

Regel- und Grenzwerte können auch ausschließlich in Bildern ohne Textversion vorliegen. Die bildlichen Prozessdarstellungen und der Richtlinien text bilden das Regelwerk.

Erstellungsphase-Simulation

Es werden vereinzelt Simulationsprogramme z. B. für die Simulation des Reisendenflusses an Reisendenübergängen, des Wildschutzes oder für die Bremskurvenberechnung eingesetzt. Die European Railway Agency (kurz: ERA) stellt ein Tool zur Bremskurvenberechnung zur Verfügung.

Betriebsphase

Die Meinungen zu einem Verzicht auf eine natürlichsprachliche Version des Regelwerks gehen weit auseinander. Teilweise wird ein Verzicht aufgrund der Mehrdeutigkeit der natürlichsprachlichen Version als sehr vorteilhaft angesehen. Denkbar ist auch eine stärkere Konzentration auf Prozessdarstellungen statt die natürlichsprachliche Version. Ebenfalls wird aber auch die Meinung vertreten, dass eine undenkbar sei, da die Lesbarkeit des Regelwerks für den Endnutzer immer gegeben sein muss.

3.4 Zusammenfassung

Die u. a. aus der Fachinterviewreihe hervorgegangenen Anwendungsszenarien werden in den nachfolgenden Kapiteln wieder aufgegriffen. Ebenfalls werden die im Rahmen der Fachinterviewreihe gesammelten Aussagen zum möglichen Verzicht auf natürlichsprachliche Versionen von Regelwerken bei der Bewertung der Anwendungsfälle in Abschnitt 5.3 berücksichtigt. Der im Rahmen der Fachinterviewreihe gesammelte Überblick über vorhandene, wie die Schnittstellenmodellierung im Projekt NeuPro, oder, wie bei der Modellierung der Infrastruktur im Prozessmodell der Fall, in Entwicklung befindliche Anwendungen von formalen Modellierungen hilft bei der Eingrenzung der Forschungslücke. Im folgenden Kapitel werden neben der Forschungslücke in der formalen Modellierung von Eisenbahnregelwerken und der Aufgabenstellung, die sich aus der Forschungslücke ergibt, weiterhin die Methode und die daraus resultierende Vorgehensweise zur Aufstellung eines Prozesses für die formale Modellierung von Regelwerksinhalten der Eisenbahnen beschrieben.

4 Problemstellung

4.1 Aufgabenstellung

Forschungslücke in der formalen Modellierung von Eisenbahnregelwerken

Für die Beschreibung von Spezifikationen z. B. für Hard- und Software der Leit- und Sicherungstechnik und die Analyse von Prozessen im Software Engineering ist die Forschung zum Einsatz von formalen Methoden bereits fortgeschritten, wie die vorangegangene Literaturliste zeigt. Die vorhandenen formalen Beschreibungen beziehen sich entweder auf Planungsprozesse, Softwareentwicklungsprozesse oder auf die Kommunikation von Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik untereinander.

In den aufgezeigten Beispielen zur Beschreibung von Spezifikationen mit formalen Modellen kommt es entweder bei den formal beschriebenen Entwicklungsprozessen zum Austausch von Dokumenten mit spezifizierten Inhalten. Meist sind die Verfahren für die Teamarbeit an Softwareprojekten vorgesehen, wie z. B. das V-Modell. Oder die Kommunikation von Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik untereinander wird in Form von Telegrammen formal spezifiziert und für eine spätere Entwicklung vorgegeben.

Bei der Beschreibung von Hard- und Software der Leit- und Sicherungstechnik kommen oft Standardschnittstellen zum Einsatz, die eine Punkt-zu-Punkt-Kommunikation beschreiben. Die Kommunikation mit mehreren Beteiligten ist dort nicht abgedeckt, sondern muss über mehrere Schnittstellen abgedeckt werden. Diese Beteiligten werden im Folgenden als *Akteur* bezeichnet. Ein Akteur kann ein Mensch sein, eine Komponente der Leit- und Sicherungstechnik oder der Zug.

An der Einführung von Automatismen zur Überprüfung von Infrastrukturplanungen wird derzeit gearbeitet.

Der tatsächliche Einsatzzweck, der sowohl der Leit- und Sicherungstechnik als auch der Infrastrukturplanung zugrunde liegt, der Eisenbahnbetrieb, ist bisher in dieser Art nicht beschrieben. Die Überführung von betrieblichen Regeln der Eisenbahnen in eine formale maschinenlesbare Form ist bis dato nicht erforscht. Bei diesen betrieblichen Regeln handelt es sich um eine Vermischung von Aufgaben der Leit- und Sicherungstechnik sowie des Betriebspersonals und der Kommunikation untereinander.

Aufgabenstellung

Um die in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln in ein formales maschinenlesbares Modell zu überführen, muss ein Werkzeug erstellt werden. Dieses Werkzeug muss Abstraktionsregeln und die Beschreibung von Prozessschritten für die formale Modellierung enthalten. Ein zukünftiger Anwender des Werkzeuges soll somit in die Lage versetzt werden, die Inhalte selbst in eine formale maschinenlesbare Form zu übertragen.

Auf den zukünftigen Anwender muss bei der Erstellung des Werkzeuges noch weiter Rücksicht genommen werden. Der Anwender muss mit dem auszuwählenden Beschreibungsmittel arbeiten können.

Das erstellte Werkzeug soll an einem Anwendungsbeispiel angewendet werden, um die Eignung des erarbeiteten Werkzeuges zu demonstrieren.

Um auf den Ergebnissen der Literaturrecherchen aufbauend mit der Erarbeitung des Werkzeuges zur formalen Modellierung von Inhalten von Eisenbahnregelwerken beginnen zu können, müssen zunächst Anforderungen an dieses Werkzeug abgeleitet werden.

4.2 Anforderungen an das Werkzeug zur formalen Modellierung

Von den verschiedenen Stakeholdern ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde einheitliche Modellierung von Betriebsverfahren/Regeln. So muss ein Anwender die Regeln schnell und verständlich nachlesen können, wenn er diese anwenden möchte. Ein Softwareentwickler, der diese Regeln in eine Software überführt, kopiert die Regeln am liebsten unverändert einfach in seinen Code. Deshalb muss unterschieden werden, wer die Anforderung stellt.

Darüber hinaus ergeben sich je nach Anwendungszweck in den drei eingeführten Phasen Plan, Build und Run unterschiedliche Anforderungen, die eventuell nur für eine, mehrere oder alle drei Phasen gelten. In jeder der Phasen ist die gestellte Anforderung unter Umständen eine Anforderung, auf die nicht verzichtet werden kann, in anderen Phasen aber schon.

Deshalb wird folgende Beschreibung für die Anforderungen gewählt:

- Kurzname (Beschreibung, Stakeholder, Muss-Anforderung[optional])

Regelwerke und Regelwerksänderungen müssen geplant, erstellt und angewendet werden. Das Werkzeug sollte für verschiedene Phasen im Lebenszyklus Regelwerken der Eisenbahnen einsetzbar sein.

Aus der Fachinterviewreihe ergibt sich die Liste der an diesen Phasen beteiligten Stakeholder:

- Fachautoren, die das Regelwerk erstellen
- Gutachter, die das neu erstellte Regelwerk zum neuen Betriebsverfahren auf ihre Gültigkeit hin überprüfen und dabei internationale sowie nationale Vorschriften, Gesetze, Verordnungen und Anforderungen an das Sicherheitsniveau beachten müssen
- Zulassungsbehörden, die an der Zulassung des neuen Regelwerks zum neuen Betriebsverfahren beteiligt sind
- Eisenbahnbetriebsleiter, welche die Umsetzung des Regelwerks zu neuen Betriebsverfahren in ihren Organisationseinheiten oder Unternehmen überwachen
- Betriebspersonal, das im täglichen Betrieb mit dem neuen Regelwerk konfrontiert ist
- Weitere Anwender wie Infrastrukturplaner, die das Regelwerk anwenden
- Personalräte, die Stellung nehmen können z. B. zu arbeitsrechtlichen Konsequenzen des neuen Betriebsverfahrens

In Anlehnung an die Strukturierung der Fachinterviewreihe in die drei Phasen Plan, Build und Run sowie die aufgeführten Unterschritte in den einzelnen Phasen werden die gesammelten Anforderungen wie folgt strukturiert und entsprechend der oben eingeführten Kurzform beschrieben:

-
- Planungsphase (Plan)
 - Anforderungsmanagement
 - Anwender und Autoren sollen neue Anforderungen melden und erfassen können, um bestehende Regelwerke auf dieser Grundlage weiterentwickeln zu können. Ein Einsatz eines Werkzeugs zur formalen Modellierung bereits in diesem Prozessschritt erleichtert die Nachverfolgbarkeit der Anforderungen in den weiteren Prozessschritten.
 - PA1 (unterstützt beim Anforderungsmanagement, Autor und Anwender)
 - Modularisierter Aufbau
 - Um die Wiederverwendbarkeit und die Kompatibilität von erstellten Inhalten mit anderen Regelwerken auch außerhalb zu ermöglichen, sollen Regelwerksdefinitionen (auch firmenübergreifend gültige) erstellt werden. Diese Module können zudem international eingesetzt werden.
 - PM1 (universelle Sprache für internationale Einsetzbarkeit, alle Stakeholder)
 - Diese Module dienen allen Beteiligten als Grundlage für eine gemeinsame Definition von Grundbegriffen und Prozessen. Die Gefahr von Verwechslungen und der Fehlinterpretation wird somit minimiert.
 - PM2 (grundlegende abstrakte Module definieren, alle Stakeholder)
 - Entwurf
 - Um mehr Fachexperten im eigenen und in anderen Unternehmen in die Weiterentwicklung einbinden zu können, soll die formale Modellierung möglichst vielen Nutzergruppen zugänglich und für diese verständlich sein.
 - PE1 (Zugänglichkeit, Autoren)
 - PE2 (Verständlichkeit, Autoren)
 - Ein Regelwerk für die Deutsche Bahn muss die Trennung von Netz und Betrieb berücksichtigen, ein Regelwerk für ein Stadtbahnsystem oder eine Hafenbahn müsste das nicht. Bei der Trennung von Netz und Betrieb hätte ein Unternehmen keinen direkten Einfluss auf die Regelungen des anderen Unternehmens, ggf. nur durch gemeinsame Gremienarbeit. Das zu entwickelnde Werkzeug muss demnach Regeln, die durch das erstellende Unternehmen nicht veränderbar sind, trotzdem ebenfalls mitmodellieren, falls sie unabdingbar für den Einsatzzweck des erstellenden Unternehmens sind, aber gleichzeitig als unveränderbar kennzeichnen können.
 - PE3 (einsetzbar für das Gesamtsystem Bahn, alle Stakeholder)

-
- Erstellungsphase (Build)
 - Realisierung
 - Für die Vermittlung von komplexen Inhalten bieten sich Visualisierungen an. Für den besseren Austausch untereinander sollen Visualisierungen eingesetzt werden können.
 - ER1 (Visualisierungen ermöglichen, Autor)
 - Ein Regelwerk wird von Menschen geschrieben, deshalb muss eine formale Modellierung durch Menschen erstellt werden können.
 - ER2 (Mensch kann erstellen, Autor, Muss-Anforderung)
 - Um keine neuen Autoren einlernen zu müssen, soll das neue Werkzeug durch die bereits an Regelwerken arbeitenden Autoren angewendet werden können.
 - ER3 (Anwendung durch heutige Autoren, Autor)
 - Gegebenenfalls muss der Autor auf Tools zurückgreifen können, die ihn mit Automatismen, Methoden oder Software zur Qualitätssicherung und zur Sicherstellung der Vollständigkeit bei der Erstellung unterstützen.
 - ER4 (Nutzung in Softwaretools, Autor)
 - Wenn mehrere Autoren an einem neuen oder veränderten Regelwerk arbeiten, muss dies für die Arbeit in der Erstellungsphase aber auch für die Zertifizierung durch die Genehmigungsbehörde nachzuverfolgen sein.
 - ER5 (Änderungen nachverfolgbar, Autor)
 - Der bestehende Prozess der Regelwerkserstellung soll nicht um zusätzliche Schritte oder Schnittstellen zu externen Stellen erweitert werden, um die Realisierungszeiten nicht zu verlängern.
 - ER6 (keine zusätzlichen Schritte, Autor)

-
- Simulation
 - Wenn Änderungen durchgeführt werden, um neue Verfahren oder Grenzwerte eines Regelwerks auszuprobieren, bevor diese neuen Verfahren oder Grenzwerte in das Regelwerk fließen, soll die Wirkung offenbar werden. Automatisierbare Analysen, Berechnungen oder Simulationen können helfen, die Wirkung zu erfassen.
 - ES1 (Simulationen ermöglichen, Autor und Genehmigungsbehörde)
 - Eine unmittelbare Möglichkeit zum Vergleich mit vorherigen Zuständen bei Änderungen im Modell sollte gegeben sein, um eine Entscheidung über die Qualität der Änderung treffen zu können. Dies ist vor allem für den Autor bei der Arbeit der Erstellung interessant, weniger für die Genehmigungsbehörde, die nur die Konformität gegenüber Vorgaben klären muss, nicht die Qualität der Änderung.
 - ES2 (Vergleichbarkeit/Historie, Autor)
 - Die Nutzung von realitätsnahen Szenarien oder realen Betriebsdaten für Simulationen auf einer Infrastrukturmodellierung aus möglichst realitätsnahen oder realen Infrastrukturdaten ermöglicht eine bessere Aussage über die Auswirkung von Änderungen in den modellierten Regelwerken.
 - ES3 (Nutzung realer Betriebs- und Infrastrukturdaten, Autor)
 - Kenngrößen als Ergebnisse aus Simulationen, die auf etablierten Verfahren zur Berechnung von Kenngrößen (z. B. zur Kapazität von Strecken) basieren, können helfen, die modellierten Änderungen miteinander zu vergleichen.
 - ES4 (Kenngrößen berechnen, Autor und Entscheider)

-
- Betriebsphase (Run)
 - Genehmigung
 - Sowohl bei der Regelwerkserstellung als auch bei der Genehmigung der Regelwerke ist heute ausschließlich Expertenwissen von Autoren und Gutachtern gefragt. Eine automatische Überprüfung der erstellten Inhalte durch formale Nachweise kann diese Arbeit erleichtern und beschleunigen.
 - RG1 (formale Nachweise erleichtern, Autoren und Genehmigungsbehörden)
 - Vor allem im betrieblichen Regelwerk wird eine Abstraktion jedoch denkbar und sollte durchgeführt werden, um mit diesen abstrahierten Strukturen die Vorbedingungen für spätere formale Nachweise vorteilhaft zu gestalten. Einfache Strukturen lassen einfacher und schneller durchführbare Nachweise erwarten.
 - RG2 (Abstraktion, Genehmigungsbehörden)
 - Pflege
 - Die Alternative zur einer für den Menschen gut lesbaren formalen Darstellung ist die Parallelpflege mehrerer Regelwerke, z. B. eine natürlichsprachliche Fassung des Regelwerks und ein maschinenlesbares Regelwerk. Dies kann aber zu Widersprüchen führen, wenn der Pflegeprozess Lücken aufweist. Um dieser Gefahr zu entgehen, sollte nur ein Dokument erstellt werden.
 - RP1 (ein einzelnes Dokument, Autor)
 - RP2 (widerspruchsfreies Endergebnis, Autor, Genehmigungsbehörde, Muss-Anforderung)
 - Anwendung
 - Ein Regelwerk ist für Menschen geschrieben, deshalb muss eine formale Modellierung für Menschen mindestens lesbar sein. Sind weitere Qualifikationen für die Lesbarkeit beim Leser in der Planungsphase notwendig, wird dies über die Anforderungen PE1 und PE2 bewertet.
 - RA1 (für den Menschen lesbar, Muss-Anforderung)
 - Für die Vermittlung von komplexen Inhalten bieten sich Visualisierungen an.
 - RA2 (Visualisierungen ermöglichen, Anwender)
 - Für Tools, die auf den formalisierten Inhalten von Regelwerken basieren und die in der Phase Run eingesetzt werden, sind schnelle Ergebnisse von Simulation oder Abfragen wichtig, da die Ergebnisse unmittelbar im laufenden Betrieb eingesetzt werden können müssen. Für die anderen Phasen können auch lange Laufzeiten in Kauf genommen werden.
 - RA3 (schnelle Laufzeiten im Betrieb, Anwender, Muss-Anforderung)

Das Spektrum der Inhalte von Regelwerken der Eisenbahnen ist breit gestreut. Das können Spezifikationen zu neuen Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik, neue Betriebsverfahren, neue Planungsvorschriften für ETCS-Datenpunkte oder Anweisungen für das Sicherungspersonal für das Verhalten im Gleisbereich sein. Alle Regelwerke haben schlussendlich zum Ziel, Eisenbahnbetrieb auf der Schiene zu ermöglichen. Deshalb ist die Möglichkeit, Betriebsprozesse modellieren zu können, wichtig, um die Wirkung von Änderungen an den in den Regelwerken beschriebenen Inhalten erfassen zu können.

- A1 (Betriebsprozesse modellieren, alle, Muss-Anforderung)

Zur Sicherstellung der Vollständigkeit wurde die Liste der Anforderungen mit Experten aus Forschung und Praxis diskutiert und auf Grundlage der Rückmeldungen ergänzt.

Darüber hinaus gibt es allgemeine nicht funktionale Anforderungen an das Werkzeug, die sich in dieser Form auf viele andere Entwicklungsprozesse übertragen lassen. Das Entwicklungsergebnis muss z. B. erweiterbar, der Entwicklungsprozess für eine Weiterentwicklung und eine grundlegende Begreifbarkeit des Modells nachvollziehbar oder der in der Softwareentwicklung typischerweise eingesetzte „Top-Down-Prozess“ des SRS (System Requirements Specification) möglich sein.

Diesen nicht funktionalen Anforderungen kann mit den gesammelten formalen Beschreibungsmitteln Genüge getan werden. Hier unterscheiden sich die Beschreibungsmittel nur im Aufwand bei der Anwendung in unterschiedlichen Vorgehensmodellen für z. B. die Softwareerstellung. Die genannten nicht funktionalen Anforderungen werden daher nicht weiter betrachtet.

Die oben gesammelten funktionalen Anforderungen zeigen bereits zahlreiche Vorteile und Anwendungsfälle für eine formale Modellierung von betrieblich-technischen Regelwerken auf. Im folgenden Abschnitt werden Methoden zur Erarbeitung einer für diese Aufgabenstellung geeigneten formalen Modellierung ausgewählt.

4.3 Methode

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren/Regeln zu entwickeln.

Für die Erfassung der vorhandenen Beschreibungsmittel zur formalen Modellierung werden eine Literaturlauswertung und eine Expertenbefragung in Form einer Fachinterviewreihe durchgeführt. Teil der Literaturlauswertung ist ein Benchmarking zum Einsatz von formalen Beschreibungsmitteln in anderen Industriebereichen.

Aus der Literatur sowie aus der Expertenbefragung ergeben sich Anforderungen an das zu erstellende Werkzeug, die in einem Anforderungskatalog in Abschnitt 4.2 gesammelt dargestellt sind.

Die Beschreibungsmittel zur formalen Modellierung müssen gegen den aufgestellten Anforderungskatalog (vgl. Abschnitt 4.2) auf ihre Einsetzbarkeit hin geprüft werden. Ziel hierbei muss sein, vorhandene und bewährte Beschreibungsmittel so weit wie möglich wiederverwenden oder nur im notwendigen Maß weiterentwickeln zu können. Die Einsetzbarkeit der Beschreibungsmittel wird über eine vergleichende Bewertung beurteilt.

Um die mit dem zu erstellenden Werkzeug zu formalisierenden Inhalte festzulegen, muss eine Richtlinie als Basis ausgewählt werden. Für eine möglichst relevante Richtlinie wird ein Katalog von Unfallereignissen der letzten Jahre bei den deutschen und schweizerischen Eisenbahnen erstellt. Hierfür werden Unfallberichte dieser Ereignisse systematisch auf die Unfallursache hin untersucht und die Ereignisse in vier Cluster eingeteilt. Für eine auf einer Richtlinie basierenden Anwendung, die eine Verbesserung im System Bahn durch ein Gegensteuern bei den häufigsten Unfallursachen verspricht, ist ein Mehrwert für das System Bahn zu erwarten.

Für eine fertiggestellte formale Modellierung der von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren/Regeln ergeben sich unterschiedliche zukünftige Anwendungen. Die denkbaren Anwendungen, die sich aus der Expertenbefragung und einer strukturierten Analyse zu den möglichen Einsatzzwecken (vgl. Abschnitt Kategorien in Abschnitt 5.3) ableiten, werden in einem Katalog gesammelt. In diesem Katalog sind die Use-Cases der denkbaren Anwendungen kurz beschrieben. Über eine vergleichende Bewertung wird ein geeigneter Anwendungsfall für die ausgewählte Richtlinie ausgewählt.

Für die Auswahl des weiter zu untersuchenden Anwendungsfalles müssen unterschiedliche externe Einflüsse, wie die Anforderungen der zukünftigen Nutzer und die Herausforderungen bei der Erstellung einer Anwendung, die auf dem erstellten Werkzeug zur Modellierung basiert, berücksichtigt werden. Unter anderem müssen die Ergebnisse der Fachinterviewreihe hinsichtlich der Innovationsbereitschaft verschiedener Nutzergruppen bei der Auswahl des Anwendungsfalles Beachtung finden.

Um das Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren/Regeln zu erstellen, werden Modellierungsregeln beschrieben und Spezifikationen für Schnittstellen und Funktionen dokumentiert.

Die Eignung des erstellten Werkzeuges wird an einem Anwendungsbeispiel überprüft.

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die Vorgehensweise bei der Erstellung dieser Arbeit, die sich aus den in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden ergibt.

4.4 Vorgehensweise

Die Literaturlarbeit dieser Arbeit lässt sich in drei Bestandteile gliedern: die Literaturlarbeit zum Stand der Forschung bei der formalen Modellierung im Eisenbahnwesen und anderen nahen Industriebereichen, den Stand der Anwendung von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn und die Recherche zu Vorgehensmodellen bei der formalen Modellierung. Die Recherche zu Vorgehensmodellen bei der formalen Modellierung hat Auswirkungen auf die Wahl des Vorgehensmodells bei dem später in dieser Arbeit beschriebenen Prozess der formalen Modellierung.

Aus der Analyse des Stands der Forschung ergeben sich eine Forschungslücke und eine Aufgabenstellung zur Schließung eines Teils dieser Forschungslücke.

Ebenfalls wird im Rahmen dieser Arbeit die mit der DB Netz AG durchgeführte Fachinterviewreihe beschrieben. Die Ergebnisse der Fachinterviewreihe sind gesammelte Aussagen zum Stand der Anwendung von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn und den Rahmenbedingungen für einen Einsatz von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn.

Aus der Aufgabenstellung, den Ergebnissen der Literaturlarbeit zum Stand der Anwendung von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn und der Fachinterviewreihe kann ein Katalog von Anforderungen an das zu erstellende Werkzeug aufgestellt werden.

Um eine möglichst relevante Richtlinie, deren Inhalte mit dem im Rahmen dieser Arbeit erstellten Werkzeug formal modelliert werden, auszuwählen, dient die Auswertung eines aufgestellten Katalogs zu den Unfallursachen von Ereignissen der letzten Jahre bei den deutschen und schweizerischen Eisenbahnen.

Aus dem bezüglich der Literaturlarbeit und der Fachinterviewreihe recherchierten Stand der Anwendung von formalen Beschreibungsmitteln bei der Eisenbahn sowie der ausgewählten Richtlinie ergeben sich mögliche Anwendungsfälle, die in einem Katalog gesammelt werden.

Über Bewertungskriterien, die sich aus den gesammelten Anforderungen ergeben, wird mittels einer vergleichenden Bewertung der Anwendungsfall ausgewählt.

Ebenfalls über eine Ermittlung des Erfüllungsgrades gegenüber Anforderungen aus dem Anforderungskatalog kann das zu verwendende Beschreibungsmittel selektiert werden. Das gewählte Beschreibungsmittel und die Kenntnis aus den Ergebnissen der Literaturlarbeit über verschiedene Vorgehensmodelle haben Einfluss auf den im nächsten Schritt folgenden Prozess der formalen Modellierung.

Dieser Prozess der formalen Modellierung stellt das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln dar. Um mit dem Prozess beginnen zu können, werden Grundbausteine des formalen Modells benötigt. Diese Grundbausteine ergeben sich natürlich aus den Inhalten der ausgewählten Richtlinie, vor allem aber aus dem ausgewählten Anwendungsfall. Der ausgewählte Anwendungsfall hat Einfluss auf den Umfang der formal zu modellierenden Inhalte.

Die Grundbausteine des formalen Modells werden in Akteure und Informationsflüsse durch Kommunikation unterschieden. Die zur Übermittlung von Informationen durchgeführte Kommunikation lässt sich in verschiedene abstrakte Arten gliedern. Für diese Kommunikationsarten und Akteure werden Modellierungsprinzipien beschrieben.

Aus der Kommunikation und den modellierten Akteuren ergeben sich notwendige Schnittstellen mit anderen Akteuren und Funktionen der Akteure zur Durchführung der zu modellierenden Betriebsprozesse und Regeln. Das Werkzeug ist somit vollständig einsetzbar.

Die Eignung des erstellten Werkzeuges wird an einem Anwendungsbeispiel überprüft. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt das in diesem Abschnitt beschriebene Vorgehen der Arbeit zusammengefasst.

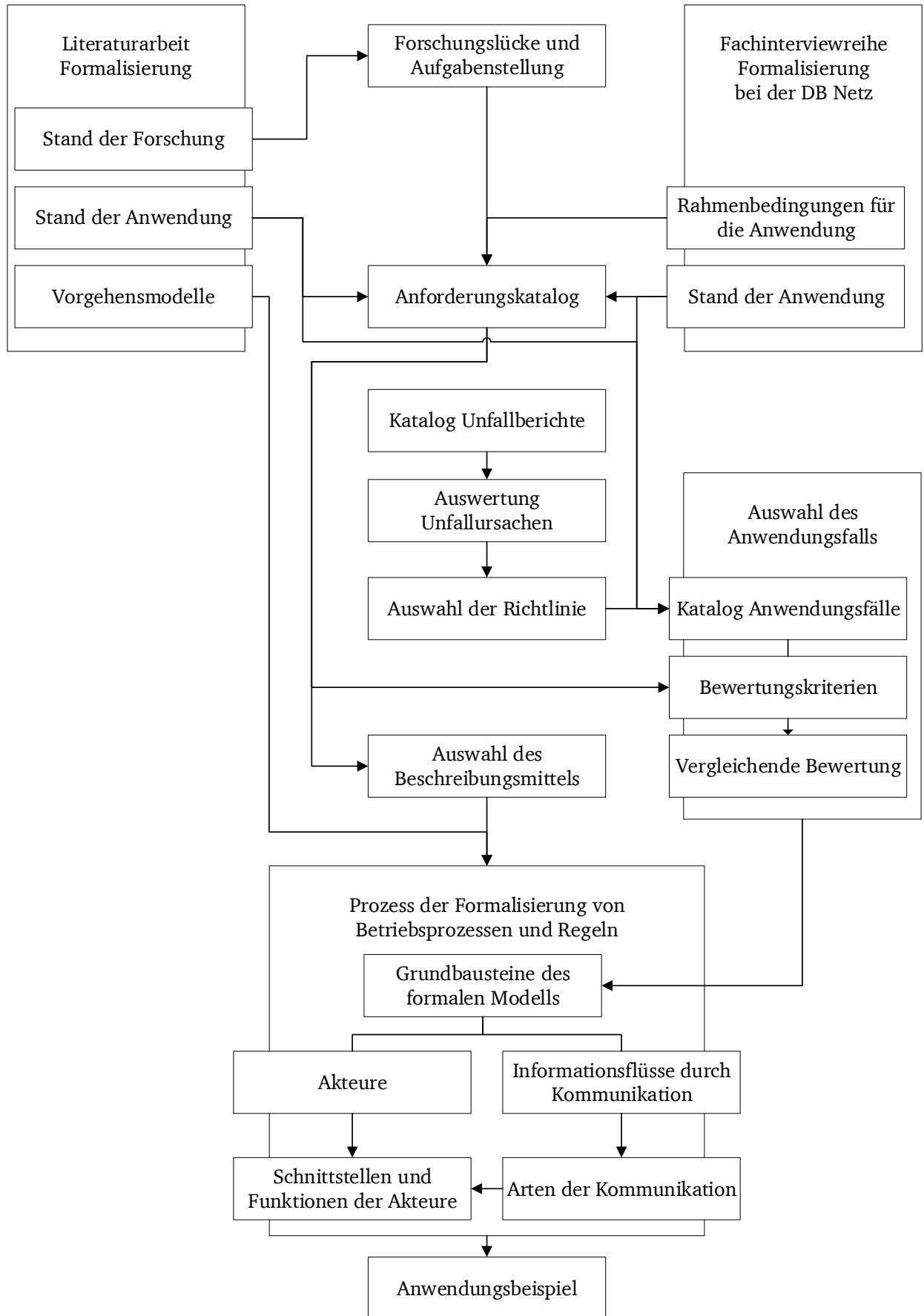


Abbildung 8: Vorgehen im Rahmen der Arbeit

4.5 Inhaltliche Abgrenzung

Im Rahmen dieser Arbeit wird unter der formalen Modellierung die Überführung von Regelwerksinhalten in ein formales Modell verstanden. Die nach RTCA DO-333 zu einer formalen Methode zugehörige formale Analyse wird hier nicht behandelt. Jedoch soll das ausgewählte Beschreibungsmittel den Einsatz von formalen Methoden zur Nachweisführung zukünftig erleichtern.

Bei diesen in eine formale Modellierung zu überführenden Regelwerkinhalten handelt es sich um in Regelwerken der Eisenbahnen festgehaltene Betriebsverfahren oder Regeln.

Da die Eignung des zu entwickelnden Werkzeuges an einem Beispiel überprüft werden soll, muss das Anwendungsbeispiel für eine derzeit gültige Richtlinie entstehen. Im aktuell gültigen betrieblichen Regelwerk werden aktuelle Betriebsverfahren beschrieben. In Deutschland sind dies neben Verfahren für Strecken mit geringeren Betriebsaufkommen das Fahren signalgeführter Züge und das Fahren anzeigegeführter Züge. Für die Signalgeführten Züge dienen Signale der Übermittlung von Fahraufträgen und das Zugbeeinflussungssystem Punktförmige Zugbeeinflussung (kurz: PZB) zur Überprüfung der Handlungen des Triebfahrzeugführers. Verhalten des Triebfahrzeugführers wird nicht mitmodelliert, im Rahmen der Regelwerke wird von einer fehlerfreien Arbeit des Betriebspersonals ausgegangen.

Aus Gründen der Vereinfachung werden auch einige Komponenten und Funktionsweisen der Leit- und Sicherungstechnik vereinfacht, da der Fokus dieser Arbeit auf den Betriebsprozessen und Regeln liegt. Verwendete Begriffe aus der Stellwerkstechnik werden vom mechanischen Stellwerk übernommen, dessen Grundprinzipien sich in allen neueren Stellwerksbauformen immer noch wiederfinden.

Funktionen der Leit- und Sicherungstechnik, die zu Kapazitätssteigerungen führen aber keine betriebliche andere Abarbeitung erfordern, wie z. B. Signalaufwertungen oder Fahrstraßenteilauflösungen, werden nicht betrachtet.

Die Modellierung und Überprüfung der Funktionsweise der Leit- und Sicherungstechnik liegt heute größtenteils in Händen der Signalbauindustrie und von Prüflaboren. Im Rahmen dieser Arbeit wird das korrekte Funktionieren der Leit- und Sicherungstechnik vorausgesetzt. Das korrekte Funktionieren schließt Fehlfunktionen nicht aus, sondern in diesen Fällen wird das für den Störfall spezifizierte Verhalten erwartet. Die Modellierung einer Sicherungslogik ist nicht Teil dieser Arbeit.

Im Rahmen der Arbeit werden alle Kontakte der Gleisfreimeldung, z. B. Kontakte an der Signalzugschlussstelle, als punktförmige Kontakte angenommen. Obwohl Achszählkreise die häufigste verbaute Technik sind, muss für die Beschreibung der betrieblichen Wirkung nicht das genaue Funktionsprinzip modelliert werden. Weitere Detailfunktionen der Leit- und Sicherungstechnik werden ebenfalls nur modelliert, wenn eine unmittelbare Auswirkung auf die Betriebsprozesse zu erwarten ist.

Im Rahmen der Arbeit wird bei der Festlegung von Funktionen der Akteure davon ausgegangen, dass die Infrastruktur den gelten Richtlinien entsprechend geplant wurde und somit z. B. Vorsignalabstände der Richtlinie entsprechend dimensioniert sind.

4.6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Kapitels konnte die Aufgabenstellung zur Erstellung eines Werkzeuges zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln aus der Forschungslücke abgeleitet werden. Anschließend wurden aus der Literaturarbeit und der Fachinterviewreihe abgeleitete Anforderungen an das zu erstellende Werkzeug in einem Anforderungskatalog gesammelt. Dieser Anforderungskatalog kann im Folgenden für die Auswahl der Richtlinie und des Anwendungsfalls herangezogen werden.

Die für die Erarbeitung des Werkzeugs einzusetzenden Methoden und die aus den Methoden abgeleitete Vorgehensweise legen den Grundstein für die weitere Erarbeitung des Werkzeugs im Rahmen dieser Arbeit. In Ergänzung wurden einige inhaltliche Abgrenzungen vorgestellt, die auch bei der im folgenden Kapitel vorzunehmenden Auswahl des Anwendungsfalls berücksichtigt werden.

5 Auswahl Anwendungsfall und Richtlinie

5.1 Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines Werkzeuges zur formalen Modellierung von Regelwerksinhalten. Anwender nutzen die Regelwerke in ihrer täglichen Arbeit. Mögliche Anwendungsfälle sollen den Anwender in dieser Arbeit unterstützen. In den vorangegangenen Kapiteln wurden sowohl die Literatur als auch die Ergebnisse der Fachinterviewreihe auf mögliche Anwendungsfälle hin untersucht und kurz beschrieben. Inhalte dieses Kapitels sind zunächst die Zusammenstellung der in Frage kommenden Richtlinien und Anwendungsfälle. Ziel des Kapitels ist die Auswahl des Anwendungsfalles.

Auf Grundlage des ausgewählten Anwendungsfalles und der ausgewählten Richtlinie kann danach mit der Erstellung des Werkzeuges zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsprozessen und Regeln begonnen werden.

5.2 Auswahl der Art der Richtlinie

Um das Ziel der Erstellung eines Werkzeuges für die einheitliche Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln erreichen zu können, muss zunächst festgelegt werden, welche Regelwerke auf mögliche Anwendungsfälle hin untersucht werden. Die zu untersuchenden Richtlinien sollen sowohl Betriebsverfahren als auch Regeln für das System Bahn enthalten.

Die Richtlinie 408 „Fahrdienstvorschrift“ beschreibt alle betrieblichen Prozesse des Regelbetriebs sowie betriebliche Ersatzmaßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebs bei Abweichungen. Richtlinie 436 für den Zugleitbetrieb und Richtlinie 437 für den signalisierten Zugleitbetrieb wurden aufgrund des vergleichsweise geringen Umfangs des Einsatzes im Netz der Deutschen Bahn ausgeschlossen. Die vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (kurz: VDV) herausgegebene Fahrdienstvorschrift für nichtbundeseigene Eisenbahnen (kurz: FV-NE) weist viele Parallelen zur Richtlinie 408 auf. Die Inhalte der FV-NE werden bei einer Auswahl der Richtlinie 408 zu großen Teilen mit abgedeckt.

Die Richtlinie 819 „LST-Anlagen planen“ beschreibt die Regeln für die Planung von Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (kurz: LST). So werden z. B. Regeln für die Anordnungen, Abstände und Grenzwerte für die Platzierung von Signalen beschrieben. Diese Regeln haben unmittelbare Auswirkung auf Betriebsverfahren.

Beide Regelwerke unterscheiden sich in ihrem grundsätzlichen Ziel, haben aber ähnlichen Einfluss auf die Durchführbarkeit des Betriebs. Richtlinie 408 beschreibt Betriebsverfahren und bezieht sich dabei auf Teile der Eisenbahninfrastruktur und Richtlinie 819 beschreibt die Regeln zur Planung von Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik, um den Eisenbahnbetrieb zu ermöglichen. Beide Regelwerke decken somit die in der Aufgabenstellung dieser Arbeit vorgegebenen Betriebsverfahren und Regeln ab.

Als erster Schritt hin zu einer Auswahl des Anwendungsfalls für ein Werkzeug zur formalen Modellierung soll zunächst die Richtlinie ausgewählt werden. Durch die Einschränkung auf eine Richtlinie kann die Entwicklung des Werkzeuges anhand der Inhalte dieser Richtlinie erfolgen.

Gesellschaftliche Bedeutung

Um die im Rahmen dieser Arbeit weiter zu untersuchende Richtlinie auszuwählen, soll mit einer Untersuchung der Unfallberichte der letzten Jahre identifiziert werden, welche Umstände zu Gefahren oder Unfällen bei der Anwendung von Betriebsprozessen führen, welche Nutzergruppen bei der Anwendung des Regelwerks Fehler gemacht haben und ob die falsche Interpretation der Regelwerksinhalte mitverantwortlich für die Fehler bei der Anwendung waren.

Für diese Untersuchung werden sowohl die von der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung publizierten Berichte als auch die Ereignisberichte Bahnen der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST herangezogen. Hierbei sind alle Ereignisse und nicht nur Unfälle in die Untersuchung mit aufzunehmen. Eine Anwendung, die auf der formalen Modellierung von Betriebsprozessen und Regeln basiert, soll im täglichen Betrieb einen Mehrwert bieten und nicht nur bei besonderen Ereignissen.

Die Unfallursachen wurden klassifiziert, um für diese Arbeit nicht relevante Berichte herauszufiltern. Die folgenden vier Klassen decken die Ursachen ab, die in den Schlussfolgerungen der Berichte genannt werden:

- Fehlverhalten
- Technisches Versagen
- Einwirkungen von außen
- Systemfehler

Für diese Arbeit nicht relevant sind Unfälle, die auf technisches Versagen oder auf Einwirkungen von außen zurückzuführen sind, da die Betriebsprozesse in diesen Fällen nicht Auslöser des Ereignisses waren.

Interessanter sind Ereignisse, die auf das Fehlverhalten von Betriebspersonalen zurückzuführen sind. Diesem Fehlverhalten könnte mit einer Anwendung zur Unterstützung der Betriebspersonale, die auf der formalen Modellierung von Betriebsprozessen, basiert begegnet werden.

Ebenso interessieren Ereignisse, die auf einen grundsätzlichen Systemfehler zurückzuführen sind. Mit einer Anwendung zur Unterstützung der Regelwerksautoren können solche systemimmanente Fehler bereits bei der Erstellung identifiziert werden.

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt einen Auszug aus den untersuchten Ereignissen. Die vollständige Tabelle ist in dieser Arbeit als Anlage enthalten (vgl. Anlage 2: Auswertung Unfallberichte). Die Berichte sind einem Jahr des Ereignisses zugeordnet und einem genauen Datum. Die Ereignisart ergibt sich unmittelbar aus dem Bericht. In eigenen Worten wird das aus den Schlussfolgerungen des jeweiligen Berichtes in der Spalte „Kurzbeschreibung der Ursache“ zusammengefasst und abschließend das Ereignis einer der vier vorgestellten Kategorien zugeordnet.

Tabelle 2: Auszug aus den untersuchten Ereignissen

Jahr	Datum	Name	Ereignisart	Kurzbeschreibung der Ursache	Fehlverhalten	Technisches Versagen	Einwirkung von außen	Systemfehler
2018	20. Feb.	Cuxhaven	Zugkollision	Fdl stellt Fahrweg, obwohl ein stehendes Triebfahrzeug auf einmündender Weiche den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓			
2017	1. Mai	Dortmund Hbf	Zugentgleisung	Unbeabsichtigtes Anheben eines Rades im Bereich der Weichenzungen-vorrichtung einer DKW		✓		
2017	15. Mai	Neustadt am Rübenberge – Hagen	Bahnübergangs-unfall	Fehlverhalten des BÜP und Missverständnisse bei Kommunikation mit Fdl	✓			

Aus dem Gesamtumfang der untersuchten Ereignisse ergibt sich eine Häufung des Fehlverhaltens des Betriebspersonals bei der Anwendung des betrieblichen Regelwerks als Unfallursache. Bei der Ermittlung der Häufigkeit wird ein Wert von 1 vergeben, wenn die Unfallursache klar einer Ursachenklasse zuzuordnen ist. Sind in den Schlussfolgerungen der Berichte mehrere Unfallursachen aufgeführt, wird ein Wert von 0,5 zur Ermittlung der Häufigkeit vergeben. Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt die Häufigkeiten der Ursachen bei der durchgeführten Auswertung der Untersuchungsberichte von 593 Ereignissen.

Tabelle 3: Häufigkeiten der Ursachen bei der durchgeführten Auswertung der Unfallberichte

	Fehlverhalten	Technisches Versagen	Einwirkung von außen	Systemfehler
Häufigkeit	257,5	82,5	121	17,5
Anteil	54 %	17 %	25 %	4 %

Für etwa ein Fünftel der untersuchten Ereignisse konnte entweder die Ursache nicht abschließend geklärt werden oder es lag kein Abschlussbericht vor. Diese Ereignisse entfallen aus der Auswertung, können aber für eine zukünftige Untersuchung herangezogen werden (vgl. Anlage 2: Auswertung Unfallberichte).

Der Abschlussbericht der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des EBA zur Zugkollision zwischen Bad Aibling und Kolbermoor (Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung 2018) fasst beispielsweise die Sicherheitsempfehlungen zur Überarbeitung des betrieblichen Regelwerks wie folgt zusammen:

- „Es wird empfohlen, das Regelwerk insbesondere hinsichtlich folgender Punkte zu optimieren:
 - Regeln zur Störungsidentifikation erstellen
 - Regeln für die Anwendung von ‚Fahrstraßentechnik als Streckensicherung‘ erstellen
 - Regeln für die Räumungsprüfung auf eingleisigen Strecken und bei Gleiswechselbetrieb überarbeiten und präzisieren
- Auf Grundlage einer Risikobetrachtung wird empfohlen, die Umstellung des funktionsorientierten Regelwerks zum prozessorientierten Regelwerk zu überprüfen.“

Im vorliegenden Untersuchungsbericht wurden Unterspezifizierungen identifiziert und vorhandene Regeln müssen angepasst werden. Die Überprüfung dieser Änderungen und Neuspezifizierungen kann gut mit einem formalen Modell und darauf aufbauenden Simulation unterstützt werden.

Der genannte Punkt zur Umstellung des vorhandenen funktionsorientierten Regelwerks auf ein prozessorientiertes Regelwerk ist ebenfalls mit einem formalen Modell der betrieblichen Regeln zu stärken. Die im formalen Modell abgebildeten betrieblichen Regeln und Prozesse können die Grundlage für eine neue prozessorientierte Struktur des veröffentlichten Regelwerks bilden, da die entsprechenden Prozesse bereits modelliert sind.

Die Auswertung der Unfallursachen in Tabelle 3 zeigt, dass Fehler in der Anwendung bestehender Regelwerke die häufigste Ursache für Unfälle sind. Aufgrund der Möglichkeit, eine höhere Handlungssicherheit für die Anwender erreichen und somit die Anwendungsfehler verringern zu können, wird für die weitere Bearbeitung die Richtlinie 408 ausgewählt. Im Folgenden werden verschiedene Anwendungsfälle für eine Anwendung, die auf einer formalen Modellierung der Betriebsprozesse basiert, erarbeitet und auf ihre Umsetzbarkeit hin überprüft.

5.3 Beschreibung und Auswahl der Anwendungsfälle

Nachdem die weiter für die Erstellung des Werkzeuges zur formalen Modellierung von Betriebsprozessen und Regeln zu berücksichtigende Richtlinie im vorangegangenen Abschnitt ausgewählt wurde, ist in diesem Abschnitt ein Anwendungsfall für eine formale Modellierung zu bestimmen. Aus dem Anwendungsfall ergeben sich spezielle Rahmenbedingungen an den

Detailierungsgrad der zu erstellenden formalen Modellierung. Die unterschiedlichen Anwendungsfälle haben Auswirkung auf die Art und den Umfang der zu modellierenden Funktionen des formalen Modells. Ziel dieses Abschnitts ist es, Anwendungsfälle möglichst vieler verschiedener Kategorien zu identifizieren, zu beschreiben, miteinander auf ihre Umsetzbarkeit hin zu vergleichen und einen Anwendungsfall auszuwählen.

Kategorien

Mögliche Anwendungsfälle können in unterschiedlichen Kategorien entstehen. Die Anwendung kann dem Nutzer als reines Informationsmedium dienen, um die Inhalte des Regelwerks in der unter Nutzung der formalen Modellierung schnell nachschlagen zu können (Kategorie: Information).

Ein weiterer, darüber hinaus gehender Schritt ist, die formale Modellierung selbst zu analysieren. Eine Analyse kann z. B. Unter- und Überspezifizierungen aufdecken (Kategorie: Analyse).

Weitere Anwendungsfälle können der Unterstützung der Betriebspersonale dienen. Die Unterstützung würde in diesen Fällen in einer Softwarelösung bestehen, welche auf der formalen Modellierung basiert, und z. B. Aufgaben der Betriebspersonale (teil)automatisiert (Kategorie: Realbetrieb).

Aber auch vor dem Schritt mit einer Anwendung in den Realbetrieb könnte eine Softwarelösung zum Beispiel das Training von Betriebspersonalen unterstützen (Kategorie: Training).

Die nachfolgende Auflistung führt die Abkürzungen A bis E für die oben erarbeiteten Kategorien ein:

- A: Information
- B: Analyse
- D: Realbetrieb
- E: Training

Für die unterschiedlichen Kategorien ist eine Vielzahl von Anwendungsfällen denkbar, die auf einer formalen Modellierung der im betrieblichen Regelwerk 408 festgehaltenen Betriebsprozesse und Regeln basieren. Die folgende Aufzählung zeigt alle im Rahmen dieser Arbeit für die entsprechenden Kategorien erdachten Anwendungsfälle und beschreibt die mögliche Funktion kurz. Nach der Auflistung der Anwendungsfälle müssen die Anwendungsfälle auf ihre Umsetzbarkeit und den zu erwartenden Mehrwert hin untersucht werden.

Anwendungsfälle

408A1 Tool zur Unterstützung von Fachautoren und Betriebspersonal zur Bereitstellung relevanter Regelwerksausschnitte

- Informationsnetz über alle Inhalte aller formalisierten Regelwerke aufspannen
- Begriffe und Definitionen in allen für die Zielgruppe relevanten Regelwerken (Fachautoren sollten alle Regelwerke sehen) finden und übersichtlich bereitstellen

408B1 Tool zur Unterstützung des Fachautors bei Regelwerksänderungen (Sicherheitsanalyse)

- Autor ändert Eigenschaft im Regelwerk
- Analyse des Regelwerks bezüglich ausgewählter Sicherheitseigenschaften (Änderungen am Durchbruchweg, zulässige Geschwindigkeiten)
- Anzeige des Analyseergebnisses und ggf. Aufzeigen von Gegenbeispielen

408B2 Analyse des Regelwerks auf Konsistenz (Über- und Unterspezifizierung)

- Anwendung auf fertiggestellte Regelwerke
- Bereits beim Prozess der formalen Modellierung ist Über- und Unterspezifizierung identifizierbar

408B3 Simulationsunterstützung für Genehmigungsprüfer nach Regelwerksänderungen

- Anwendung auf Regelwerke in der Genehmigungsphase (Bearbeitung abgeschlossen)
- Simulationsumgebung in welcher der Genehmigungsprüfer alle Objekte verändern kann innerhalb ihrer Spezifikationen bis zum Ausfall (Ausfall GFM, etc.)
- Darstellung von Gegenbeispielen (ist nach dem Ausfall der GFM der nach Regelwerk herbeigeführte Zustand noch sicher)

408B4 Simulation der Kapazitätsauswirkungen von Regelwerksänderungen

- Tool zur Abschätzung des Kapazitätseffekts zukünftiger Regelwerksänderungen
- Tool verarbeitet Betriebsdaten live (Zugstandorte, Zustände von Weichen und Signalen) oder aufgezeichnete Betriebsdaten
- Iterationsmöglichkeiten zur Maximierung des Effekts

408B5 Simulation der Kapazitätsauswirkungen von neuen Betriebsverfahren

- Tool zur Abschätzung des Kapazitätseffekts zukünftiger Betriebsverfahren
- Iterationsmöglichkeiten zur Maximierung des Effekts

408B6: Analyse der Robustheit von Regelwerksänderungen - Leistungsfähigkeit vorhandener Rückfallebenen – Kapazitätsunterschied im Störfall zum Regelbetrieb

- Erweiterung eines Simulationstools zur Ermittlung der Kapazität im Regelfall um Rückfallebenen im Störfall
- Tool verarbeitet Betriebsdaten live (Zugstandorte, Zustände von Weichen und Signalen) oder aufgezeichnete Betriebsdaten
- Iterationsmöglichkeiten zur Maximierung des Effekts

408D1 Tool zur Unterstützung des Fdl bei Störfällen durch situationsabhängig zur Verfügung gestellte Regelwerksausschnitte

- Tool-Unterstützung für die Aufgaben des Fahrdienstleiters
- Tool verarbeitet Betriebsdaten (Zugstandorte, Zustände von Weichen und Signalen)
- Informationsnetz über alle Inhalte aller relevanten formalisierten Regelwerke aufspannen
- Stellt dem Fdl jederzeit situationsabhängig relevante Regelwerksausschnitte zur Verfügung (diese Ausschnitte aneinander gereiht ergeben einen Handlungsleitfaden)

408D2 Automatisierung von Aufgaben des Fahrdienstleiters bei Abweichungen vom Regelbetrieb (in einem integrierten Bedienplatzkonzept)

- Tool verarbeitet Betriebsdaten (Zugstandorte, Zustände von Weichen und Signalen)
- Informationsnetz über alle Inhalte aller relevanten formalisierten Regelwerke aufspannen
- situationsabhängig werden relevante Regelwerksausschnitte zu einen Handlungsleitfaden aneinandergereiht und automatisch betrieblich Aufgaben wahrgenommen (Signal auf Halt, Absetzen von Nothaltaufträgen)

408D3 Unterstützung bei betrieblichen Aufgaben beim Automatischen Fahren (Fahrzeug, Infrastruktur und Aufgaben von Betriebspersonal)

- Tool verarbeitet Betriebsdaten (Zugstandorte, Zustände von Weichen und Signalen)
- Tool hat Anbindung an die Fahrzeugsysteme
- Informationsnetz über alle Inhalte aller relevanten formalisierten Regelwerke aufspannen
- situationsabhängig werden relevante Regelwerksausschnitte zu einen Handlungsleitfaden aneinandergereiht und automatisch betrieblich Aufgaben wahrgenommen

408E1 Tool zur Unterstützung bei der (halb-)automatischen Erstellung von Prüfungsaufgaben für Betriebspersonal

- Informationsnetz über alle Inhalte des formalisierten Regelwerks aufspannen
- Zusammenstellung von beispielhaften Betriebssituationen (ggf. auch aus realen Betriebsdaten/Unfallberichten)
- Zusammenstellung eines Lösungswegs

Bewertungsdimensionen

Für die möglichen Anwendungsfälle wird eine Bewertungsmatrix mit den folgenden Dimensionen und Unterkategorien aufgestellt.

- Zielgruppe
 - Größe der Zielgruppe für diesen Anwendungsfall (Use-Case): Je größer die Zielgruppe, umso schwieriger ist die Anforderung PE1 (Zugänglichkeit) für alle Nutzer zu erfüllen.
 - Innovationsbegeisterung der Zielgruppe: Je eher die Nutzer bereit sind sich auf eine neue Anwendung einzulassen umso mehr ist zu erwarten, dass eine neue Technologie von der Zielgruppe verstanden wird. Diese Bewertungsdimension geht auf die Anforderungen PE2 (Verständlichkeit) und ER3 (Anwendung durch heutigen Autor) zurück.
- Vorteile durch Automatisierung
 - Automatisierungspotenzial Regelbetrieb,
 - Automatisierungspotenzial im Störfall,
 - Zeitersparnis
- Innovation für das System Bahn
 - neuartige Erkenntnisse/Aufdeckung von Innovationsmöglichkeiten
- Genehmigungsaufwand für eine produktive Anwendung
 - Distanz zum Realsystem (Genehmigung, Funktionsumfang, Benutzerfreundlichkeit) –Bewertung invertiert –

Mit dieser Bewertung kann ein Anwendungsfall mit einem zu erwartenden Vorteil für das System Bahn ausgewählt werden. Gleichzeitig werden die zukünftige Zielgruppe und die Migration in eine zukünftige produktive Anwendung miteinbezogen.

Zusätzlich wurde eine Gewichtung eingeführt, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die Anwendung auf einem innovativen, bisher nicht erprobten Werkzeug basiert. Aus diesem Grund ist eine Einführung einer solchen Anwendung erst mittelfristig zu erwarten.

Die Bewertung, ob die Zielgruppe der Nutzer einer solchen Anwendung gegenüber aufgeschlossen ist, ist schwierig zu prognostizieren. Es ist davon auszugehen, dass durch stetigen Generationswechsel bei den Betriebspersonalen neue Personale neuen Techniken gegenüber aufgeschlossen sind. Die Bewertungsdimension ist somit geringer zu gewichten, hier mit Zwanzig von Hundert.

Ebenso ist bei einer mittelfristigen Einführung einer solchen Anwendung der Aufwand für die Genehmigung heute nicht abschließend abzuschätzen. Im günstigsten Fall wird die Genehmigung einfacher werden, jedoch ist bei einer Anwendung mit Auswirkungen auf oder gar Eingriffsmöglichkeiten in den Bahnbetrieb mit einer aufwendigen Genehmigung zu rechnen. Aufgrund dieser Unsicherheiten wird die Bewertungsdimension ebenfalls mit einer geringeren Gewichtung von Zwanzig von Hundert bewertet.

Die beiden verbleibenden wichtigen Bewertungsdimensionen werden gleich gewichtet. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Gewichtungen der Bewertungsdimensionen zusammengefasst.

Tabelle 4: Gewichtung der Bewertungsdimensionen

Bewertungsdimension	Gewichtung (v. H.)	Bemerkung
Zielgruppe	20	
Vorteile durch Automatisierung	30	Potenziale durch Automatisierung (z. B. ATO) ermitteln
Innovation für das System Bahn	30	Visionäre Ausrichtung zur langfristigen Stärkung des Systems Bahn
Genehmigungsaufwand für eine produktive Anwendung	20	

Die Bewertung erfolgt teilformalisiert mit folgendem Bewertungsschema:

- Kategorie durch Anwendungsfall sehr gut erfüllt: ++
- Kategorie durch Anwendungsfall gut erfüllt: +
- Neutrale Bewertung: 0
- Kategorie durch Anwendungsfall gering erfüllt: -
- Kategorie durch Anwendungsfall sehr gering erfüllt: --
- Kategorie für diesen Anwendungsfall nicht relevant: /

Die komplette teilformalisierte Bewertung der möglichen Anwendungsfälle mit allen Begründungen der Bewertungen ist in dieser Arbeit als Anlage vorhanden (vgl. Anlage 3: Bewertung Anwendungsfälle). Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt die Bewertung für die vier Bewertungsdimensionen zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenfassung der teilformalisierten Bewertung der Anwendungsfälle

Anwendungsfall	Zielgruppe	Vorteile durch Automatisierung	Innovation für das System Bahn	Genehmigungsaufwand für eine produktive Anwendung
408A1	++ und 0	/, / und 0	+	+
408B1	-- und ++	/, / und ++	++	--
408B2	-- und ++	/, / und ++	++	0
408B3	0 und +	/, / und +	++	-
408B4	0 und ++	/, / und +	+	++
408B5	0 und ++	/, / und ++	++	--
408B6	0 und ++	/, / und +	++	0
408D1	0 und -	0, + und +	--	--
408D2	- und 0	++, ++ und ++	--	--
408D3	+ und -	++, + und +	--	--
408E1	- und ++	/, / und +	0	+

Um die in Tabelle 4 eingeführte Gewichtung der Bewertungsdimensionen in die Auswahl miteinbeziehen zu können, wird die teilformalisierte Bewertung aus Tabelle 5 nach folgendem Schema normiert:

- Kategorie durch Anwendungsfall sehr gut erfüllt: 2
- Kategorie durch Anwendungsfall gut erfüllt: 1
- Neutrale Bewertung: 0
- Kategorie durch Anwendungsfall gering erfüllt: -1
- Kategorie durch Anwendungsfall sehr gering erfüllt: -2
- Kategorie für diesen Anwendungsfall nicht relevant: keine Bewertung

Die aufsummierten Bewertungen werden durch die Anzahl der bewerteten Kategorien in der jeweiligen Bewertungsdimension dividiert. Die Bewertung ist der nachfolgenden Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Normierte Bewertung der Anwendungsfälle

Anwendungsfall	Zielgruppe	Vorteile durch Automatisierung	Innovation für das System Bahn	Genehmigungsaufwand für eine produktive Anwendung
408A1	1	0	1	1
408B1	0	2	2	-2
408B2	0	2	2	0
408B3	0,5	1	2	-1
408B4	1	1	1	2
408B5	1	2	2	-2
408B6	1	1	2	0
408D1	-0,5	0,67	-2	-2
408D2	-0,5	2	-2	-2
408D3	0	1,33	-2	-2
408E1	0,5	1	0	1

Unter Einbeziehung der Gewichtung nach Tabelle 4 ergeben sich die folgenden in Tabelle 7 dargestellten Ergebnisse.

Tabelle 7: Bewertungsergebnis je Bewertungsdimension in Teilen von Hundert

Anwendungsfall	Zielgruppe	Vorteile durch Automatisierung	Innovation für das System Bahn	Genehmigungsaufwand für eine produktive Anwendung	Summe
408A1	20	0	30	20	70
408B1	0	60	60	-40	80
408B2	0	60	60	0	120
408B3	10	30	60	-20	80
408B4	20	30	30	40	120
408B5	20	60	60	-40	100
408B6	20	30	60	0	110
408D1	-10	20	-60	-40	-90
408D2	-10	60	-60	-40	-50
408D3	0	40	-60	-40	-60
408E1	10	30	0	20	60

Nach Abschluss der Bewertung erreichen zwei Anwendungsfälle das höchste Bewertungsergebnis: 408B2 und 408B4 mit jeweils 120. Anwendungsfall 408B2 kann in den beiden Bewertungsdimensionen „Zielgruppe“ und „Genehmigungsaufwand für eine produktive Anwendung“ keine Punkte erzielen. Anwendungsfall 408B4 erreicht in allen Bewertungsdimensionen eine positive Bewertung und stellt somit im Vergleich zu Anwendungsfall 408B2 die erfolgsversprechendere Alternative dar.

Ausgewählt für die weitere Bearbeitung wird deshalb Anwendungsfall 408B4 zur Untersuchung eines betrieblichen Regelwerks mit dem Fokus auf die Simulation der Auswirkungen von Regelwerksänderungen. Hierfür müssen alle betrieblichen Prozesse, die im Regelwerk festgehalten sind, formal modelliert werden.

Neben dem eigentlichen Anwendungsfall ermöglicht eine solche formale Modellierung weitere Anwendungen. Aus dieser Anwendung kann ebenfalls ein Tool zur Unterstützung des Betriebspersonals durch Simulation des Betriebs im Regelfall und bei Abweichungen hervorgehen, einer Empfehlung des zuvor genannten Untersuchungsberichts entsprechend.

Das Werkzeug muss Anforderung A1 (vgl. Abschnitt 4.2) entsprechend die Modellierung von Betriebsprozessen ermöglichen. Durch die Auswahl des Anwendungsfalls ist nun festgelegt, dass eine Beschreibung der Betriebsprozesse für den Regelbetrieb nicht ausreichend ist, sondern dass alle Prozessbeteiligten und Prozessschritte, die bei Betriebsprozessen für Abweichungen vom Regelbetrieb wichtig sind, ebenfalls in der formalen Modellierung vorzusehen sind. Eine Vereinfachung auf den Regelbetrieb ist nicht ausreichend.

6 Auswahl Beschreibungsmittel

6.1 Einleitung

Nachdem in Abschnitt 4.2 die Anforderungen an das Werkzeug erarbeitet und im vorangegangenen Kapitel 5 der Anwendungsfall ausgewählt wurden, ist das Ziel in diesem Kapitel, die in Abschnitt 2.3 aufgeführten Beschreibungsmittel auf ihre Eignung bezüglich der in Abschnitt 4.2 gesammelten Anforderungen hin zu überprüfen. Mit dem ausgewählten Beschreibungsmittel wird im weiteren Verlauf der Arbeit das Werkzeug zur formalen Modellierung der Inhalte von betrieblich-technischen Regelwerken der Eisenbahnen mit dem Beschreibungsmittel entwickelt. Hierfür werden noch die Schritte des Prozesses der Erstellung der formalen Modellierung, die verwendeten Abstraktionsregeln sowie die Schnittstellen und Funktionen in der formalen Modellierung benötigt.

Wie bereits am Ende des Kapitels zur Literaturarbeit deutlich wurde, können zwei Arten der Beschreibungsmittel grob unterschieden werden: Beschreibungsmittel zur Sammlung von Funktionen und Abhängigkeiten in einer grafischen Form sowie Beschreibungsmittel zur Erstellung eines ausführbaren Modells.

Um für den ausgewählten Anwendungsfall das passende Beschreibungsmittel zur Überführung von Regelwerksinhalten auswählen zu können, ist eine vergleichende Bewertung sinnvoll. Hierbei wird auf die gesammelten Anforderungen zurückgegriffen und aufgezeigt, welche Beschreibungsmittel mit oder ohne Anpassungen verwendet werden können, oder ob eine Neuentwicklung nötig ist.

6.2 Auswahl per vergleichender Bewertung

In Anlehnung an den Entwicklungsprozess für Software nach dem V-Modell können folgende Lebenszyklusschritte mit mehreren Unterschritten identifiziert werden: Planungsphase, Erstellungsphase und Betriebsphase. Diese drei Phasen können als Phasenbezeichnung so unverändert auch auf den Erstellungsprozess einer Richtlinie übernommen werden. Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt diese drei Phasen mit inhaltlich abgegrenzten Unterschritten.



Abbildung 9: Lebenszyklusschritte eines Softwareproduktes in Anlehnung an (Knollmann 2007)

Erfolgreiche Beispiele aus der Industrie zeigen, dass eine Nutzung von formalen Methoden in möglichst vielen der oben genannten Schritte während der Planungs- und Erstellungsphase des Entwicklungsprozesses zum Projekterfolg beitragen. So wurde beim koreanischen Atomprogramm eine durchgängige Werkzeugkette geschaffen, um sowohl die Spezifikationen zu erfassen und deren Erfüllung zu verifizieren als auch bei der Erstellung der Software die Fehleraufdeckung zu unterstützen (vgl. Unterabschnitt 2.3.2 und Koo et al. 2006).

Nutzen für Planungsphase

In der Planungsphase sind unterschiedliche Professionen an der Konzeption eines neuen oder geänderten Betriebsverfahrens beteiligt. Idealerweise sind dies Experten aus denjenigen Professionen, die zukünftig an der Erstellung des neuen Regelwerks zum neuen Betriebsverfahren, an der Zulassung und der Abnahme des neuen Betriebsverfahrens sowie an der Durchführung im Betrieb beteiligt sind.

Der Nutzen für die Planungsphase liegt in der klaren und eindeutigen Definition von Grundbegriffen und grundlegenden Betriebsprozessen. Die gemeinsamen Definitionen können von allen Projektbeteiligten genutzt und zeitraubende Missverständnisse zu Beginn und im Verlauf der Erstellungsphase vermieden werden. Die Einbindung von Experten zur Definition von Grenzwerten und Testfällen ist jedoch vorab unabdingbar. Diese Aufgabe ist nicht vom Ersteller des Modells leistbar.

Nutzen für Erstellungsphase

Die Gesamtqualität des Produktes und die Entwicklungskosten können durch eine frühe Fehlererkennung in der Erstellungsphase auf einfache Weise reduziert werden. Zudem gilt es, die Verbindung mit eingesetzten Methoden aus der Planungsphase herzustellen, um weitere Verifizierungsschritte gegen die gesammelten Spezifikationen zu automatisieren. Eine höhere Automatisierung trägt an dieser Stelle auch zur Beschleunigung der Entwicklung und zur Kostensenkung bei. Am Ende der Erstellungsphase kann direkt aus dem formalen Design heraus ein Programmcode generiert werden.

Steht für die automatische Generierung des Programmcodes aus dem formalen Modell sogar ein verifizierter Compiler zur Verfügung, können auch einzelne Tests bereits in der Erstellungsphase wegfallen.

Nutzen für Betriebsphase

Die erfolgreiche Anwendung in der Medizintechnik durch Philips (vgl. Unterabschnitt 2.3.2 und Hooman 2016) zeigt auch die Bedeutung einer guten Benutzeroberfläche (User Interface), um den Zugang zur Nutzung von formalen Methoden für größere Bereiche der Ingenieurwissenschaften über die Informatik hinaus zu erleichtern.

Aus diesem Grund muss die vergleichende Bewertung alle drei Phasen umschließen und die beiden zur weiteren Untersuchung ausgewählten Beschreibungsmittel gegen gesammelte Anforderungen aus Abschnitt 4.2 gespiegelt werden, um Vor- und Nachteile sowie Einsatzgrenzen der beiden Arten der Beschreibungsmittel herauszuarbeiten.

Bewertungsverfahren

In Abschnitt 2.3 wurden bereits unterschiedliche Hilfsmittel zur Darstellung und Modellierung eines Prozesses vorgestellt. Dies sind u. a. grafische Darstellungen mittels UML in Form des Aktivitätsdiagramms zur Abbildung aneinandergereihter Aktivitäten zwischen verschiedenen Prozessbeteiligten. Aber auch die formale Modellierung in ausführbaren maschinenlesbaren Codes. Eine Entscheidung für eine Art der Beschreibungsform ist im Nachfolgenden zu treffen.

Die beiden vorgenannten Alternativen werden hierbei weiterverfolgt. Die in Abschnitt 2.3 ebenfalls vorgestellten Verschlussstabellen werden nicht weiter verfolgt, da Sie ausschließlich zur Modellierung von Abhängigkeiten in der Sicherungslogik, aber nicht bei Prozessen des Eisenbahnbetriebs eingesetzt werden.

In den drei Phasen des Lebenszyklus des Regelwerks Planung, Erstellung und Durchführung können unterschiedliche Teams von Experten beteiligt sein. An den Übergabepunkten zwischen diesen drei Phasen muss der jeweilige Stand des neuen oder überarbeiteten Betriebsverfahrens an das nächste Team von Experten übergeben werden. Um Rückfragen des nachgelagerten Teams in kürzester Zeit beantworten zu können, sollten alle Teams mit demselben Beschreibungsmittel arbeiten. So können relevante Abschnitte schnell vom Team, welches z. B. die Spezifikationen erstellt hat, gefunden und weitere Erklärungen mit dem Team der nachgelagerten Phase geteilt werden.

Um die Eignung eines Beschreibungsmittels beurteilen zu können, muss der Einsatzzweck für die unterschiedlichen beteiligten Teams klar sein. Im Folgenden wird nun auf die einzelnen beteiligten Teams näher eingegangen und an welchen Stellen sie in ihrer Arbeit in den drei Phasen des Lebenszyklus des Regelwerks durch das Beschreibungsmittel näher unterstützt werden sollen.

In gemeinsamen ressortübergreifenden Workshops zur Konzeption tauschen sich die beteiligten Experten aus. Dies sind wie in Abschnitt 4.2 hergeleitet wurde:

- Fachautoren, die nachgelagert das Regelwerk erstellen
- Gutachter, die das neu erstellte Regelwerk zum neuen Betriebsverfahren auf ihre Gültigkeit hin überprüfen und dabei internationale sowie nationale Vorschriften, Gesetze, Verordnungen und Anforderungen an das Sicherheitsniveau beachten müssen
- Zulassungsbehörden, die an der Zulassung des neuen Regelwerks zum neuen Betriebsverfahren beteiligt sind
- Eisenbahnbetriebsleiter, welche die Umsetzung des Regelwerks zum neuen Betriebsverfahren in ihren Organisationseinheiten oder Unternehmen überwachen
- Betriebspersonal, das im täglichen Betrieb mit dem neuen Betriebsverfahren konfrontiert ist
- Personalräte, die Stellung nehmen können z. B. zu arbeitsrechtlichen Konsequenzen des neuen Betriebsverfahrens

Für den Austausch zwischen diesen genannten Gruppen von Experten ist es im Hinblick auf das Ziel der Beschleunigung von Planung und Zulassung neuer Verfahren wichtig, dass alle beteiligten Professionen schnell die Auswirkungen von Regelwerksänderungen oder komplett neuen Betriebsverfahren erfassen können. Hierbei ist eine visuelle Unterstützung beim Erklären der Auswirkungen neuer Verfahren wünschenswert.

Das kann zum einen eine graphische Darstellung der Zusammenhänge bei der Kommunikation zwischen Akteuren sein, wie es z. B. das UML-Aktivitätsdiagramm bietet. Aber noch schneller zu erfassen für alle beteiligten Professionen, unabhängig vom technischen Bildungshintergrund, sind Visualisierungen des Betriebsverfahrens in Form von animierten Zugfahrten auf Infrastrukturvisualisierungen. Um die zweitgenannte Art der Visualisierung innerhalb kürzester Zeit z. B. während eines Workshops zur Verfügung zu stellen, werden ausführbare Modellierungen der Beschreibung des Betriebsverfahrens benötigt, die somit Anforderung ER1 besser erfüllen.

Nach der Konzeption durch Experten unterschiedlicher Professionen geht die Arbeit für den Fachautor in der Planungsphase für das neue oder geänderte Betriebsverfahren weiter. Ein Beschreibungsmittel soll ihn beim Anforderungsmanagement unterstützen und ihn möglichst einfach die Anmerkungen und Inputs der verschiedenen an der Konzeption beteiligten Experten in die einheitliche Beschreibung des geänderten oder neuen Betriebsverfahrens übernehmen lassen. Hierbei ist es nicht unmittelbar möglich, eine klare Empfehlung für ein Beschreibungsmittel auszusprechen, sondern viele verschiedene Beschreibungsmittel erfüllen die Anforderung PA1.

Jedoch ermöglicht die Modellierung in einem ausfüllbaren Modell dem Fachautor die Arbeit in einem einzigen Modell mit einer einzigen Software, anstatt nach der Nutzung einer graphischen Darstellung mittels UML-Diagramms eine andere Software für das Anforderungsmanagement zu nutzen. Das Anforderungsmanagement über z. B. Ticketing-Systeme oder commits in einem git oder ähnlichem Verzeichnis ist gelebter Standard in der Softwareentwicklung. Er ersetzt das Anforderungsmanagement über unterschiedliche Softwaresysteme wie beispielsweise das Sammeln der Anforderungen in Listen in einer Tabellenkalkulation und die Einarbeitung der Änderungen im geschriebenen Richtlinien text in einem Texteditor.

Ein weiteres Ziel des Fachautors in dieser Phase ist die nachvollziehbare Dokumentation von Anforderungen und den durch die Einarbeitung dieser Anforderungen entstandenen Spezifikationen des Betriebsverfahrens. Auch hier können den Autor bestehende Systeme wie Ticketing-Systeme unterstützen. Die Nutzung von Ticketing-Systemen gibt nicht das zu benutzende Beschreibungsmittel vor, jedoch ist auch hier die unmittelbare Verknüpfung von Anforderungsmanagement und Dokumentation in Ticketing-Systemen und in Form von commits in unmittelbarer Verknüpfungen mit dem ausführbaren Code von Vorteil, da eine manuelle Schnittstelle entfällt. Die Änderungen, die committed werden, haben unmittelbaren Einfluss auf den ausführbaren Code und werden für alle Fachautoren sichtbar dokumentiert. Somit ist für das ausführbare Modell eine leicht bessere Erfüllung der Anforderung PA1 festzuhalten.

Die beiden Anforderungen PM1 und PM2 zum modularisierten Aufbau sind mit beiden Beschreibungsmitteln gut zu erfüllen. Hierbei kommt es nur auf die Arbeitsweise des Autors an, er muss selbst atomare Module definieren und für eine internationale Einsatzbarkeit am besten die englische Sprache für die Beschreibung nutzen. Keines der beiden Beschreibungsmittel bietet für den Autor hierbei einen besonderen Vorteil.

Die Zugänglichkeit zu einem ausführbaren Modell ist durch die Arbeit mit Source-Code für Regelwerksautoren schwerer als bei einer graphischen Darstellung. Informationen sind schneller aus einer graphischen Darstellung zu erfassen als aus dem ausführbaren Modell. Anforderung PE1 wird somit durch die graphische Darstellung besser erfüllt.

Jedoch hat auch eine die graphische Darstellung Grenzen. Je umfangreicher der darzustellende Zusammenhang ist, umso größer wird entweder die graphische Darstellung oder der Zusammenhang muss auf mehrere graphische Darstellungen aufgeteilt werden. Die Anforderung RP1 nach einem einzelnen Dokument kann somit von der graphischen Darstellung für komplexe Regelwerke nicht erfüllt, von der ausführbaren Modellierung allerdings gut erfüllt werden. Die Verständlichkeit kann jedoch unter der Aufteilung auf mehrere Dokumente leiden, weswegen die ausführbare Modellierung die Anforderung PE2 besser erfüllt. Beide Beschreibungsmittel bleiben aber grundsätzlich für den Menschen lesbar. Die Anforderung RA1 bleibt für beide Beschreibungsmittel somit erfüllt.

Mit beiden Beschreibungsmitteln wurden bereits in der Vergangenheit unterschiedliche Versuche unternommen, verschiedene Aspekte des Gesamtsystems Bahn – wie Stellwerksspezifikationen oder den Regelbetrieb für Kapazitätsuntersuchungen – zu beschreiben. Für die Beschreibung von Betriebsverfahren im Falle von Abweichungen vom Regelbetrieb sind bisher nur UML-Diagramme

zum Einsatz gekommen, jedoch ist keine abschließende Aussage über die bessere Eignung gegenüber einer ausführbaren Modellierung getroffen. Die Tauglichkeit des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Werkzeuges kann zukünftig für einen Vergleich herangezogen werden. Die Erfüllung der Anforderungen PE3 und A1 wird deshalb zunächst neutral für beide Beschreibungsmittel bewertet.

Nach der abschließenden Spezifikation des geänderten oder neuen Betriebsverfahrens geht es in der Erstellungsphase für den Fachautor weiter. Er muss nun das spezifizierte Betriebsverfahren in Form von neuen betrieblichen Regeln, die in betrieblichen Regelwerken wie der Richtlinie 408 festgehalten sind, wörtlich beschreiben und in einem Betriebsregelwerk dokumentieren.

So soll der Fachautor an dieser Stelle unterstützt werden, indem er einen Standardsatz an vorgefertigten betrieblichen Funktionen, wie sie in allen Betriebsverfahren zu finden sind, zur Verfügung gestellt bekommt. Dies sind grundlegende Funktionen wie Anhalten eines Zuges an einem bestimmten Punkt oder die Übermittlung einer Zielgeschwindigkeit an den Zug. Dieser Standardsatz kann mit einem beliebigen Beschreibungsmittel aufgebaut werden, die Anforderung RG2 wird somit von beiden Beschreibungsmitteln gut erfüllt.

Stehen dem Autor dieser Standardsatz an beschriebenen Funktionen sowie seine eigenen ergänzten Funktionen zur Verfügung, kann er sie zum einen für sein aktuelles Projekt einsetzen, zum anderen für die Wiedereinsatzbarkeit in zukünftigen Projekten nutzen. Bei einer Modellierung in ausführbaren Codes ergibt sich im Gegensatz zur einen grafischen Darstellung der Vorteil, dass die Funktionen unmittelbar unverändert wieder im neuen Projekt eingesetzt werden können.

Damit der Fachautor in der Lage ist, selbst Ersteller des Modells zu sein, benötigt er eine intensive Benutzerführung. In den allermeisten Fällen sind Fachautoren nicht mit der unmittelbaren Arbeit mit Quellcode vertraut. In diesem Punkt bieten nicht ausführbare Modellierungen wie die Erstellung eines UML-Diagramms Vorteile für den Benutzer gegenüber einer ausführbaren Modellierung.

Eine Benutzerführung zur Überwindung dieser Herausforderung kann für eine ausführbare Modellierung z. B. durch interaktive Dokumentation des Beschreibungsmittels im Editor erreicht werden oder durch eine grafische Programmieroberfläche, wie sie im Projekt openETCS eingesetzt wurde.

Die Anforderung ER3 wird unter der Annahme, dass ein Standardsatz zur Verfügung steht und durch den Autor nicht neu begonnen werden muss, auch von der ausführbaren Modellierung erfüllt. Die graphische Darstellung ist jedoch für den Autor heute bereits gut einsetzbar, ohne das neue Beschreibungsmittel aufwendig erlernen zu müssen.

Grundsätzlich erfüllen jedoch beide Beschreibungsmittel die Muss-Anforderung ER2, dass der Mensch die Modellierung mit dem Beschreibungsmittel erstellen können muss. Je nach Wissensstand sind unter Umständen Schulungen notwendig. Somit wird die Anforderung ER6 durch die formale Modellierung schlechter erfüllt, da zunächst zusätzliche Schritte erforderlich sind. In der Zukunft werden diese zusätzlichen Schritte der Schulung der Autoren aber wegfallen können.

Durch die Fachautoren wurde der Wunsch geäußert, zukünftig besser Querbezüge innerhalb eines Regelwerkes und Abhängigkeiten zu anderen Regelwerken identifizieren zu können. Wird in Zukunft der erweiterte Standardsatz an Funktionen auch in neuen Projekten genutzt, baut sich sukzessive ein Netz von gepflegten Abhängigkeiten innerhalb eines Regelwerks sowie zu anderen Regelwerken auf. Die Anforderung ER5 wird deshalb durch die ausführbare Modellierung besser erfüllt.

Diese Abhängigkeiten können dem Autor auch visuell dargestellt werden und ermöglichen ihm den schnellen Zugriff auf Regelwerksinhalte seines Regelwerks oder anderer Regelwerke, die entweder von seinen Änderungen oder neuen Betriebsverfahren betroffen sind oder die Auswirkungen auf sein neu erstelltes Verfahren haben. Visualisierungen sind mit beiden Beschreibungsmitteln gut umsetzbar. Die Visualisierung des ausführbaren Modells erfordert jedoch einen weiteren Zwischenschritt, weshalb die Erfüllung der Anforderung ER1 durch das ausführbare Modell etwas schlechter ist als für die graphische Darstellung.

Diese Informationsnetze, die sich zwischen den Regelwerksinhalten untereinander aufspannen lassen, können auch für andere Nutzergruppen zugänglich gemacht werden und für ihre Aufgaben von Vorteil sein. So ist z. B. eine Unterstützung im Betrieb für das Betriebspersonal denkbar, die Inhalte der für Eisenbahninfrastrukturunternehmen (kurz: EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (kurz: EVU) unterschiedlichen gültigen Regelwerke zu verknüpfen und anzuzeigen oder für LST-Planer, die auf betriebliche Auswirkungen ihrer LST-Planungen nach den Planungsvorschriften aufmerksam gemacht werden. Beide Beschreibungsmittel erfüllen somit die Anforderung RA2 gut.

Vor diesen Einsätzen steht jedoch die Aufgabe, das veränderte oder neue Betriebsverfahren vollständig und korrekt zu beschreiben. Der Fachautor muss in die Lage versetzt werden, die Auswirkungen seiner formulierten Änderungen an einem bestehenden Betriebsverfahren oder seines gänzlich neu erstellten Betriebsverfahrens möglichst früh erfassen zu können. Dies entspricht dem Verfahren der frühen Prototypisierung und Prototypisierung in der Softwareentwicklung. Zu einem möglichst frühen Zeitpunkt in der Entwicklung sind die Auswirkungen von Änderungen schnell erkennbar. Auch das Einarbeiten in die falsche Richtung kann dadurch früh bemerkt werden, wenn in diesem Stadium schon unüberwindbare negative Aspekte des Verfahrens auffallen. Die Weiternutzung der Modellierung in zu entwickelnden Softwaretools ist mit der ausführbaren Modellierung gut möglich, die Anforderung ER4 wird gut erfüllt. Für die unmittelbare Überführung von UML-Diagrammen in Softwarecode existieren nur rudimentäre Automatismen, die z. B. automatisch Klassen aus Klassendiagrammen erzeugen können, die algorithmischen Inhalte jedoch nicht.

Bisher wurden Simulationen hauptsächlich für spezielle, einzelne Fragestellungen eingesetzt wie z. B. die Simulation von Reisendenströmen an Reisendenübergängen oder Simulationstools der ERA zu Bremskurvenberechnung. Bei der Ermittlung von technischen Grenzwerten wird aktuell vor allem auf externe Gutachter gesetzt. Eine Simulation der geänderten oder neuen Betriebsverfahren würde den Fachautor in die Lage versetzen, diese Grenzwertermittlungen selbst zu übernehmen. Die Nutzung einer ausführbaren Modellierung ist hierbei von großem Vorteil, die Anforderung ES1 wird somit gut erfüllt. Graphische Darstellungen wie UML-Diagramme können nur die Grundlage für neu zu erstellende Simulationsprogramme sein.

Mit Simulationen basierend auf dem ausführbaren Modell oder der graphischen Darstellung durch UML-Diagramme können Kenngrößen wie die Auslastung von Infrastruktur berechnet werden. Ausführbare Modelle erfüllen die Anforderung ES4 besser, da unmittelbar Ergebnisse aus der Simulation des ausführbaren Modells entnommen werden können. Es wird kein zusätzliches Simulationsprogramm benötigt. Über Konverter können in diese Simulation auch bestehende Infrastrukturdaten oder Daten zum Betriebsprogramm übernommen werden. Die Anforderung ES3 wird somit vom ausführbaren Modell besser erfüllt.

Der Fachautor muss demnach ein ausführbares Modell seines Betriebsverfahrens an die Hand bekommen. Von Vorteil ist, wenn er selbst Ersteller dieses Modells ist, da er unmittelbar testen und die Auswirkungen von Änderungen nachverfolgen kann. Es ist wünschenswert, dass der Zwischenschritt über einen externen Ersteller eines ausführbaren Modelles entfällt, damit der Fachautor seine Arbeit unmittelbar weiterführen kann. Sind mehrere Autoren oder Softwareentwickler beteiligt, muss über Werkzeuge sichergestellt werden, dass die Änderungshistorie nachvollzogen werden kann. Für beide Beschreibungsmittel existieren hierfür bereits gut einsetzbare Werkzeuge. Die Anforderung ES2 wird erfüllt.

Im bisherigen Prozess der Einführung eines geänderten oder neuen Betriebsverfahrens folgt nach der Erstellung des geschriebenen Regelwerks zunächst die Mitzeichnung der anderen während der Konzeption beteiligten Ressorts und dann die Übergabe an einen Gutachter zur Prüfung der Gültigkeit und Sicherheit des erstellten Regelwerks. Zusätzlich zum reinen neu erstellten Regelwerk werden auch E&E-Papiere an den Gutachter übergeben, in welchen die Änderungen dokumentiert sind. Der Einsatz einer Modellierung in Form eines maschinenlesbaren Codes ermöglicht hier ganz neue Einsatzfelder von formalen Nachweisen zur Unterstützung dieser Gutachtertätigkeiten. Mit formalen Nachweisen kann ein widerspruchsfreies Ergebnis erzielt werden. Große oder mehrere Dokumente mit graphischen Darstellungen von UML-Diagrammen schneiden bei der Anforderung RP2 zu einem widerspruchsfreien Ergebnis deutlich schlechter ab.

Bereits jetzt existieren in der Softwareentwicklung ausgefeilte und im Einsatz befindliche Werkzeugumgebungen zur Führung von formalen Nachweisen auf mathematische Korrektheit zu angegebenen Sicherheitsaspekten. Liegen die geänderten und neuen Betriebsverfahren in ausführbarem Code vor, kann dieser Code direkt an die bestehenden Werkzeuge für formale Nachweise übergeben werden. Die Anforderung RG1 wird somit besser erfüllt.

Die Laufzeiten für eine für Betriebspersonale nutzbare Anwendung im laufenden Betrieb sind voraussichtlich bei Nutzung einer ausführbaren Modellierung geringer als der Zeitbedarf für die Nutzung von visuell festgehaltenen Prozessen. Die Anforderung RA3 wird von den ausführbaren Modellen besser erfüllt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt zusammengefasst die hergeleiteten Bewertungen zur Erfüllung der Anforderungen. Alle Muss-Anforderungen werden von beiden Beschreibungsmitteln erfüllt. In Summe ist die Zielerfüllung durch das ausführbare Modell höher.

Tabelle 8: Zielerfüllung der Beschreibungsmittel

Anforderung	Kurzbezeichnung	Graphische Darstellung	Ausführbares Modell
PA1	unterstützt beim Anforderungsmanagement	0	+
PM1	universelle Sprache für internationale Einsetzbarkeit	0	0
PM2	grundlegende abstrakte Module definieren	0	0
PE1	Zugänglichkeit	+	0
PE2	Verständlichkeit	0	+
PE3	einsetzbar für das Gesamtsystem Bahn	0	0
ER1	Visualisierungen ermöglichen	+	0
ER2	Mensch kann erstellen	Muss-Anforderung	+
ER3	Anwendung durch heutige Autoren	+	0
ER4	Nutzung in Softwaretools	-	+
ER5	Änderungen nachverfolgbar	0	+
ER6	keine zusätzlichen Schritte	+	-
ES1	Simulationen ermöglichen	-	+
ES2	Vergleichbarkeit/Historie	0	0
ES3	Nutzung realer Betriebs- und Infrastrukturdaten	-	+
ES4	Kenngrößen berechnen	-	+
RG1	formale Nachweise erleichtern	0	+
RG2	Abstraktion	+	+
RP1	ein einzelnes Dokument	-	+
RP2	widerspruchsfreies Endergebnis	-	+
RA1	für den Menschen lesbar	Muss-Anforderung	+
RA2	Visualisierungen ermöglichen	+	+
RA3	schnelle Laufzeiten im Betrieb	Muss-Anforderung	0
A1	Betriebsprozesse modellieren	Muss-Anforderung	0
Summe:		2 x +	14 x +

Vor allem in Bereichen der Zugänglichkeit, der Einsetzbarkeit durch bereits arbeitende Autoren und der Visualisierung schneidet das ausführbare Modell im Vergleich schlechter ab. Den beiden ersten Defiziten muss bei Einführung einer Realimplementierung mit erhöhtem Schulungsaufwand entgegengewirkt werden. Die Visualisierung kann durch auf das Modell aufsetzende Software erreicht werden, dies führt jedoch zu Mehraufwand in der Entwicklung.

Zusammenfassend wird an dieser Stelle die Wahl eines ausführbaren Modells in Form eines maschinenlesbaren Codes empfohlen. Eine Ergänzung um eine benutzerfreundliche Programmieroberfläche ist anzudenken. Diese benutzerfreundliche Programmieroberfläche hat jedoch keine negativen Auswirkungen auf die oben erarbeiteten Vorteile des ausführbaren maschinenlesbaren Modells, sondern es handelt sich lediglich um eine Komfortfunktion für die unmittelbare Erstellung, nicht um eine Funktion, welche die Auswertung des Modells betrifft oder beeinträchtigt.

Auswahl des Vorgehensmodells

Die Entwicklung eines Werkzeuges für die Beschreibung von Betriebsverfahren der Eisenbahnen mit ausführbarem Code ist Neuland. Es existieren keine Vorkenntnisse über die Erfolgsaussichten. Der Beginn mit einem kleinen Ausschnitt der Betriebsverfahren kann Aussagen über die Eignung ermöglichen, bevor beispielsweise eine umfangreiche Entwicklung für eine gesamte Richtlinie angegangen wird. Entwicklungsprinzipien wie das Wasserfallmodell oder das V-Modell verlangen jedoch eine vollständige Spezifizierung bereits zu Beginn.

Um die Erfolgsaussichten schneller abschätzen zu können und um mit kleinen Ausschnitten beginnen zu können, wird an dieser Stelle die inkrementelle Entwicklung empfohlen.

Ziel dieses Kapitels war die Überprüfung der Eignung der Beschreibungsmittel. In einer vergleichenden Bewertung konnte das ausführbare Modell als Beschreibungsmittel ausgewählt und sogleich mit dem inkrementellen Vorgehensmodell eine Empfehlung für die weitere Erarbeitung des Werkzeuges zur formalen Modellierung empfohlen werden.

7.1 Einleitung

Um den Inhalt eines Regelwerks in eine formale Modellierung zu überführen ist ein Prozess für den durchführenden Modellierer zu beschreiben sowie Abstraktionsregeln für die Grundbausteine des formalen Modells sowie Schnittstellen und Funktionen im formalen Modell. Ziel ist es in diesem Kapitel ein von Modellierern anwendbares Vorgehensmodell zu präsentieren, mit dem die eigentlichen Inhalte des formalen Modells durch den Modellierer erstellt werden können.

Aufbauend auf der Wahl der zu berücksichtigenden Richtlinie 408 aus Abschnitt 5.2 sowie der zusätzlichen Festlegung auf Untersuchung von Eisenbahnbetrieb durch die Auswahl des Anwendungsfalls in Abschnitt 5.3 sind bei der Erstellung des formalen Modells die Betriebsprozesse bei Regelbetrieb sowie bei Abweichungen vom Regelbetrieb zu berücksichtigen. Die diesem Kapitel nachfolgenden Kapitel 8 zu den Grundbausteinen des formalen Modells, Kapitel 9 zu den Modellierungsprinzipien der Betriebsprozesse sowie Kapitel 10 zu den Schnittstellen und Funktionen im formalen Modell stellen das umgesetzte Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln dar.

Notwendige Eingangsgrößen

Bevor das Beschreibungsmittel für eine formale Modellierung eingesetzt werden kann, muss eine entsprechende Datengrundlage geschaffen sein. Alle notwendigen Informationen sind grundsätzlich in den zu betrachtenden Regelwerken festgehalten.

In den durchgeführten Befragungen zeigten sich jedoch für eine praktische Anwendung mehrere Herausforderungen. Zum einen sind teilweise Informationen in den Regelwerken enthalten, die vom Anwender des Regelwerks unterschiedlich ausgelegt werden können, ohne dem im Text festgehaltenen Inhalt zu widersprechen. Zum anderen werden weitere Informationen u. a. aus Handbüchern und weiteren Regelwerken benötigt, die somit zusätzlich berücksichtigt werden müssen. Eine vollständige formale Modellierung der relevanten Inhalte der durch die weiteren Schriftstücke ergänzten Regelwerke ist nur so möglich.

Nach der Beschaffung aller notwendigen Grundlagen kann mit der Analyse der im Regelwerk beschriebenen Prozesse begonnen werden.

7.2 Prozessbeschreibung

Ziel des zu beschreibenden Prozesses ist es, die Betriebsprozesse im zu untersuchenden Regelwerk in eine formale Modellierung zu überführen. Wie in den Kapiteln zur Literaturarbeit und zur Festlegung der Methode deutlich gemacht wurde, gibt es bisher keine Möglichkeit, diese komplexen Prozesse vollständig automatisiert aus dem geschriebenen Regelwerk heraus darzustellen. Hierzu ist immer noch die Arbeit eines Modellierers nötig.

Betriebsprozesse bei den Eisenbahnen setzen sich aus den Handlungen der Betriebspersonale, den Funktionen der Leit- und Sicherungstechnik, dem Bewegungsprozess des Zuges und dem Informationsaustausch zwischen allen Beteiligten zusammen. Die am Betriebsprozess Beteiligten müssen nicht nur die Betriebspersonale sein, ebenso kann eine Information über ein Signal – also eine Komponente der LST – übermittelt werden. Die an Betriebsprozessen Beteiligten werden weiteren Verlauf der Arbeit als „Akteur“ bezeichnet. Die Akteure und der Informationsaustausch bilden die Grundbausteine für die formale Modellierung.

Für eine vollständige formale Modellierung müssen alle für die zu modellierenden Betriebsprozesse notwendigen Akteure identifiziert werden. Weiterhin ist der Informationsaustausch zwischen den Akteuren zu erfassen und formal zu beschreiben. Diese beiden Schritte sind die Hauptaufgabe für den Modellierer.

Hierbei sind jedoch zwei Herausforderungen für den Modellierer festzuhalten. Zum einen verfügt der Modellierer nicht notwendigerweise über das vollständige Domänenwissen, zum anderen können die notwendigen betrieblichen Schritte für beteiligte Akteure in anderen Regelwerken als dem zu untersuchenden Regelwerk festgehalten sein. Dies trifft vor allem für das Betriebspersonal auf dem Zug zu.

Beiden Herausforderungen kann durch Zusammenarbeit mit den Anwendern und Autoren der Regelwerke (Domänenexperten) begegnet werden. Die Literaturarbeit mit den zur Verfügung stehenden Regelwerken bildet somit den ersten Schritt der Dokumentation des Domänenwissens. Folgende Schritte sind die erwähnte Sammlung von weiteren (eventuell nur intern verfügbaren) Schriftstücken mit relevanten Inhalten und die Zusammenarbeit mit den Domänenexperten.

Die Nutzung von weiteren verfügbaren Schriftstücken setzt eine enge Zusammenarbeit mit dem Rechteinhaber/Ersteller der Regelwerke voraus. Im Falle von Inhalten, die z. B. in Planungshandbüchern festgehalten werden, ist eine Zusammenarbeit mit einer zusätzlichen Stelle, den Anwendern der Regelwerke, notwendig. Eine vollständige formale Modellierung ist durch diese Verteilung der relevanten Inhalte auf verschiedene Quellenarten schwierig, dieses Ziel kann jedoch durch die gemeinsame Arbeit an den Grundbausteinen der formalen Modellierung erreicht werden.

Die in den zusammengetragenen Dokumenten (Regelwerke, interne Schriftstücke, Planungshandbücher etc.) beschriebenen Prozesse können in einigen Fällen vom Anwender des Regelwerks unterschiedlich ausgelegt werden. Diese Unterspezifizierung ist in vielen Fällen von den Erstellern oder Nutzern bereits identifiziert, wird aber akzeptiert, um z. B. projektspezifisch geeignete Lösungen nicht durch das Regelwerk unmöglich zu machen. Um diese Fälle frühzeitig in die formale Modellierung aufzunehmen, ist von Anfang an eine Zusammenarbeit mit Domänenexperten wichtig.

Neben der Identifizierung von absichtlich unterspezifizierten Prozessen ist die Zusammenarbeit mit den Domänenexperten besonders von Bedeutung, um die korrekte Auslegung des Domänenwissens aus der zusammengetragenen Dokumentation durch den Formalisierer zu überprüfen. Dies kann auf verschiedene Weisen unterstützt werden. Regelmäßige Treffen zur

Klärung von offenen Fragen sind hierbei die Mindestanforderung. Zur Klärung von Sachverhalten eignen sich vor allem konkrete Anwendungsbeispiele, z. B. eigene Infrastrukturplanungen oder die Beschreibung eines Betriebsprozesses durch den Formalisierer.

Diese Treffen und die Vorstellung von Beispielen sollten den nachfolgenden Prozess in regelmäßigen Abständen begleiten. So ist eine Fehlentwicklung bei der formalen Modellierung zu vermeiden. Vorangestellt ist die Identifizierung von Hauptakteuren im zu formalisierenden Prozess. Der Begriff Akteur ist hierbei weit zu fassen und schließt nicht nur menschliche Akteure oder verantwortliche Stellen ein. Alle Akteure, auch technische Einrichtungen, die an Kommunikationsprozessen (Austausch und Verarbeitung von Informationsflüssen) beteiligt sind, sollten involviert werden.

An einem Beispiel aus dem Bahnbetrieb sei diese Festlegung kurz erklärt. Beim Start einer Zugfahrt am Bahnsteig bis auf die Strecke zwischen zwei Bahnhöfen ist vereinfacht der folgende in Abbildung 10 dargestellte Prozess zwischen EVU und EIU abzuarbeiten:

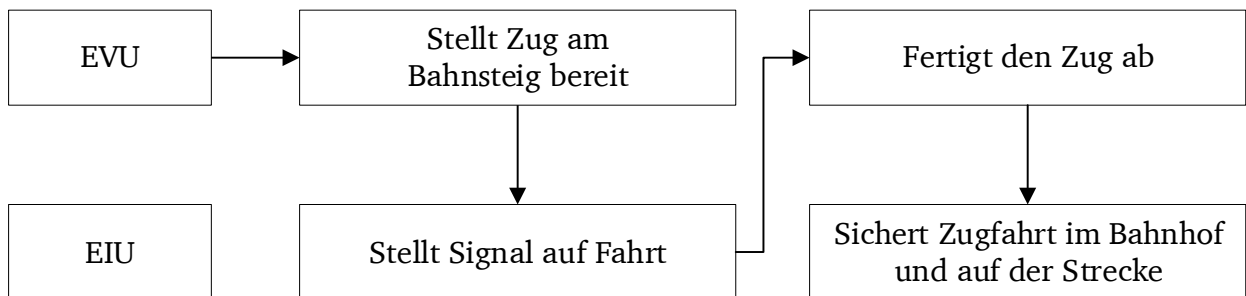


Abbildung 10: Vereinfachter Prozess „Zugfahrt Durchführen“ zur Abfahrt von einem Bahnsteig

Wichtige Akteure sind:

- Fahrdienstleiter
- Hauptsignal
- PZB-Magnet und -Fahrzeuggerät
- Triebfahrzeugführer
- Zugführer
- Spitze und Ende des Zuges
- Fahrstraßenzugschlussstelle

Die Aufgaben der für dieses Beispiel identifizierten Akteure sind hier kurz dargestellt. Nach der Schaffung aller Voraussetzungen stellt der Fahrdienstleiter die Fahrstraße ein und gibt über die Fahrtstellung des Signals diese Information an den Triebfahrzeugführer und den Zugführer. Der Zugführer stellt daraufhin die Abfahrbereitschaft des Zuges her und informiert den Triebfahrzeugführer entsprechend.

Über die Zusammenwirkung von PZB-Magnet und -Fahrzeuggerät wird das Verhalten des Triebfahrzeugführers bei Vorbeifahrt der Zugspitze am Hauptsignal auf Korrektheit überprüft.

Nach Vorbeifahrt des Zuges am Signal wird in der Regel das Hauptsignal automatisch auf Halt gestellt. Nach Vorbeifahrt des Zuges an der Fahrstraßenzugschlussstelle ist wieder eine Fahrt auf das Hauptsignal möglich.

Alle diese betrieblichen Abläufe laufen stets auf den Austausch von Informationen hinaus, nachdem die Handlungen des jeweilig zuständigen Akteurs abgeschlossen wurden. So überträgt z. B. die Fahrstellung des Signals die Information an den Triebfahrzeugführer, dass der Fahrweg frei und die Fahrt zugelassen ist. Meistens erfolgt der Informationsfluss nur in eine Richtung, beispielsweise bei der Fahrstellung des Signals. Dies ist dem hohen Alter der dem heutigen Betrieb zugrunde liegenden Betriebsverfahren geschuldet, zum Zeitpunkt der Einführung gab es keine kabellose Kommunikation im Bahnbetrieb.

Über zusätzliche betriebliche Vorschriften und technische Einrichtungen wurden Möglichkeiten geschaffen, die korrekte Übertragung und Aufnahme von Informationen zu überprüfen. Am Beispiel des Signalbegriffes seien hier drei Punkte genannt:

- Gestaltung der Signalbegriffe, um auch bei Ausfall einzelner Elemente keine Mehrdeutigkeiten zu erzeugen
- betriebliche Regel zum Halt des Zuges bei unklarem Signalbegriff (DB Netz AG 2019)
- zusätzliche technische Einrichtung der Zugbeeinflussung mit Kopplung an den Signalbegriff zur Überprüfung des korrekten Verhaltens des Triebfahrzeugführers

In Fällen, in denen der Mensch bei Abweichungen vom Regelbetrieb Teile der Aufgaben der technischen Sicherung übernimmt, wurde mit der betrieblichen Regel, die eine Wiederholung des diktierten schriftlichen Befehls vorschreibt, eine sofortige Rückantwort der zu übermittelnden Informationen in die betrieblichen Prozesse eingebaut.

Zusammenfassung

Kapitel 7 präsentiert ein von Modellierern anwendbares Vorgehensmodell, mit dem die eigentlichen Inhalte des formalen Modells durch den Modellierer erstellt werden können. Das Vorgehensmodell umfasst fünf Hauptschritte.

Zu Beginn des Vorgehensmodells wird im ersten Schritt über Literaturarbeit mit frei verfügbaren Dokumenten wie dem Regelwerk selbst, internen Dokumenten zum Regelwerk sowie weiteren externen Quellen wie zum Beispiel Lehrbüchern, welche die Regelwerksinhalte auslegen und anhand von Beispielen erläutern, das Domänenwissen dokumentiert.

Im nächsten Schritt ist durch Zusammenarbeit mit Domänenexperten zu verifizieren ob die in Schritt 1 angefertigte Dokumentation korrekt ist. Hierfür ist der regelmäßige Austausch mit den Domänenexperten anhand von Beispielen vorzusehen. Hinzu können durch die gemeinsame Arbeit absichtlich unterspezifizierte Prozesse, die zum Beispiel dem Anwender des Regelwerks Handlungsspielräume lassen, identifiziert werden.

Der dritte Schritt ist die Identifizierung und Benennung von Akteuren sowie die Zusammenfassung von Akteuren, die in den zu beschreibenden Prozessabläufen die selben Aufgabe übernehmen, zu Gruppen. Akteure können unter anderem Mitarbeiter im Bahnbetrieb aber auch technische Einrichtungen sein.

Der zwischen diesen Akteuren stattfindende Informationsfluss wird im vierten Schritt des Vorgehensmodells identifiziert und im abschließenden fünften Schritt beschrieben.

Die folgenden Kapitel beschreiben im Detail die Schritte 3 bis 5 der oben aufgeführten Prozessbeschreibung. Beginnend mit der Modellbildung für Akteure auf Infrastruktur- und Zugseite wird im selben Kapitel zur Identifikation der Punkte des Informationsflusses übergeleitet. Auf diesen Grundlagen aufbauend wird die Modellierung von Betriebsprozessen beschrieben.

8 Grundbausteine der formalen Modellierung

8.1 Einleitung

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Regeln aufgestellt, nach denen das zu untersuchende Regelwerk auf Akteure und Punkte des Informationsflusses untersucht werden müssen. Die identifizierten Akteure lassen sich klassifizieren. Ziel dieses Kapitels ist, die Akteure der Klassen Zug und Infrastrukturelemente weiter zu spezifizieren und die Punkte der Informationsflüsse diesen Akteuren zuzuweisen. Bei der Spezifikation muss dabei Rücksicht auf den ausgewählten Anwendungsfall genommen werden, der Anwendungsfall gibt die zu berücksichtigenden Betriebsprozesse vor. Wie diese übermittelnden Informationen genutzt werden können, um Betriebsprozesse zu beschreiben, ist Inhalt des anschließenden Kapitels 9.

Aufgabe beim Einsatz des gewählten Beschreibungsmittels ist die Abbildung aller zur Durchführung von betrieblichen Prozessen notwendigen Akteure als Modell der Wirklichkeit. Vordergründig sind dies der Zug und alle Infrastrukturelemente an der Strecke, an denen der Zug neue Informationen über seine abzuarbeitenden Aufträge zur Durchführung des Eisenbahnbetriebs erhält. Hinzu kommen jedoch auch die Kommunikationsprozesse zur Übermittlung der Aufgaben und Anweisungen zur Durchführung des Betriebs.

Die Granularität, in welcher der Zug und die Infrastruktur als Modell beschrieben werden, orientiert sich am Einsatzzweck des Modells. Der ausgewählte Anwendungsfall benötigt die Beschreibung von Betriebsprozessen bei Abweichungen vom Regelbetrieb.

Die Infrastruktur muss für diesen Anwendungsfall sehr ausführlich beschrieben werden. An vielen Punkten der Infrastruktur ändern sich bei Betriebsverfahren bei Abweichungen vom Regelbetrieb zu übermittelnde Informationen. Ziel ist es, jeweils wieder in den einfacheren Regelbetrieb zurückzukehren.

Die Zugsbewegung hingegen kann relativ einfach beschrieben werden. Grundlegende Bewegungszustände sowie die Besonderheiten beim Fahren auf Sicht sind ausreichend, um die Zustände und Prozesse auch bei Abweichungen vom Regelbetrieb beschreiben zu können. Es ist kein Ziel, beim ausgewählten Anwendungsfall umfangreiche Kapazitätsuntersuchungen durchzuführen, weshalb keine genaue Fahrzeitenrechnung unter Berücksichtigung von Zugkraftdiagramm oder Widerständen nötig ist.

8.2 Akteur Zug

Betriebliche Prozesse der Eisenbahnen dienen zur Durchführung von Zugverkehr. Um betriebliche Prozesse der Eisenbahnen beschreiben zu können, muss das zu erstellende Modell des Zuges vor allem in der Lage sein, Fahrten darzustellen. Die Bewegungszustände eines Zuges während einer Zugsbewegung (Zugfahrt oder Rangieren) sind das Beharren mit aufgeschalteter Leistung nach dem Anfahren, das Auslaufen bei abgeschalteter Traktionsenergie sowie das Bremsen. Die nachfolgende Abbildung zeigt diese Zustände qualitativ in einem Geschwindigkeit-Weg-Diagramm.

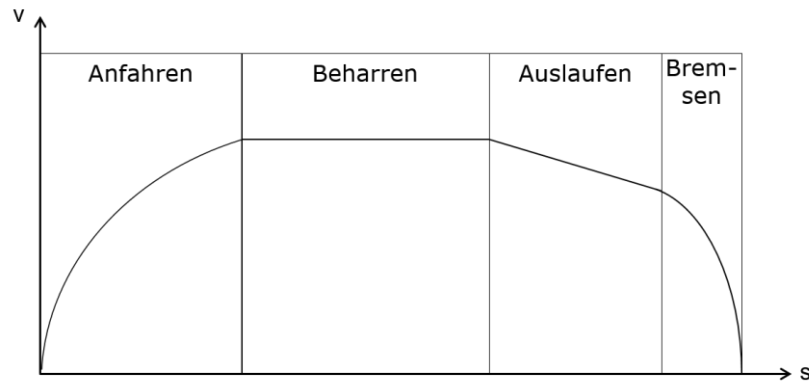


Abbildung 11: Bewegungszustände Zug nach (Oetting 2019)

Für die Darstellung von betrieblichen Prozessen reicht jedoch die Reduzierung auf Anfahren, Beharren und Bremsen. Beim Anfahren wird ein schnellstmögliches Anfahren und bei der Bremsung das Bremsvermögen bei der Schnellbremsung angenommen, da hiermit zur sicheren Seite hingearbeitet wird. Schnellstmögliches Anfahren führt dazu, dass der Zug schnellstmöglich Punkte an der Infrastruktur erreicht. Die modellierten Prozesse müssen schnell genug abgelaufen sein, um den weiteren Fahrweg zu sichern (Sicherung nachgelagerter Bahnübergänge etc.). Bei der Bremsung wird davon ausgegangen, dass der Zug sein für den Fahrplan nötiges Bremsvermögen erreicht.

Auf den Fahrzustand Auslaufen kann verzichtet werden, da bei der Analyse betrieblicher Prozesse die durch die Ausnutzung des Auslaufens mögliche Energieeinsparung in den Hintergrund tritt. Die nachfolgende Abbildung zeigt diesen Zielzustand für die zu berücksichtigenden Fahrzustände des Zugmodells.

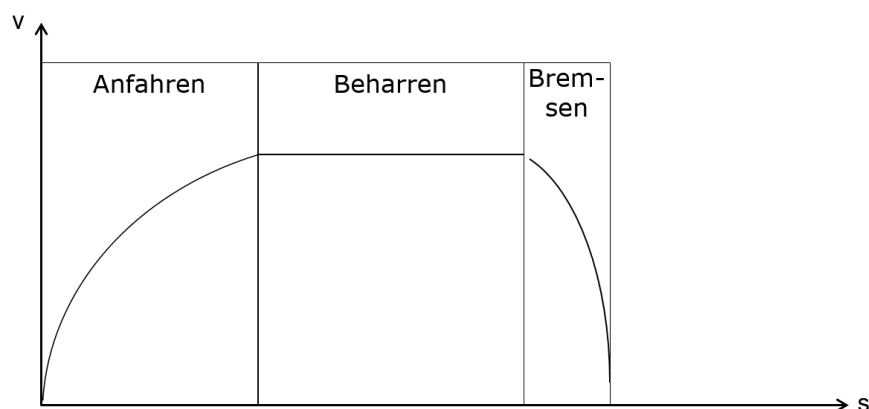


Abbildung 12: Bewegungszustände Zug, angepasste Darstellung nach (Oetting 2019)

Der Zug wird begrenzt durch Zugspitze und Zugschluss, die Fahrzustände eines Zuges ändern sich an diesen Punkten immer zur gleichen Zeit. Gefährdungen für den Zug während der Fahrt betreffen entweder eine Auffahrt mit der Zugspitze oder die Auffahrt auf den Zugschluss (vgl. Abbildung 20). Für die Modellierung betrieblicher Prozesse sind nur diese zwei Punkte eines Zuges relevant: Der Standort der Zugspitze und der Standort des Zugschlusses und der Zeitpunkt, zu

dem Zugspitze und Zugschluss Punkte auf der Infrastruktur passieren. So z. B. für die Aufnahme eines Signalbegriffes und den Zeitpunkt der Räumung eines Abschnittes. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Modell der Zug auf diese Eigenschaften reduziert:

- Zugspitze
- Zugschluss
- Beschleunigungsvermögen
- Bremsvermögen bei einer Schnellbremsung

Die Eigenschaften des Modelles müssen ggf. aufgrund anderer Regelwerksinhalte ergänzt/geändert werden, z. B. um Kapazitätsuntersuchungen durchführen zu können, bei denen die Fahrzeitenrechnung nicht unter der Annahme von Schnellbremsungen, sondern mit Betriebsbremsungen erfolgt.

8.3 Akteure der Infrastrukturseite

8.3.1 Einleitung

Neben dem Zug sind weitere Akteure an den Betriebsprozessen beteiligt. Die Modellierung der in Abschnitt 7.2 eingeführten Akteure erfordert zunächst die vollständige Identifikation aller für die Modellierung notwendigen Akteure. Die Vollständigkeit kann durch Analyse des relevanten Regelwerks sowie die Simulation von Szenarien garantiert werden. Das Szenario – Start einer Zugfahrt – aus Abschnitt 7.2 aufgreifend sind dies folgende Akteure:

- Fahrdienstleiter
- Hauptsignal
- PZB-Magnet und -Fahrzeuggerät
- Triebfahrzeugführer
- Zugführer
- Spitze und Ende des Zuges
- Fahrstraßenzugschlussstelle

Neben dem Hauptsignal ist auf der Infrastrukturseite noch ein Vorsignal vorzusehen sowie bei streckenseitiger PZB-Ausrüstung mindestens ein weiterer 1.000-Hz-Magnet am Standort des Vorsignals. Diese Infrastrukturkomponenten nehmen teilweise denselben Ort in einer Infrastrukturmodellierung ein, so z. B. der 2.000-Hz-PZB-Magnet und das Hauptsignal oder der 1.000-Hz-Magnet und das Vorsignal. Ihre logischen Zustände sind unmittelbar gekoppelt an die Einrichtung am selben Ort, haben aber auch Abhängigkeiten zu anderen Infrastrukturkomponenten.

Um diese Abhängigkeiten zu anderen Infrastrukturkomponenten zu verdeutlichen, soll folgendes Beispiel einer Signalisierung mit H/V-System bei Haltstellung des Hauptsignals dienen:

- Hauptsignal: Haltbegriff
- 2.000-Hz-Magnet: aktiv
- Vorsignal: Halt erwarten
- 1.000-Hz-Magnet: aktiv

Beide Magneten sind aktiviert bei einschränkendem Signalbegriff. Dies ist jedoch nicht generell der Fall. Bei Stellung des Hauptsignals mit Fahrt einschränkendem Fahrtbegriff (Langsamfahrt) ist der Magnet am Standort des Hauptsignals nicht aktiv:

- Hauptsignal: Langsamfahrt
- 2.000-Hz-Magnet: nicht aktiv
- Vorsignal: Langsamfahrt erwarten
- 1.000-Hz-Magnet: aktiv

Alle Zustände dieser vier Akteure sind alleine davon abhängig, welchen Zustand das Hauptsignal hat. Bei Fahrtstellung des Hauptsignals beispielsweise zeigt das Vorsignal „Fahrt erwarten“, der 2.000-Hz-Magnet ist inaktiv und der 1.000-Hz-Magnet ist aktiv. Die Modellierung kann auf eine einzelne Kommunikation zwischen Stellwerk und Hauptsignal vereinfacht werden, die Zustandsänderungen der anderen Akteure können aus dieser einzelnen Kommunikation an das Hauptsignal abgeleitet werden.

Für die formale Modellierung von Betriebsprozessen sind die Akteure, die alleine der Leit- und Sicherungstechnik dienen, nicht relevant. Nur Akteure der Infrastruktur, die betrieblich relevante Informationen in Form von Kommunikation mit anderen Akteuren austauschen, sind für die formale Modellierung von Betriebsprozessen relevant.

Im Einzelnen sind dies Akteure der Infrastruktur an denen die Fahrt zugelassen oder beendet wird (Hauptsignale), die Akteure an denen die zugelassene Geschwindigkeit geändert wird (Geschwindigkeitsanzeiger) und die Akteure an denen dies vorsektalisiert wird (Vorsignal und Geschwindigkeitsvoranzeiger). Für alle diese Akteure ist der Sichtbarkeitspunkt ebenfalls relevant, die Herleitung für den Sichtbarkeitspunkt ist dem folgenden Unterabschnitte 0 zu entnehmen. Mit diesen Akteuren kann ausreichend Information in Form von Kommunikationsflüssen mit dem Zug ausgetauscht werden um die in Abschnitt 8.2 eingeführten grundlegenden Bewegungszustände des Zuges auslösen zu können.

Weitere betriebliche Bedeutung haben die Elemente der Zugbeeinflussung, da sich an ihren Standorten die Geschwindigkeiten des Zuges ändern können. Um nach Vorbeifahrt am Signal die Räumungsprüfung durchführen zu können, muss der maßgebende Gefahrpunkt hinter dem Signal bekannt sein. Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt die genannten Akteure auf einer generischen Infrastrukturmodellierung, die auf einem Knoten-Kanten-Modell beruht.

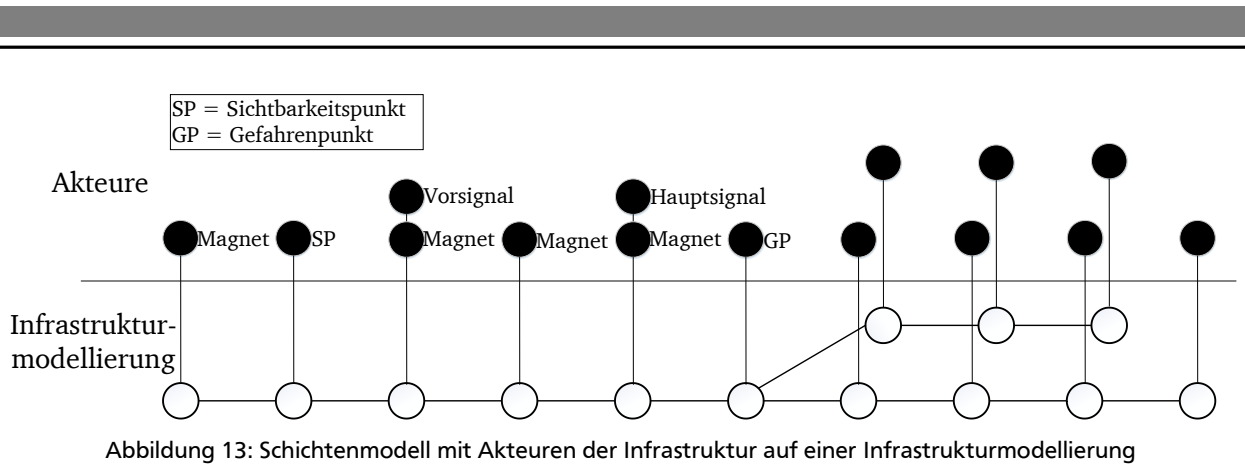


Abbildung 13: Schichtenmodell mit Akteuren der Infrastruktur auf einer Infrastrukturmodellierung

Die Akteure der Infrastruktur werden von Zügen passiert, da ihr Standort an einem Knoten auf der modellierten Infrastruktur liegt. Diese Akteure kommunizieren mit dem Zug und mit anderen Akteuren. Andere Akteure wie das Stellwerk liegen nicht an einem Knoten der Infrastrukturmodellierung und somit auch nicht auf derselben Schicht wie die Akteure der Infrastruktur.

Die Akteure auf der Infrastrukturseite können aufgrund dieser Unterscheidung in zwei Kategorien unterteilt werden:

- Akteure an der Infrastruktur, die von Zügen passiert werden und
- Akteure im Stellwerk

Stellwerke kommunizieren mit den Akteuren der Infrastruktur und untereinander. Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt das Stellwerk im Schichtenmodell.

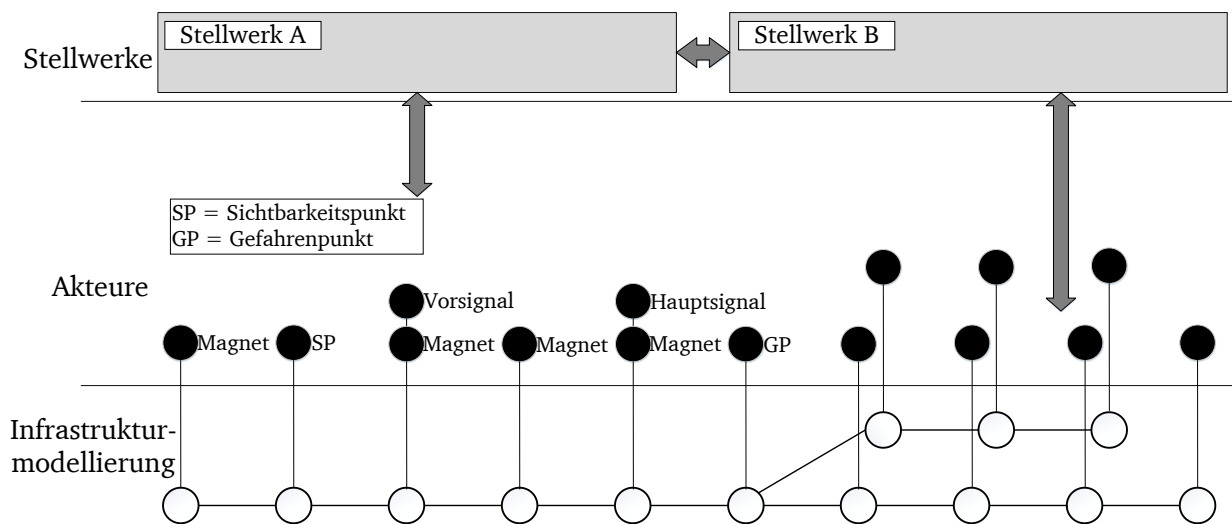


Abbildung 14: Schichtenmodell mit Infrastrukturmodellierung, Akteuren der Infrastruktur und Stellwerken

Es bietet sich aus Vereinfachungsgründen an, eine Gruppe von Akteuren zu definieren, deren Zustände alle logischen von einem einzelnen Akteur abhängig sind. Diese Gruppe wird im Rahmen dieser Arbeit als logische Gruppe definiert.

Die Zusammenfassung mehrerer Infrastrukturkomponenten zu einer logischen Gruppe ermöglicht es, deren unterschiedliche Abhängigkeiten untereinander in dieser logischen Gruppe zu kapseln. Werden die Komponenten Sichtbarkeitspunkt, Vorsignal, Signal, Magnet und Gefahrenpunkt zu einer logischen Gruppe zusammengefasst, muss eine später noch zu beschreibende Kommunikation vom Stellwerk an die Signale nur einen Signalbegriff umfassen, anstatt jede Infrastrukturkomponente einzeln ansprechen zu müssen. Dieser einzelne Signalbegriff wird dann in der logischen Gruppe weiterbearbeitet und in einen einzelnen Signalbegriff für die in der logischen Gruppe vorhandenen Infrastrukturkomponenten übersetzt. Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt beispielhaft eine Zusammenfassung von Akteuren in einer logischen Gruppe. Die genauen Regeln zur Zusammenfassung von Akteuren in logischen Gruppen werden ausführlich in Abschnitt 9.6 vorgestellt.

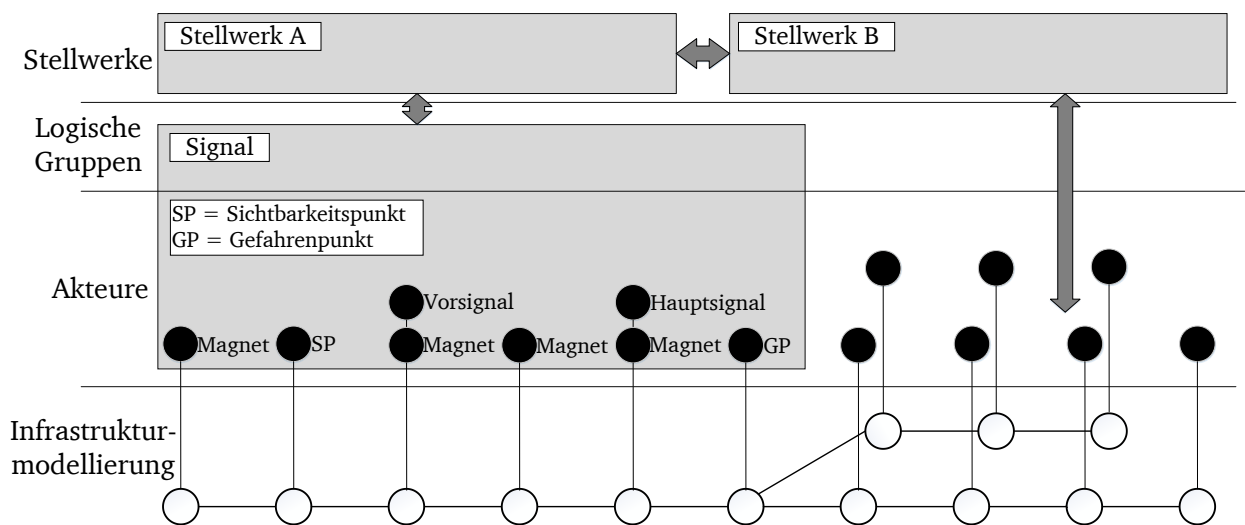


Abbildung 15: Schichtenmodell mit Infrastrukturmodellierung, Akteuren der Infrastruktur, logischer Gruppe Signal und Stellwerken

Die Modellierung in einem Schichtenmodell von Infrastrukturmodellierung, Akteuren der Infrastruktur, logischen Gruppen und Stellwerken für eine formale Modellierung von Regelwerksinhalten für das System wurden vom Autor dieser Dissertation im Rahmen einer vorherigen Veröffentlichung ausgearbeitet und gemeinsam mit Herrn Prof. Reiner Hähnle und Herrn Dr. Eduard Kamburjan vorgestellt (vgl. Kamburjan et al. 2018).

8.3.2 Zusätzliche Punkte der Informationsübertragung

Die Kapselung der Infrastrukturelemente in logische Gruppen ersetzt jedoch nicht die Übertragung von Informationen an einzelnen Punkten dieser Gruppe zu Akteuren außerhalb der logischen Gruppe. Neben der bereits erarbeiteten Notwendigkeit, Informationen verschiedener Akteure an einem Punkt zu übertragen (z. B. durch Hauptsignal und zugehörigen PZB-Magnet) ergibt sich bei einigen Akteuren eine zweite Notwendigkeit: Die Übertragung derselben Information an unterschiedlichen Punkten.

Sichtbarkeitspunkt

So ist die Übertragung der Information „Signalstellung des Vorsignals auf Halt erwarten“ an zwei Punkten notwendig. Zum einen am Standort des Vorsignals, damit der Zug seine Zielbremsung zum Standort des Hauptsignals innerhalb des definierten Vorsignalabstandes einleiten kann. Zum anderen muss dem Triebfahrzeugführer ausreichend Zeit zur Verfügung stehen, bevor er den Standort des Vorsignals erreicht, um den Signalbegriff während der Fahrt aufzunehmen.

Dieser Sichtbarkeitspunkt, ab dem der Triebfahrzeugführer den Signalbegriff spätestens aufnehmen muss, baut auf einer Mindestreaktionszeit zur Aufnahme eines Signalbegriffes während der Fahrt und zur Vorbereitung auf die folgenden Handlungen auf, die dem Triebfahrzeugführer zugesprochen werden muss. Die Literatur nennt für diese Mindestreaktionszeit Erfahrungswerte von 12 Sekunden (Pachl 2015) ohne diesen Wert jedoch weiter zu begründen.

Vorgaben in den Planungsrichtlinien der DB Netz AG sehen Soll-sichtbarkeitsabstände für Vorsignale vor, die zu gering für eine 12 Sekunden andauernde Mindestreaktionszeit sind. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Soll-sichtbarkeit von Vorsignalen.

3 Sichtbarkeit der Vorsignale	
Soll-sichtbarkeit	(1) Die Sichtbarkeit auf Vorsignale soll unter Beachtung der vor den Signalen zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei
	$v_{\text{Gleis}} \leq 100 \text{ km/h}$ $s_{\text{Sicht}} \geq 200 \text{ m}$,
	$v_{\text{Gleis}} > 100 \text{ km/h}$ $s_{\text{Sicht}} \geq 250 \text{ m}$ und
	$v_{\text{Gleis}} > 120 \text{ km/h}$ $s_{\text{Sicht}} \geq 300 \text{ m}$
	betragen.

Abbildung 16: Soll-sichtbarkeit bei Vorsignalen (DB Netz AG 2008)

Hierbei wird klar, dass einheitliche Zeitangaben für die Mindestreaktionszeit diesen Angaben zur Soll-sichtbarkeit widersprechen. In der Modellierung müssen die Sichtbarkeitspunkte für Hauptsignale entsprechend der Angaben aus 819.0203 3 (1) gesetzt werden. Es ist nicht die Zuggeschwindigkeit, sondern die Streckengeschwindigkeit relevant. Die Angaben zur Streckengeschwindigkeit werden bei der Projektierung festgelegt und sind festgehalten im Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten (VZG).

Für Hauptsignale existieren vergleichbare Vorgaben. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Soll- und Mindestsichtbarkeitsabstände für Hauptsignale. Hauptsignale mit Vorsignalfunktion werden in diesem Zusammenhang in der Richtlinie 819 wie reine Hauptsignale behandelt.

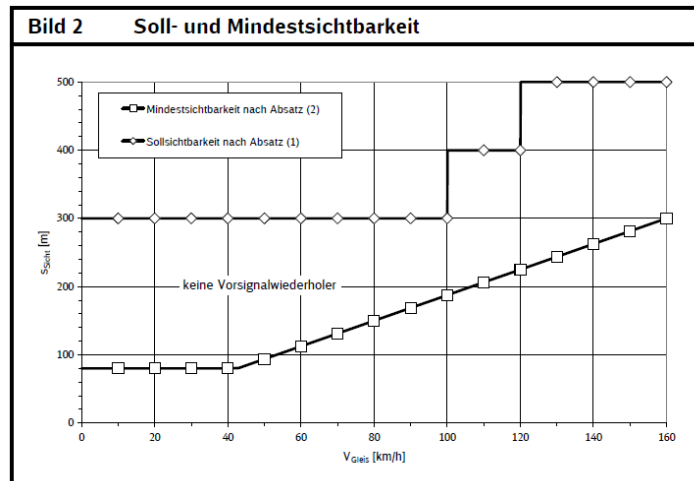


Abbildung 17: Soll- und Mindestsichtbarkeit von Hauptsignalen (DB Netz AG 2012)

Die Vorgaben zur Mindestsichtbarkeit zeigen zwar einen linearen Zusammenhang zur Streckengeschwindigkeit (v_{Gleis}) ab einer Geschwindigkeit über 40 km/h, die Angaben zur Sollsichtbarkeit jedoch in keinem Geschwindigkeitsbereich. Sollten bei der Untersuchung von konkreten Anwendungsfällen keine Angaben zu den Sichtbarkeitspunkten von Vor- und Hauptsignalen vorliegen, kann auf die Angaben nach Abbildung 16 und Abbildung 17 zurückgegriffen werden. Um bei der Untersuchung auf Sicherheitseigenschaften zu setzen, wird die Mindestsichtbarkeit verwendet.

Gefahrpunkt

Auch Teile des Fahrwegs hinter einem Hauptsignal sind Teile der Fahrstraße, die dieses Hauptsignal als Zielsignal beinhaltet. Dieser Weg bis zum maßgebenden Gefahrpunkt ist in der Richtlinie 819 ausführlich für verschiedene Varianten beschrieben. So z. B. ein Signal Ra10, die Spitze der Einfahrweiche bei Einfahrsignalen oder das Ende des Durchrutschweges bei Blocksignalen.

Die Lage dieses Punktes ist in Unterlagen für Stellwerksprojektierungen enthalten.

Wechsel zwischen zwei Stellwerken

Wechselt der Zug zwischen zwei Zuständigkeitsbereichen von Stellwerken müssen ebenfalls Informationen zur Aufrechterhaltung des Betriebs übermittelt werden. Diese Informationen werden zwischen den Stellwerken ausgetauscht: in der Regel über Blockabhängigkeiten mit Vorblock und Rückblock.

Zusätzlich gibt es Punkte auf der Infrastruktur, die den Wechsel der Zuständigkeit definieren. An diesen Punkten findet keine Kommunikation statt, der Triebfahrzeugführer kann bei Bedarf (z. B. um den Fahrdienstleiter zu erreichen) entweder seinen Unterlagen entnehmen in welchem Zuständigkeitsbereich er sich befindet oder das Zugfunksystem ermittelt die Zuständigkeit anhand der Funkzelle.

8.3.3 Zusammenfassung

An folgenden Punkten können Informationen zwischen Zug und Infrastruktur übertragen werden:

- Signalstandort
 - Signal zur Zulassung der Fahrt und Vorankündigungssignal
 - Geschwindigkeitssignal und Vorankündigungssignal
 - Element des Zugbeeinflussungssystems
- Sichtbarkeitspunkt von allen Signalen
- Weichen
 - Beginn für den Gefahrenpunkt bei Einfahrsignalen
- Gefahrenpunkt hinter Signal oder Weiche
- Standort von Elementen des Zugbeeinflussungssystems
- Ort der Übergabe zwischen zwei Stellwerken
- Stellwerk

Diese Punkte sind als Akteure auf der Infrastrukturmodellierung verteilt. Hierbei können auch mehrere Informationen von verschiedenen Akteuren an einem Punkt des Knoten-Kanten-Modells der Infrastrukturmodellierung übertragen werden.

An den Zug können sowohl von Akteuren der Infrastruktur bei Vorbeifahrt der Zugspitze und vom Zug an die Akteure der Infrastruktur bei Vorbeifahrt des Zugschlusses Informationen übertragen werden. Aus diesem Grund sind zwei separate Akteure vorzusehen. Da der Zug jedoch zu jedem Zeitpunkt nur einen Zustand (zum Beispiel die Geschwindigkeit hat) ist die Zusammenfassung dieser beiden Akteure in einer logischen Gruppe sinnvoll. Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Einordnung der logischen Gruppe Zug im Schichtenmodell. Die Akteure der logischen Gruppe Zug können mit Akteuren der Infrastruktur kommunizieren, z. B. durch Signalbegriffe. Die Logischen Gruppe Zug kann mit dem Stellwerk kommunizieren, z. B. zur Übertragung eines Nothaltauftrags.

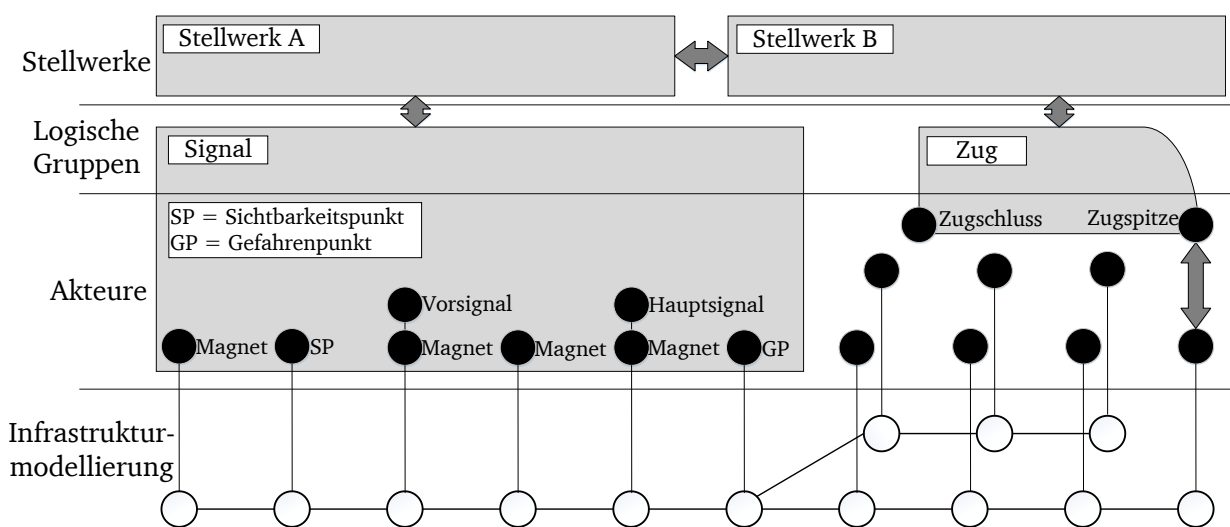


Abbildung 18: Zug im Schichtenmodell

Die Zusammenfassung von Akteuren zu logischen Gruppen, gekoppelt mit einer möglichst generischen Auslegung der Kommunikation, ermöglicht auch den einfachen Austausch von modellierten technischen Systemen. So können beispielsweise unterschiedliche Signalsysteme einfach gegeneinander ausgetauscht werden, da im entwickelten Modell für die Kommunikation mit dem Signal Standardschnittstellen definiert wurden. Der nachfolgende Abschnitt zeigt den Weg zu solch einer generischen Kommunikationsschnittstelle für die Modellierung.

8.4 Kommunikation

In den vorangegangenen beiden Abschnitten wurden mit den generischen Regeln zur Bildung von Akteuren an der Infrastruktur und dem Akteur Zug einer der Grundbausteine der formalen Modellierung beschrieben. Zur Darstellung eines Betriebsprozesses im generischen Modell fehlt jetzt noch die Kommunikation/der Austausch von Informationen zwischen den Akteuren. Bei einer späteren Führung des Sicherheitsnachweises muss jede Kommunikationsschnittstelle nachgewiesen werden. Die Nachweisführung kann vereinfacht werden, wenn nur ein einziges generisches Kommunikationsprotokoll erarbeitet wird, das sich nicht situationsabhängig unterscheidet.

Als Basis für die Definition der Kommunikation dienen bereits definierte Standardschnittstellen. Je nach Anwendungsfall könnten die definierten Kommunikationen angepasst werden und entweder erweitert oder vereinfacht werden. Die Zusammenfassung von Akteuren in logischen Gruppen reduziert die Anzahl der notwendigen Kommunikationen.

Die Kommunikation, die über diese Schnittstellen abläuft, kann in verschiedene Nachrichtentypen aufgeteilt werden. Das folgende Beispiel in Abbildung 19 für die Schnittstelle zwischen elektronischem Stellwerk und Lichtsignal aus der SCI-LS aus dem Projekt EULYNX zeigt „Kommandos“ und „Nachrichten“ als genutzte Kommunikationstypen.

Message Type	Value	Sender	Receiver	Purpose
<i>command</i> Indicate Signal Aspect	0x0001	Subsystem - Electronic Interlocking	Subsystem - Light Signal	Command to indicate Signal Aspect
<i>message</i> Indicated Signal Aspect	0x0003	Subsystem - Light Signal	Subsystem - Electronic Interlocking	Notification about the indicated Signal Aspect
<i>command</i> Set Luminosity	0x0002	Subsystem - Electronic Interlocking	Subsystem - Light Signal	Command to set Luminosity
<i>message</i> Set Luminosity	0x0004	Subsystem - Light Signal	Subsystem - Electronic Interlocking	Notification about set Luminosity

Abbildung 19: Message Types nach SCI-LS (EULYNX Initiative 2017)

Kommandos kommen in diesem Fall vom elektronischen Stellwerk und lösen eine Reaktion beim Lichtsignal aus, für Nachrichten gilt das Umgekehrte. Die zu übermittelnden Inhalte sind vielseitig und von unterschiedlicher Komplexität (z. B. Übermittlung nur eines Variablenwertes oder Übermittlung eines Telegrammes). Welche Reaktion der Empfänger auslöst, hängt von dessen internen Funktionen ab.

Die Funktionsweise dieser internen Funktionen ist aber für den Übermittler nicht relevant. Jedoch muss spezifiziert sein, welcher Mindestinhalt in welchem Format der Empfänger erwartet, um korrekt seine Funktionen ausführen zu können. Hier liegt Vereinfachungspotenzial in der abstrakten formalen Modellierung dieser Kommunikationstypen.

9.1 Einleitung

Das vorangegangene Kapitel zeigte die Regeln bei der Modellbildung für Elemente der Infrastruktur in Form von Akteuren und der Zusammenfassung der Akteure zu logischen Gruppen. Das folgende Kapitel zeigt die Vorgehensweise des Modellierers bei der Anwendung der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Modellierungsregeln sowie zusätzlichen Schritte zur Modellierung von betrieblichen Prozessen. Die betrieblichen Prozesse lassen sich sehr gut in nacheinander ablaufenden Schritten beschreiben. Jeder Schritt führt dazu, dass der im Schritt geänderte Zustand an andere Akteure kommuniziert wird. Ziel dieses Kapitels ist hierbei, die in betrieblichen Prozessen notwendigen Kommunikationen in möglichst abstrakte Kommunikationsformen zu abstrahieren.

9.2 Akteure

Bei der formalen Modellierung eines Betriebsprozesses der Eisenbahn müssen zunächst Akteure identifiziert sowie die Orte, an denen ein Informationsfluss zwischen den Akteuren stattfinden kann (siehe Abschnitt 8.3), aufgenommen werden.

Ein einführendes Beispiel soll die Arbeit mit dem Richtlinientext zur Identifizierung der Akteure verdeutlichen. Die Durchführung der Räumungsprüfung ist die notwendige Voraussetzung zur Freigabe eines Zugfolgeabschnittes für weitere nachfolgende Zugfahrten und somit eines der grundlegenden Verfahren zur Durchführung von Betrieb beim Fahren im Raumabstand.

Richtlinie 408, Modul 0241, Abschnitt 3 definiert den Zeitpunkt der Räumungsprüfung wie folgt: „Räumungsprüfung muss der Bediener des Hauptsignals auf der Räumungsprüfstelle durchführen, wenn der Zug, der den Zugfolgeabschnitt zuletzt befahren hat, dort angekommen ist. Im Betriebsstellenbuch oder in einer Betra kann zugelassen sein, dass ein Zugschlussmeldeposten an der Räumungsprüfung beteiligt ist.“ (DB Netz AG 2014)

Relevante Akteure sind:

- Bediener des Hauptsignals auf der Räumungsprüfstelle
- Zug

Die Richtlinie lässt die Beteiligung eines Zugschlussmeldepostens zu. In diesem Abschnitt werden dessen Aufgaben nicht spezifiziert, seine Meldungen werden jedoch an den Bediener des Hauptsignals weitergegeben. Bediener des Hauptsignals muss auch nicht der Fahrdienstleiter sein, diese Aufgabe kann ebenso vom Fahrdienstleiter auf Weichenwärter übertragen werden. Eine Abstraktion ist hier möglich.

Die Räumungsprüfung muss durchgeführt werden, wenn der Zug auf der Räumungsprüfstelle angekommen ist. Somit ist der Zugschluss ein relevanter Akteur.

Die Räumungsprüfstelle ist abhängig vom Vorhandensein und ggf. von der Bauform der Streckenblocktechnik.

Richtlinie 408, Modul 0241, Abschnitt 4 definiert die durchzuführenden Feststellungen wie folgt: „Der Zug ist an der Signal-Zugschlussstelle des Hauptsignals oder des Signals Ne 14 auf der Räumungsprüfstelle vorbeigefahren. [...] Das Hauptsignal bzw. der Melder der virtuellen Blockstelle der Räumungsprüfstelle zeigt Halt und der Melder des Signals Zs 1, Zs 7 oder Zs 8 ist erloschen.“ (DB Netz AG 2014)

Relevante Akteure sind:

- Signal-Zugschlussstelle des Hauptsignals (oder Signal Ne 14) als Grenze des Bahnhofs zur freien Strecke
- Signalbild des Hauptsignals
- Signalbild der Zusatzsignale Zs 1, Zs 7 oder Zs 8

Richtlinie 408, Modul 0241, Abschnitt 5 spezifiziert zusätzlich, dass das Signalbild des Hauptsignals am Signal selbst oder am Signalhaltmelder festgestellt werden muss. Als möglicher zusätzlicher Akteur ist somit aufzunehmen:

- Signalhaltmelder

Zusätzlich zum Signalbild des Hauptsignals ergibt sich aus dem Fahren im Raumabstand die Notwendigkeit einer Vorsignalisierung des Signalbilds am Hauptsignal. Neben dem Fahrtbegriff ist eine eventuelle Geschwindigkeitseinschränkung vorzusignalisieren.

Relevanter Akteur ist:

- Signalbild am Vorsignal
- Signalbild am Geschwindigkeitsanzeiger
- Signalbild am Geschwindigkeitsvoranzeiger

Richtlinie 408, Modul 0243, Abschnitt 3 legt fest, wie bei Strecken mit nicht selbsttätigen Streckenblock die Bestätigung der Räumungsprüfung erfolgen muss: „Räumungsprüfung muss durch Rückblocken bestätigt werden. Bei Relaisblock wird in bestimmten Fällen zugbewirkt zurückgeblockt“. (DB Netz AG 2014)

Relevante Akteure sind demnach auch:

- Endfeld auf der Räumungsprüfstelle
- Anfangsfeld auf der vorliegenden Betriebsstelle

Die Räumungsprüfung ist zwar eine der wichtigsten grundlegenden betrieblichen Verfahren, sie muss jedoch neben der sicheren Durchführung vor allem schnell durchgeführt werden, um die Einfahrt nachfolgender Züge in den Zugfolgeabschnitt und somit eine kurze Zugfolge und flüssigen Betrieb zu ermöglichen. Es handelt sich um ein vergleichsweise einfaches Verfahren mit wenigen Schritten.

Die identifizierten Akteure übernehmen grundlegende Aufgaben in der Durchführung des Betriebes. Diese grundlegenden Aufgaben ergeben gereiht grundlegende betriebliche Prozesse. Diese grundlegenden betrieblichen Prozesse werden im nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

9.3 Grundlegende betriebliche Prozesse

Das zuvor erwähnte Beispiel zeigt, dass ein inkrementelles Vorgehen bei der Identifizierung von Akteuren von Vorteil ist. So können immer weitere Abschnitte hinzugenommen werden, um schlussendlich eine hinreichend vollständige Liste der Akteure zur Durchführung des gewünschten Betriebsprozesses zu erlangen. Die grundsätzliche Vorgehensweise für inkrementelle Entwicklung wird in Unterabschnitt 2.4.2 beschrieben. Im Gegensatz zu den anderen dort aufgezeigten Möglichkeiten der strukturierten Entwicklung eines Systemabbildes, wie dem Wasserfallmodell, zeigt sich besonders die schnelle Entwicklung des Modells in einzelnen bereits nutzbaren Inkrementen als Vorteil für die Entwicklung eines Systemabbildes für Richtlinien-texte mit der inkrementellen Entwicklung.

In den klassischen Sicherungsprinzipien zur Durchführung des signalgeführten Eisenbahnbetriebs stecken 150 Jahre Erfahrung zur Vermeidung von Gefährdungen. Aus Grundlage dieser Prinzipien wird für die nachfolgende inkrementelle Entwicklung eine Entwicklungsreihenfolge festgelegt. Die Abbildung zeigt die grundlegenden Systemgefährdungen.


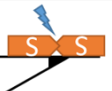



	Gefährdung	Betriebsstelle	freie Strecke
	Auffahrunfall	Prüfen auf Freisein durch Hinsehen , Bahnhofsblock	Prinzip des Streckenblocks
	Gegenfahrt	Prüfen auf Freisein durch Hinsehen , Bahnhofsblock	Prinzip der Erlaubnis
	Flankenfahrt	Verschluss der Flankenschutz- elemente	<i>keine Weichen vorhanden</i>
	Umstellen eines Fahrwegelements unter dem Zug	Verschluss der Fahrweg- und DWeg-Elemente	<i>keine Weichen vorhanden</i>
	Überhöhte Geschwindigkeit	Signalisierung der richtigen Geschwindigkeit	

Abbildung 20: Systemgefährdungen aus (Oetting 2009)

Von diesen Systemgefährdungen lassen sich grundlegende betriebliche Prozesse ableiten. Um Auffahrunfall, Gegenfahrt und Flankenfahrt zu verhindern, sind die Fahrt und das Halten eines Zuges auf einen genau definierten Gefahrenpunkt hin notwendig. Um weiter Eisenbahnbetrieb durchführen zu können, muss der Zug dazu gebracht werden können, die Fahrt fortzusetzen. Der Systemgefährdung der überhöhten Geschwindigkeit kann dadurch begegnet werden, indem betriebliche Prozesse vorhanden sind, die Geschwindigkeitsbeschränkungen übermitteln. Gefährdungen von außen auf das System Bahn können für die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde formale Modellierung vernachlässigt werden. Diese Gefährdungen werden in der Regel mit Technik wie Windwarnanlagen oder Bahnübergangssicherungsanlagen beeinflusst. Zusammengefasst sind die folgenden grundlegenden betrieblichen Prozesse weiter zu bearbeiten.

- Fahrt auf einen Gefahrenpunkt
- Weiterfahrt
- Übermittlung von Geschwindigkeitsbeschränkungen

Zur Überprüfung der Vollständigkeit kann der Befehlsvordruck herangezogen werden. Er dient zur Aufrechterhaltung des Betriebes beim (Teil-)Ausfall der Leit- und Sicherungstechnik und muss somit alle betrieblichen Prozesse abdecken. Hierfür werden die einzelnen Befehle den eingeführten grundlegenden Prozessen zugeordnet:

- Befehl 1: Weiterfahrt
- Befehl 1.1: Geschwindigkeitsbeschränkung
- Befehl 2: Weiterfahrt
- Befehl 2.1: Geschwindigkeitsbeschränkung
- Befehl 3: Weiterfahrt
- Befehl 3.1: Geschwindigkeitsbeschränkung
- Befehl 4: Weiterfahrt
- Befehl 5: Weiterfahrt, Fahrt auf einen Gefahrpunkt und Weiterfahrt
- Befehl 5.1:
- Befehl 5.2:
- Befehl 6: Weiterfahrt
- Befehl 7: Fahrt auf Gefahrpunkt
- Befehl 8: Fahrt auf Gefahrpunkt und Weiterfahrt
- Befehl 9: (Abschalten eines Zugsicherungssystems)
- Befehl 10: Weiterfahrt
- Befehl 11: Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 12: Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 12.1: (Meldung auf Freisein)
- Befehl 12.2: Fahrt auf Gefahrpunkt, Weiterfahrt und Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 12.3: (Meldung von Oberleitungsschäden)
- Befehl 12.4: Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 12.5: Fahrt auf Gefahrpunkt
- Befehl 12.6: (Einschränkung der Gültigkeit abhängig von Zugbeeinflussungssystem)
- Befehl 12.7: (Signal Zp1)
- Befehl 13: Geschwindigkeitsbeschränkung (und entbunden vom Fahren auf Sicht)
- Befehl 14: Freitextfeld z. B. fürs Zurücksetzen (Fahrt auf Gefahrpunkt)
- Befehl 14.1: Fahrt auf Gefahrpunkt und Weiterfahrt
- Befehl 14.2: Fahrt auf Gefahrpunkt und Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 14.3: Fahrt auf Gefahrpunkt und Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 14.4: Fahrt auf Gefahrpunkt
- Befehl 14.5: Fahrt auf Gefahrpunkt und Geschwindigkeitsbegrenzung
- Befehl 14.6: Fahrt auf Gefahrpunkt
- Befehl 14.7: (Fahrzeugsystem)
- Befehl 14.8: (Zugbeeinflussungssystem)
- Befehl 14.9: (Zugbeeinflussungssystem)

Die eingeführten grundlegenden Prozesse decken alle Szenarien des Befehlsvordrucks ab, die nicht technikspezifisch sind, wie die Befehle 9 oder 14.9., oder die der Erinnerung zur Kommunikation zwischen den Betriebspersonal dienen, wie Befehl 12.1, und können somit als vollständig gelten.

9.4 Zu den grundlegenden Prozessen zugehörige Akteure

Die beschriebenen grundlegenden betrieblichen Prozesse betreffen jeweils eine abgeschlossene Menge Akteure. Die notwendigen Akteure werden durch die Inkremente der grundlegenden betrieblichen Prozesse im Folgenden gruppiert.

Erstes Inkrement

Erster inkrementeller Schritt ist die grundsätzliche Fahrt auf einen **Gefahrenpunkt** hin mit den folgenden Akteuren:

- Stelle, an der gehalten werden muss (wichtigste Eigenschaft der Zugsicherungstechnik und der betrieblichen Regeln: sicher halten vor Gefahrenstellen) unter Berücksichtigung der Bremskurve des Zuges bei einer Schnellbremsung
- Stelle, ab welcher die Stelle, an der gehalten werden muss, wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug (Sichtbarkeitspunkt)
- aufgrund der langen Bremswege bei Eisenbahnen ist eine voranliegende Stelle zur Übermittlung der Information nötig, dass an der gewünschten Stelle gehalten werden muss (Vorsignal)
- Stelle, an welcher diese Information wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug (Sichtbarkeitspunkt der Vorsignalisierung)

Zweites Inkrement

Nach dem Halt am Gefahrenpunkt ist die **Weiterfahrt** der nächste inkrementelle Schritt:

- Stelle, an der die Zustimmung zur Weiterfahrt gegeben wird
- Stelle, ab welcher der Zug sicher an der Stelle, an welcher gehalten werden musste, vorbei ist (diese Stelle kann, muss aber nicht identisch sein mit der Stelle, an der gehalten werden musste – beispielsweise aufgrund eines Durchrutschweges)

Drittes Inkrement

Für die Weiterfahrt sind unter Umständen für ein sicheres Vorankommen auf der Schiene **Geschwindigkeitsbeschränkungen** zu beachten, die an den Zug übermittelt werden müssen. Die Identifizierung von Akteuren für die Übermittlung dieser Information ist der nächste inkrementelle Schritt:

- Stelle, ab der eine Geschwindigkeit gilt
- Stelle, ab welcher die Stelle, ab der eine Geschwindigkeit gilt, wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug
- aufgrund der langen Bremswege bei Eisenbahnen ist eine voranliegende Stelle zur Übermittlung der Information nötig, dass ab einer Stelle eine Geschwindigkeit gilt
- Stelle, an welcher diese Information wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug

Somit sind zunächst alle notwendigen Akteure bekannt, um dem Zug für eine Zugfahrt relevante Steuergrößen zu übermitteln. Durch spätere Inkremente können weitere Akteure für andere betriebliche Situationen zur Modellierung hinzukommen. Die Inhalte der Kommunikation mit den Akteuren sind Thema des nachfolgenden Abschnitts. Bereits nach jedem inkrementellen Schritt sind eine Modellierung und das Testen des modellierten Verfahrens möglich. Jeder weitere inkrementelle Schritt ermöglicht die Modellierung komplexerer betrieblicher Verfahren.

9.5 Informationsflüsse durch Kommunikation

Ziel dieses Abschnittes ist es, zu zeigen, welche Kommunikationen zwischen Zug und Infrastruktur für jeden im Abschnitt 9.4 beschriebenen inkrementellen Schritt identifiziert werden können. Die übermittelten Informationen gehen an verschiedene Akteure und dienen jeweils unterschiedlichen Zwecken, z. B. der Übermittlung eines Befehls zum Fahren mit einer gegenüber dem Fahrplan verminderten Geschwindigkeit oder zum Vorbereiten der Bremsung auf ein Halt zeigendes Signal hin. Nachdem mit Abschluss dieses Abschnitts die Kommunikation für jedes Inkrement beschrieben ist, kann in Abschnitt 9.7 die Kommunikation auf abstrakte Grundarten zurückgeführt werden.

Abhängig vom vorliegenden Regelwerk können durch die identifizierten Akteure unterschiedliche Informationen übermittelt werden. Je mehr Rückfallebenen ein Regelwerk vorsieht, umso mehr unterschiedliche Fahrtbegriffe können weitergegeben werden. Zur Erledigung einer gestellten betrieblichen Aufgabe, wie zum Beispiel die Weiterfahrt auf Befehl, ist eine Vielzahl von Informationen zu transportieren, die von unterschiedlichen Akteuren kommen können, wie die nachstehende Abbildung 21 zeigt.

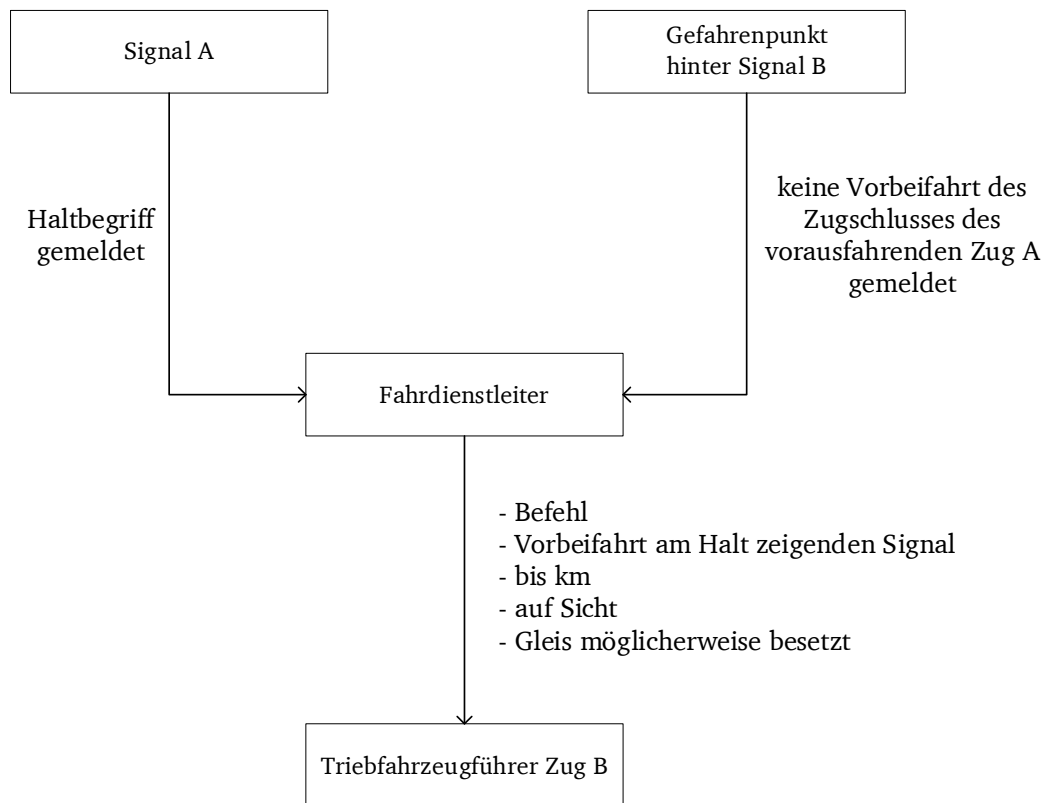


Abbildung 21: Beispielhafte Informationsflüsse zum Fahrdienstleiter aus unterschiedlichen Quellen und zum Triebfahrzeugführer zur Erledigung betrieblicher Aufgaben

Um diese Vielzahl der zu übermittelnden Informationen zu clustern, wird auf die eingeführten drei Inkremente der grundlegenden betrieblichen Prozesse zurückgegriffen.

Erstes Inkrement

Für das erste Inkrement Fahrt auf einen **Gefahrenpunkt** sind nur wenige Informationen zu übermitteln, um die Gefahr eines Auffahrunfalls, einer Gegenfahrt oder einer Flankenfahrt abzuwehren.

- Halt als Hauptsignalbegriff
- Signal Sh 2 Sh 2 – „Schutzhalt.“ (z. B. am Prellbock), diese Unterscheidung ist notwendig, da an dieser Stelle keine Weiterfahrt möglich ist und der Zug somit nicht auf eine Veränderung des Signalbegriffes warten darf
- Halt erwarten
- Sofortiger Nothalt an einem nicht vorab definierten Punkt der Infrastruktur

Zweites Inkrement

Nach dem Halt am Gefahrenpunkt ist die **Weiterfahrt** möglich, aber das Risiko eines Auffahrunfalls, einer Gegenfahrt oder einer Flankenfahrt ist nach wie vor gegeben. Um diese Gefahr auszuräumen, muss zunächst eine Freimeldung durch andere Akteure vorliegen:

- anderer Akteur der Art Zug hat den Abschnitt vollständig geräumt, Gefahrenpunkt passiert mit Zugende

Daraufhin kann die Zustimmung zur Weiterfahrt gegeben werden:

- Fahrt als Hauptsignalbegriff
- Fahrt mit besonderem Auftrag (Zs 1, Zs 7, Zs 8, schriftlicher Befehl)

Nach Vorbeifahrt am Signal kann der Rückblock gegeben werden:

- vorangegangene Abschnitt ist sicher frei, Rückblock als Kommunikation zwischen Stellwerken

Drittes Inkrement

Abschließend ist der grundlegende betriebliche Prozess zur Änderung der Geschwindigkeit des Zuges mit Informationsflüssen zu beschreiben. Die Geschwindigkeit kann aufgrund verschiedenster Gegebenheiten verändert werden müssen: Fahrplangeschwindigkeiten, Geschwindigkeitsvorgaben im schriftlichen Befehl oder aufgrund einer verminderten Geschwindigkeit im anschließenden Weichenbereich. In alle Fällen muss sowohl am Ort der Geschwindigkeitsveränderung als auch am Ort der Vorsignalisierung und allen Sichtbarkeitspunkten Informationen übertragen werden.

Nicht im betrieblichen Regelwerk genannt für dieses Verfahren sind u. a. Einrichtungen der punktförmigen Zugbeeinflussung. Deren Komponenten wurden im Beispiel des zuvor bearbeiteten Abschnitts kurz aufgezeigt. Wie diese Akteure der punktförmigen Zugbeeinflussung sowie alle weiteren Akteure den logischen Gruppen zuzuordnen sind, wird als Nächstes behandelt.

9.6 Zusammenfassung zu logischen Gruppen

Im vorherigen Abschnitt wurden die zu übermittelnden Informationen als Kommunikation zwischen den in Abschnitt 9.4 vorgestellten Akteuren eingeführt. Um der Anforderung nach einer möglichst abstrakten wiederverwendbaren Modellierung zu entsprechen, können die zu übertragenden Informationen abstrahiert werden. So können alle Fahrtbegriffe als Information „Fahrt“ übertragen werden. Diese Abstraktion macht die Unterscheidung verschiedener Signalschirme unnötig. Die verschiedenen Zusatzsignale an einem Signalstandort können zum Akteur Signal zusammengefasst werden.

Logische Gruppe Signal

Die folgenden Akteure, die einem Hauptsignal zuzuordnen sind, werden für das oben beschriebene Verfahren genannt:

- Signal-Zugschlussstelle des Hauptsignals (oder Signal Ne 14) als Grenze des Bahnhofs zur freien Strecke
- Signalbild des Hauptsignals
- Signalbild der Zusatzsignale Zs 1, Zs 7 oder Zs 8
- Signalhaltmelder

Die Signal-Zugschlussstelle ist genau einem Hauptsignal logisch zugeordnet. Aktuell meldet abhängig von der verbauten Sicherungstechnik der an der Signal-Zugschlussstelle verbaute Kontakt eine Belegung nicht direkt an das Hauptsignal, sondern meist an ein Stellwerk. Jedoch ist im Stellwerk die Information nur für Fahrstraßen mit diesem Signal als Zielsignal wichtig, keine weiteren Signale sind involviert. Zukünftige technische Entwicklungen sehen eine direkte Kommunikation zwischen einzelnen Infrastrukturelementen vor. Eine heutige Ausnahme sind Selbstblocksignale, bei denen die Belegung des Kontakts nicht an ein Stellwerk gemeldet, sondern in der Sicherungslogik des Selbstblocksignals vor Ort verarbeitet wird.

Für den Signalhaltmelder muss eine technische Lösung vorliegen, die signaltechnisch sicher die Haltstellung des Hauptsignals aufgreift. Von einer korrekten Funktion mit signaltechnisch sicherer Wahrscheinlichkeit ist auszugehen. Da er dieselbe Information an den Bediener des Hauptsignals weitergibt wie das Signalbild des Hauptsignals, kann dieser Akteur durch die reine Signalstellung abstrahiert werden.

Zur logischen Gruppe des Hauptsignals werden noch weitere Akteure hinzugenommen. Wichtig für die Übertragung von Informationen an den Zug ist zunächst der Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals.

Das Vorsignal und das Hauptsignal können nur abhängig voneinander Signalbegriffe zeigen, deshalb wird das Vorsignal hinzugenommen. Wie es beim Hauptsignal ebenfalls der Fall ist, muss der Sichtbarkeitspunkt des Vorsignals hinzugenommen werden, da hier Informationen an den Zug übertragen werden, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem am Hauptsignal gezeigten Signalbegriff stehen.

Sollte zwischen dem Standort des Vorsignals und dem Hauptsignal Vorsignalwiederholer aufgestellt sein, müssen die Vorsignalwiederholer und deren Sichtbarkeitspunkte aus demselben Grund wie die Vorsignale und deren Sichtbarkeitspunkte in die logische Gruppe aufgenommen werden. Durch diese Akteure können nur Informationen übertragen werden, die unmittelbar abhängig sind vom Signalbegriff am Hauptsignal.

Ebenfalls unmittelbar abhängig vom gezeigten Signalbegriff am Hauptsignal sind alle Infrastrukturelemente der Zugbeeinflussungssysteme.

Die nachfolgende Liste zeigt die Akteure, die den vorgestellten Abstraktionsregeln nach zur logischen Gruppe Signal zusammengefasst werden.

- Signal-Zugschlussstelle des Hauptsignals (oder Signal Ne 14) als Grenze des Bahnhofs zur freien Strecke
- Hauptsignal
- Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals
- Vorsignal
- Sichtbarkeitspunkt Vorsignal
- Vorsignalwiederholer inklusive deren Sichtbarkeitspunkte
- PZB-Magnete an Vorsignal, Hauptsignal und 500-Hz-Magnet

Logische Gruppe Zug

Für den Zug ergibt sich die logische Gruppe Zug aus den Akteuren nach Abschnitt 8.2:

- Zugspitze
- Zugschluss

Die logische Gruppe Zug umfasst diese beiden Akteure.

9.7 Arten der Kommunikation mit den logischen Gruppen

Die Kommunikation zwischen Akteuren und logischen Gruppen, die im vorangegangenen Abschnitt 9.5 identifiziert wurden, bildet zusammen mit den Akteuren die Grundlage für die Beschreibung eines Betriebsprozesses und ist somit unverzichtbarer Grundbaustein für das im Rahmen dieser Arbeit zu erarbeitende Werkzeug. Ziel dieses Abschnittes ist zu zeigen, welche möglichen Arten der Kommunikation zwischen den Akteuren für jeden im Abschnitt „Betriebsprozess“ beschriebenen inkrementellen Schritt unterschieden werden müssen und wie eine zeitliche Abfolge dargestellt werden kann.

Jede zu übermittelnde Information kann in eine gereihte Liste, die sich aus der Reihenfolge der auf der Infrastruktur erreichten Akteure auf den Knoten ableitet, als ein Event angesehen werden. Die Aneinanderreihung von Events ist eine Eventliste. Die Übertragung von Informationen durch einen Akteur an einem Knoten der Infrastrukturmodellierung erzeugt einen neuen Event in der Eventliste. Hierbei ist für die Eventliste nicht von Bedeutung, wann eine Information übertragen wurde, die Eventliste gibt nur die Reihenfolge vor, in welcher die Events an den empfangenden Akteur gehen.

Die möglichst abstrakte Beschreibung unterschiedlicher Arten der Kommunikation ermöglicht später eine möglichst generische Beschreibung der Kommunikation im Betriebsprozess.

9.7.1 Erstes Inkrement

Für die Modellierung des ersten betrieblichen Inkrements Fahrt auf einen Gefahrenpunkt sind die betrieblich notwendigen Informationen, die an Akteure übermittelt werden müssen, zu Beginn des Abschnitts 8.4 aufgezeigt worden.

Diese betrieblichen Informationen sollen im Modell nicht alle als einzelne jeweils unterschiedliche Schnittstellenprotokolle nutzen, sondern auf möglichst abstrakte Art modelliert werden. Denn die möglichst abstrakte Beschreibung unterschiedlicher Arten der Kommunikation ermöglicht später eine möglichst generische Beschreibung der Kommunikation nicht nur im hier untersuchten Betriebsprozess, sondern die Weiternutzung für weitere Anwendungen oder andere Betriebsprozesse der Eisenbahnen. Um die Anforderung aus Abschnitt 4.2 das Modell weitestgehend auf eine Weiternutzung in formalen Nachweisen vorzubereiten, wird im weiteren Verlauf versucht, abstrakte Grundformen für diese betrieblichen Informationen zunächst für das erste Inkrement zu benennen.

Die Information „Halt als Hauptsignalbegriff“ wird von einem Akteur zu einem anderen Akteur übermittelt. Die nachfolgende Abbildung 22 zeigt das im Rahmen dieser Arbeit eingeführte Schichtenmodell mit den Akteuren der Infrastruktur und dem Zug.

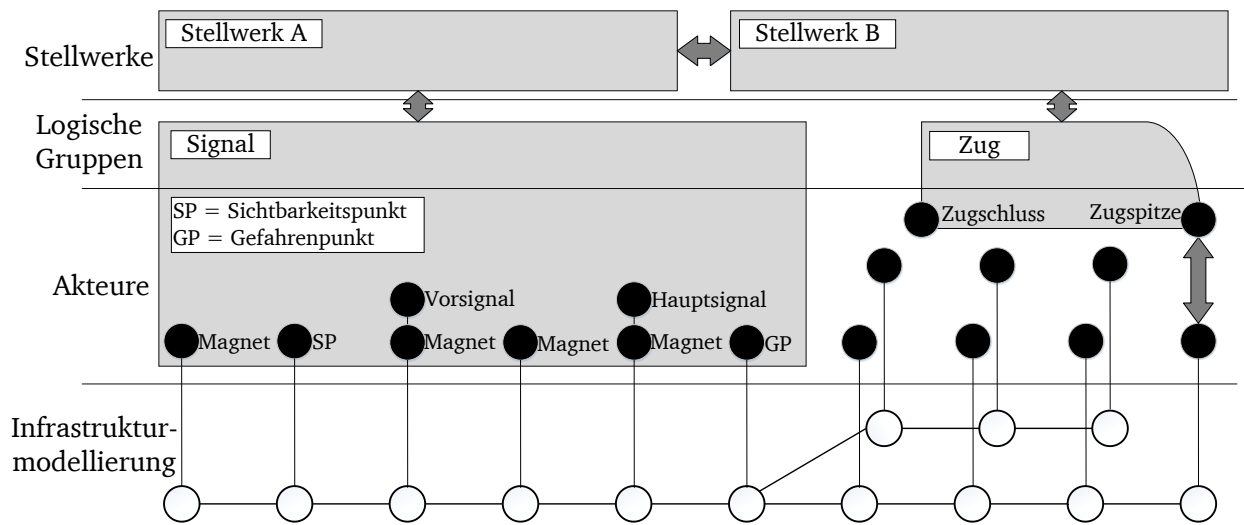


Abbildung 22: Schichtenmodell

Der Zug muss die Information früh genug bekommen, um seine Bremsung auf den Gefahrenpunkt hin als Reaktion auf die übermittelte Information planen zu können. Aus diesem Grund wird die Meldung am Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals an die Zugspitze übertragen. Der Sichtbarkeitspunkt ist ein physischer Ort auf der Infrastruktur und von verschiedenen Gegebenheiten der physischen Welt wie Kurvenradius oder Vegetationsschnitt abhängig. Bei der Infrastrukturmodellierung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Werkzeuges wird der Ort des Sichtbarkeitspunktes aus den Daten der Infrastrukturplanung übernommen und nicht beispielsweise abhängig vom Bremsvermögen des jeweiligen Zuges für jeden Zug neu berechnet.

Der Zug muss nicht unmittelbar seine Bremsung einleiten, der für das rechtzeitige Anhalten des Zuges spätestnötige Bremsenpunkt kann anhand des Bremsvermögens des Zuges berechnet werden. Die Überprüfung der Einhaltung der Bremskurve bis zum Gefahrenpunkt ist eine Aufgabe des Zugsicherungssystems. Die Modellierung der technischen Funktionen dieser Zugsicherungssysteme ist nicht Teil der Arbeit (vgl. Abschnitt 4.5). Die Eigenschaft, dass die übermittelte Information nicht sofort zu einer Reaktion führen muss, unterscheidet diese Art der übermittelten Information von anderen übermittelten betrieblichen Informationen.

Aus diesem Grund wird der Begriff Meldung für diese Art der übermittelten Information für die weitere Verwendung wie folgt definiert: Der Akteur, welcher die Meldung erhält, muss die Meldung nur aufnehmen und dem informierenden Akteur nicht antworten. Gleichzeitig muss die Information aus der Meldung nicht gleich zu einer Reaktion des empfangenden Akteurs führen.

Zusammenfassung:

Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals -> Meldung (Stopp) -> Zugspitze

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Keine unmittelbare Reaktion erforderlich
- Inhalt der Meldung: Stopp

Damit am Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals die Meldung an den Akteur Zugspitze weitergegeben werden kann, muss die gesamte logische Gruppe Signal vom Akteur Stellwerk über den Wechsel des Signalbegriffes informiert werden. Diese übermittelte Information führt sofort zu einer Reaktion bei der empfangenden logischen Gruppe: Wechsel des angezeigten Signalbegriffes am Hauptsignal, am Vorsignal und Wechsel der zu übermittelnden Meldungen an den jeweiligen Sichtbarkeitspunkten. Sollte die logische Gruppe dieselbe Information erneut übertragen bekommen, ohne dazwischen eine andere Information übertragen bekommen zu haben, wird ebenfalls eine Reaktion ausgelöst. Nach außen sichtbar bleibt in diesem Fall nur die Beibehaltung des angezeigten Signalbegriffes am Hauptsignal, am Vorsignal und der zu übermittelnden Meldungen an den jeweiligen Sichtbarkeitspunkten.

Abweichend vom Begriff Meldung wird für diese Art der übermittelten Information der Begriff Auftrag folgendermaßen definiert: Der Akteur, welcher die Meldung erhält, muss die Meldung nur aufnehmen und dem informierenden Akteur nicht antworten. Die aufgenommene Information führt beim empfangenden Akteur unmittelbar zu einer Reaktion. Diese Reaktion muss nicht zwangsläufig den Wechsel eines internen Zustands des empfangenden Akteurs zur Folge haben.

Zusammenfassung:

Stellwerkslogik -> Auftrag (Stopp) -> logische Gruppe Signal

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Unmittelbare Reaktion
- Inhalt der Meldung: Stopp

In der realen Implementierung der Sicherungstechnik gibt es in der Regel Rückkanäle zur Übermittlung des angezeigten Signalbegriffes am Signalschirm am Gleis, um den angezeigten Signalbegriff mit dem durch die Stellwerkslogik gewählten aktuell anzuzeigenden Signalbegriff zu vergleichen. Selbst für mechanische Stellwerke existieren Signalbegriffsanzeiger, die allerdings nicht mit der Stellwerkslogik gekoppelt sind. Hier übernimmt der Bediener die Aufgabe des Vergleichs. Somit werden Fehler in der Anzeige des am Gleis angezeigten Signalbegriffes erkannt. Widersprüche zwischen den anzuzeigenden und angezeigten Signalbegriffen können zu

gefährlichen Ereignissen führen. So könnte z. B. ein Zug über den Standort eines eigentlich Halt zeigenden Zuges hinaus fahren und eine weitere Fahrzeugbewegung hinter diesem Standort gefährden, wenn am Gleis weiterhin ein Fahrtbegriff angezeigt wird, obwohl das Halt zeigende Signal Flankenschutz garantiert für einen anderen eingestellten Fahrweg.

Für die Überprüfung der Abwicklung betrieblicher Regeln ist dieser Rückkanal jedoch nicht notwendig. In der Simulation sind gefährliche Ereignisse nicht von Nachteil. Ein durch zwei voneinander abweichende Signalbegriffe herbeigeführtes gefährliches Ereignis muss durch entsprechend ausgelegte Leit- und Sicherungstechnik verhindert werden, nicht durch betriebliche Regeln, die im Gegensatz zur Leit- und Sicherungstechnik Teil des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Werkzeuges sind.

Innerhalb der logischen Gruppe müssen die Akteure, die Teil der logischen Gruppe sind, über den beauftragten Wechsel des Signalbegriffes informiert werden. Entsprechend des Charakters „Auftrag“ der ursprünglich an die logische Gruppe gegebenen Information müssen die nun informierten Akteure ebenfalls unmittelbar auf die gemeldete Information reagieren. Eine betriebliche Rückantwort der informierten Akteure an die logische Gruppe ist nicht notwendig, da die logische Gruppe keine Rückantwort an die informierende Stellwerkslogik geben muss.

Zusammenfassung:

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Sichtbarkeitspunkt

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Vorsignal

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Sichtbarkeitspunkt der
Vorsignalisierung

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Gefahrpunkt/Hauptsignal

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Unmittelbare Reaktion
- Inhalt der Meldung: Stopp

Die Übertragung der gleichen Information am Standort des Hauptsignals an die Zugspitze ist nicht mehr Teil der betrieblichen Abarbeitung der Fahrt auf den Gefahrpunkt hin. Diese Information wird nur im Weiteren für die Überprüfung der Einhaltung des Signalbegriffes am Hauptsignalstandort durch den Zug mittels einer Zugbeeinflussungsanlage benötigt. Diese übertragene Information ist noch nicht für die Modellierung des ersten Inkrements „Fahrt auf einen Gefahrpunkt“ notwendig. Nur bei einer Aufwertung des Signalbegriffes wäre die Übertragung der Information zu einem früheren Zeitpunkt abzubilden, damit der Zug früher beschleunigen kann. Diese frühere Möglichkeit zur Beschleunigung würde sich positiv auf die Kapazität auswirken, jedoch nicht auf zu modellierende betriebliche Prozesse. Aus diesem Grund kann die Aufwertung von Signalen im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt werden.

Für die zweite zu übermittelnde Information bei der Fahrt auf den Gefahrpunkt „Sh2“ muss ebenfalls die Information von Akteur zu Akteur so früh übermittelt werden, dass der Zeitpunkt einer Reaktion geplant werden kann. Die Reaktion ist in diesem Fall die Einleitung der Bremsung,

deren Zeitpunkt vom Zug geplant werden muss. Der Zug nimmt die Information an der Zugspitze auf, wiederum am Sichtbarkeitspunkt. Es ist keine sofortige Reaktion nötig, der Sichtbarkeitspunkt muss wiederum so gesetzt sein, dass ein rechtzeitiges Anhalten garantiert werden kann. Es handelt sich somit ebenfalls um eine Meldung.

Zusammenfassung:

Sichtbarkeitspunkt des Gefahrpunkts -> Meldung (Stopp) -> Zugspitze

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Keine unmittelbare Reaktion erforderlich
- Inhalt der Meldung: Stopp

Aufbauend auf der Modellbildung des Zuges muss dem Zug übermittelt werden, ob er auf eine Zielgeschwindigkeit beschleunigen, die Geschwindigkeit bei einer Zielgeschwindigkeit halten oder auf eine Zielgeschwindigkeit abbremsen soll. Für diese Zustände werden im Folgenden Variablennamen vergeben:

- Beschleunigungszustand „AccelState“
- Zielgeschwindigkeit „vnew“
- Zeitpunkt „moment“

9.7.2 Zweites Inkrement

Soll die Fahrt über den Punkt des Hauptsignals fortgesetzt werden, muss dem Zug ein Fahrtbegriff übermittelt werden. Über die Fahrtstellung entscheidet die Sicherungslogik.

Zusammenfassung:

Stellwerkslogik -> Auftrag (Fahrt) -> logische Gruppe Signal

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Unmittelbare Reaktion
- Inhalt der Meldung: Fahrt

Durch die logische Gruppe wird der Auftrag weiter verteilt.

Zusammenfassung:

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Gefahrpunkt/Hauptsignal logische

Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Sichtbarkeitspunkt

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Vorsignal

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Sichtbarkeitspunkt der
Vorsignalisierung

logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Gefahrpunkt/Hauptsignal

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Unmittelbare Reaktion
- Inhalt der Meldung: Fahrt

Die Übermittlung der Information über den gerade gültigen Hauptsignalbegriff am Signalstandort selbst war zunächst für die Modellierung des ersten Inkrements noch nicht notwendig, da die Zugspitze den Signalstandort nur genau erreicht hat und nicht darüber hinaus gefahren ist. Für die Weiterfahrt in einen folgenden Abschnitt muss der Zugspitze vom Akteur Hauptsignal der Fahrtbegriff als Information übermittelt werden. Wie bei der Fahrt auf einen Gefahrpunkt hin muss unterschieden werden, welche Kommunikation eine unmittelbare Reaktion des empfangenden Akteurs erfordert und welche nicht.

Sollte im vorliegenden Fall ein Zug nach Halt vor einem Hauptsignal nicht unmittelbar die Fahrt wiederaufnehmen, sobald der Signalbegriff zu einem Fahrtbegriff wechselt, entsteht eine Verzögerung im Betriebsablauf. Diesem Umstand aus der Praxis wird z. B. bei Leistungsfähigkeitsrechnungen mit dem Zeitbedarfswert „Signalaufnahme nach Halt“ Rechnung getragen, der Triebfahrzeugführer kann unter anderem durch Telefonate mit seiner Personaldisposition von der Signalbeobachtung abgelenkt sein.

Diese Verzögerung entsteht alleine durch das Verhalten des Triebfahrzeugführers auf dem Akteur Zug. Das Verhalten des Triebfahrzeugführers ist nicht Teil des im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Werkzeuges zur Modellierung betrieblicher Prozesse (vgl. Abschnitt 4.5 zur inhaltlichen Abgrenzung).

Darüber hinaus sind solche Zeitbedarfe nicht im zu modellierenden betrieblichen Regelwerk nicht aufgeführt, deshalb soll die übertragene Information des zu einem Fahrtbegriff gewechselten Signalbegriffes in Form eines Auftrags mit unmittelbarer Reaktion des empfangenden Akteurs modelliert werden.

Zusammenfassung:

Hauptsignal -> Auftrag (Fahrt) -> Zugspitze

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Unmittelbare Reaktion
- Inhalt der Meldung: Fahrt

Die Art der Zulassung der Fahrt, entweder durch Hauptsignal oder durch besonderen Auftrag wie z. B. über Zs 1, Zs 7, Zs 8 oder schriftlichen Befehl, hat keine grundlegende Auswirkung auf Art der übermittelten Information, alle stimmen mit der getroffenen Definition für einen Auftrag überein. Lediglich die im Event vorzusehende Geschwindigkeit v_{neu} ist unterschiedlich. Ein übermitteltes Signal Zs 7 sowie verschiedene schriftliche Befehle verlangen das Fahren auf Sicht im jeweils spezifizierten Bereich im anschließenden Bereich oder im weiteren Weg der Zugfahrt. Beim Fahren auf Sicht muss jederzeit vor Hindernissen angehalten werden können. Dies wird durch den Triebfahrzeugführer durch verstärkte Streckenbeobachtung und angepasste Geschwindigkeit erreicht. Das Verhalten des Triebfahrzeugführers ist nicht Teil des im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Werkzeuges zur Modellierung betrieblicher Prozesse (vgl. Abschnitt 4.5). Mit der im Event vorzusehende Geschwindigkeit v_{neu} wird die hierbei maximal zulässige Geschwindigkeit beschrieben. Um den betrieblichen Prozess für das Anhalten an einem plötzlich auftretenden Gefahrenpunkt beschreiben zu können, wird ein Akteur „Sichtbarkeitspunkt für das Hindernis“ und die Kommunikation durch diesen Akteur mit der Zugspitze benötigt. Dieser plötzlich auftretende Sichtbarkeitspunkt kann nur zufällig am selben Ort wie andere Akteure in der Infrastrukturmodellierung liegen. Die vorhandene Infrastrukturmodellierung wegen plötzlich auftretenden neuen Akteuren zu ändern, ist nicht zielführend. Die Modellierung sollte konsistent bleiben, um Fehlern bei der Beschreibung der auf ihr ablaufenden Prozesse vorzubeugen. Somit muss eine neue Möglichkeit gefunden werden, unabhängig von der Infrastruktur Kommunikation zu ermöglichen. Eine Lösung hierfür wird am Ende dieses Kapitels beschrieben.

Zu beachten hierbei ist, dass die übertragene Geschwindigkeit v_{neu} auch nur „auf Sicht“ sein kann und nicht nur ein Geschwindigkeitswert.

Mit der Vorbeifahrt des Zuges am Hauptsignal beginnt in der Leit- und Sicherungstechnik der Prozess des Rückblockens mit all seinen Vorbedingungen, der schlussendlich zur Freimeldung des zuletzt befahrenen Abschnitts führen soll. Die elektrische Streckentastensperre löst aus, wenn ein Zug einen isolierten Gleisabschnitt hinter dem Signal befahren hat. Die Blocktaste für den Rückblock kann erst nach dem Auslösen bedient werden. Die elektrische Streckentastensperre verhindert eine Bedienung des Rückblocks, wenn das Signal auf Fahrt und ohne dass eine Zugfahrt stattgefunden hat wieder auf Halt gestellt wurde. Die Streckentastensperre garantiert nur, dass eine Achse das Signal passiert und den Standort der elektrischen Streckentastensperre erreicht hat.

Sie garantiert nicht, dass der Zug vollständig vorbeigefahren ist. Bevor der befahrene Blockabschnitt mit dem Rückblock wieder freigemeldet werden kann, muss jedoch der Zugschluss den Blockabschnitt verlassen haben. Die Kommunikation wird somit durch Überfahren des Zugschlusses über einen definierten Punkt auf der Infrastruktur ausgelöst.

Zum Blockabschnitt gehört zusätzlich noch der Gefahrpunktabstand, der durch das Hauptsignal und den Gefahrpunkt begrenzt wird. Der Gefahrpunktabstand hinter einem Signal kann für die einzelnen Fahrstraßen oder zugelassenen Geschwindigkeiten aber unterschiedlich sein. Welcher Gefahrpunkt der maßgebende Akteur für die aktuelle Fahrt ist, ist am jeweiligen Gefahrpunkt unbekannt. Um den maßgebenden Gefahrpunkt zu identifizieren, muss nach der Übermittlung der Information der Vorbeifahrt durch den Zugschluss an den Gefahrpunkt die gemeldete Information der Vorbeifahrt weitergegeben werden – an eine darüberliegende Schicht des Schichtenmodells, um dort eine Entscheidung treffen zu können. Da beim empfangenden Akteur unmittelbar die Reaktion der Weitergabe ausgelöst wird, handelt es sich bei dieser direkten Kommunikation zwischen Zug und dem Akteur auf der Infrastruktur um einen Auftrag.

Zusammenfassung:

Zugschluss -> Auftrag (Zugschluss passiert) -> Gefahrpunkt

Der maßgebende Gefahrpunkt ist Teil der logischen Gruppe Signal für diese Zugfahrt. Die Information über die Vorbeifahrt des Zugschlusses wird an die logische Gruppe weitergegeben. Eine Reaktion ist nicht unmittelbar notwendig, da auch die Haltstellung des Signals vorliegen muss, bevor die Information an den Akteur Stellwerk übermittelt wird. Nicht alle Signale zeigen automatisch nach Vorbeifahrt des Zuges wieder einen Haltbegriff, je nach Stellwerksbauform ist ein Auftrag des Stellwerks notwendig. Somit wird eine Meldung übermittelt, jedoch kein Auftrag.

Zusammenfassung:

Gefahrpunkt -> Meldung (Zugschluss passiert) -> logische Gruppe Signal

Je nach Bauform der Leit- und Sicherungstechnik muss die Haltstellung entweder von der Sicherungslogik im Stellwerk beauftragt werden oder der Haltbegriff wird automatisch nach Vorbeifahrt des Zuges gezeigt. Beide Funktionsweisen können durch unterschiedliche Funktionen, entweder in der logischen Gruppe Signal oder in der Sicherungslogik, abgebildet werden.

Die Meldung über die Vorbeifahrt am Gefahrpunkt muss in beiden Fällen an den Akteur Stellwerk weitergegeben werden.

logische Gruppe Signal -> Meldung (Zugschluss passiert) -> Stellwerk

Für die erste genannte Funktionsweise muss eine weitere Information vom Akteur Sicherheitslogik an die logische Gruppe Signal übermittelt werden.

Akteur Sicherheitslogik -> Meldung (Stopp) -> logische Gruppe Signal

Die erhaltene Information wird durch die logische Gruppe Signal beispielsweise mittels einer UND-Verknüpfung aufgenommen, welche die Meldung vom Stellwerk und die Meldung des Gefahrpunktes verarbeitet. Die zweite genannte Funktionsweise muss durch eine zusätzliche auszuführende Funktion in der logischen Gruppe Stellwerk sichergestellt werden.

Der Auftrag zur Veränderung des Signalbegriffes auf einen Haltbegriff wird in beiden Fällen von der logischen Gruppe an die in der logischen Gruppe Signal gruppierten Akteure an den Standorten von Vorsignalen, Vorsignalwiederholdern, dem Hauptsignal und allen Sichtbarkeitspunkten ebenso wie im ersten Inkrement weitergegeben, entweder durch Beauftragung durch das Stellwerk oder als Reaktion auf die vom Gefahrpunkt gemeldete Vorbeifahrt des Zugschlusses.

logische Gruppe -> Auftrag -> Vorsignale, Vorsignalwiederholder, Hauptsignal und alle Sichtbarkeitspunkte

Nachdem das Hauptsignal Halt zeigt und der Gefahrpunkt Abstand geräumt ist, kann durch Rückblocken der zurückliegende Abschnitt freigemeldet werden. Diese Kommunikation findet in der Schicht der Stellwerke statt. Die gemeldete Information erfordert beim empfangenden Akteur keine unmittelbare Reaktion. Der Zeitpunkt zur Zulassung der Fahrt in den freigewordenen Abschnitt ist von vielen weiteren Randbedingungen wie dem Fahrplan und der Zugmeldung abhängig.

Stellwerk -> Meldung (Rückblock) -> Stellwerk

Jedoch unterscheidet sich die Meldung noch von anderen Meldungen, nicht in ihrer Art, aber in der Art, wie die Übermittlung ausgelöst wird. Ohne einen Vorblock kann ein Stellwerk keinen Rückblock geben. Die Meldung Rückblock ist also eine Reaktion auf eine in der Vergangenheit erhaltene Information. Für diese Art der übermittelnden Information wird der Begriff Anfrage eingeführt. Der Begriff Anfrage wird wie folgt definiert: Der Akteur, welcher die Anfrage erhält, muss die Anfrage aufnehmen und dem informierenden Akteur antworten.

Die aufgenommene Information führt beim empfangenden Akteur nicht unmittelbar zu einer betrieblichen Reaktion, aber der Akteur muss in der Zukunft antworten.

Zusammenfassung:

- Meldung wird aufgenommen
- Antwort erforderlich
- Keine unmittelbare Reaktion

9.7.3 Drittes Inkrement:

Im dritten Inkrement tauschen die Akteure zusätzlich zu Fahraufträgen Informationen über Geschwindigkeiten aus. Die Arten der Kommunikation sind übertragbar aus den Arten der Kommunikation für die Übermittlung von Halt- und Fahrbegriffen:

- Stelle, ab der eine Geschwindigkeit gilt -> Auftrag -> Zugspitze
- Stelle, an welcher die Stelle, ab der eine Geschwindigkeit gilt, wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug -> Meldung -> Zugspitze
- voranliegende Stelle zur Übermittlung der Information nötig, dass ab einer Stelle eine Geschwindigkeit gilt -> Meldung -> Zugspitze
- Stelle, an welcher diese Stelle wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug -> Meldung -> Zugspitze

9.7.4 Zusammenfassung der Arten der Kommunikation

Die Aufteilung der grundlegenden betrieblichen Prozesse in drei zu entwickelnde Inkremente wurde in Abschnitt 9.4 vorgenommen. Für diese Inkremente wurden in Abschnitt 9.5 die zur Durchführung des Betriebs notwendigen Informationsflüsse durch Kommunikation ermittelt. Die abstrakte Art der jeweiligen Kommunikation konnte in den Unterabschnitten 9.7.1 bis 9.7.3 hergeleitet werden. Die nachfolgende Liste zeigt die Arten der Kommunikationen für die drei Inkremente zusammengefasst.

- Erstes Inkrement:
 - Sichtbarkeitspunkt des Gefahrenpunkts/Hauptsignal -> Meldung (Stopp) -> Zugspitze
 - Stellwerkslogik -> Auftrag (Stopp) -> logische Gruppe Signal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Gefahrenpunkt/Hauptsignal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Sichtbarkeitspunkt
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Vorsignal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Sichtbarkeitspunkt der Vorsignalisierung
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Gefahrenpunkt/Hauptsignal
- Zweites Inkrement:
 - Stellwerkslogik -> Auftrag (Fahrt) -> logische Gruppe Signal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Gefahrenpunkt/Hauptsignal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Sichtbarkeitspunkt
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Vorsignal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Sichtbarkeitspunkt der Vorsignalisierung
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Fahrt) -> Gefahrenpunkt/Hauptsignal
 - Hauptsignal -> Auftrag (Fahrt) -> Zugspitze
 - Zugschluss -> Auftrag (Zugschluss passiert) -> Gefahrenpunkt
 - Gefahrenpunkt -> Meldung (Zugschluss passiert) -> logische Gruppe Signal
 - Logische Gruppe Signal -> Meldung (Zugschluss passiert) -> Stellwerk
 - Akteur Sicherheitslogik -> Meldung (Stopp) -> logische Gruppe Signal
 - Stellwerk -> Meldung (Rückblock) -> Stellwerk
- Drittes Inkrement:
 - Stelle, ab der eine Geschwindigkeit gilt -> Auftrag -> Zugspitze
 - Stelle, an welcher die Stelle, ab der eine Geschwindigkeit gilt, wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug -> Meldung -> Zugspitze
 - voranliegende Stelle zur Übermittlung der Information nötig, dass ab einer Stelle eine Geschwindigkeit gilt -> Meldung -> Zugspitze
 - Stelle, an welcher diese Stelle wahrnehmbar wird für den sich nähernden Zug -> Meldung -> Zugspitze

9.7.5 Zeitliche Einordnung der Kommunikation unabhängig von der Infrastruktur

Über die in Unterabschnitt 9.7.4 zusammengefasst dargestellte Kommunikation in den beschriebenen drei Inkrementen hinaus können Nothaltaufträge oder weitere Befehle nötig sein, um den Betrieb aufrecht zu erhalten. Auch für diese übermittelten Informationen ist ein Zeitpunkt „moment“ notwendig, aber darüber hinaus kann es auch einen geplanten Zeitpunkt „start“ geben, zu dem der übermittelte Befehl gelten soll (mit Ausnahme des Nothaltauftrags).

Für eine Fahrt auf Signal muss der Signalbegriff übertragen werden, das gilt im Betrieb sowohl für Fahrt und Halt gebietende Signale als auch für Geschwindigkeitssignale. In der Modellierung kann die Geschwindigkeitssignalisierung jedoch auch über die bereits eingeführten Beschleunigungszustände und Zielgeschwindigkeiten abgebildet werden. Somit verbleibt nur noch die Übermittlung des Signalbegriffes:

- Signalbegriff „SignalState“

Sobald der Gefahrenbereich mit dem Zugschluss verlassen wurde, kann diese Information an den Zug übermittelt werden und gleichzeitig die Übermittlung der neuen Zielgeschwindigkeit der für den Zug gültigen Fahrplangeschwindigkeit mit den bereits eingeführten Kommunikationsereignissen stattfinden.

- Gefahrenbereich verlassen „GefahrenbereichVerlassen“

Dieser Gefahrenbereich kann, wie in Abschnitt 8.3 gezeigt wurde, am Ende des Weichenbereiches hinter dem Signal, am Ende einer Langsamfahrstelle, an der Signalzugschlussstelle oder am Ende eines anderen Gefahrenbereichs, der z. B. das Fahren auf Sicht erfordert, liegen.

Alle hier beschriebenen Kommunikationen werden von Akteur zu Akteur/logische Gruppe übertragen und nutzen dabei die Überlappung zweier Akteure an festen Knoten in der Infrastrukturmodellierung. Nun gibt es jedoch Kommunikationen, die sich nicht durch diese Festlegung abdecken lassen. Für die sofortige Ausführung eines Nothaltes vor einem Gefahrpunkt kann nur zufällig ein Akteur an der korrekten Stelle auf der Infrastruktur zur Verfügung stehen, um die Information zu übermitteln. In den allermeisten Fällen befindet sich die Zugspitze, an welche die Information übertragen werden soll, nicht zum gewünschten Zeitpunkt an einem entsprechenden Punkt.

Deshalb muss es gewährleistet sein, in die Reihung von Möglichkeiten zur Übermittlung von Informationen, die sich aus der Abfolge von während der Fahrt durch die Zugspitze erreichten Akteuren auf der Infrastruktur ergeben, noch weitere Möglichkeiten zur Übermittlung von Informationen zu schaffen. Diese Möglichkeit muss einen Zeitpunkt zur Übermittlung unabhängig von der Infrastruktur ermöglichen.

Die neu zu schaffende Möglichkeit muss ebenfalls Events in der Eventliste erzeugen, jedoch wird kein Knoten der Infrastrukturmodellierung durch die Zugspitze passiert. Die Zugspitze muss die Information über eine Luftschnittstelle oder einen anderen kontinuierlich wirkenden Kommunikationsweg übertragen bekommen. Die übertragende Information löst die Eintragung eines Events zwischen bereits bestehenden Events in der Eventliste aus.

Für die Liste von Events bestehen zwei Möglichkeiten. Der eingetragene Event ist gleich mit der übertragenen Information oder die übertragene Information wird verarbeitet und abgelegt. Hier wiederum kann der in der Liste abgelegte Event entweder in unterschiedlichen Formen abgelegt sein oder über alle Events gleichartig.

Das Ablegen in der Eventliste als unbearbeitete Version der übertragenen Information bietet den Vorteil, dass eine Liste erstellt wird, die für das Nachvollziehen im Rahmen der Fehlerbehebung bei der Modellerstellung von Vorteil ist. Anhand der Liste kann nachvollzogen werden, welche übertragene Information zu welchem Zeitpunkt in der Simulation verarbeitet wird. Die Reihenfolge in der Eventliste ist aber nicht identisch mit der Reihenfolge in der die Informationen übertragen werden. Ein weiterer Nachteil dieser Form des Ablegens in der Eventliste ist, dass beim Abarbeiten der Eventliste die übertragenen Informationen erst weiter verarbeitet werden müssen, um den Betrieb zu simulieren. Die übertragenen Informationen alleine beinhalten keine Aussage über die Reaktion des empfangenden Akteurs.

Im Gegensatz hierzu ist diese Aussage möglich, wenn die übertragene Information in verarbeiteter Weise in der Eventliste abgelegt wird. Das heißt, dass der empfangende Akteur die Information erst empfängt, dann verarbeitet und der ausgelöste betriebliche Prozess in der Eventliste ablegt. Ein weiterer Vorteil ist, dass aus dem ausgelösten betrieblichen Prozess noch mehr zu übertragende Informationen entstehen können, um andere Akteure. Aus diesen übertragenen Informationen können wieder neue Events entstehen, die Liste wird also weiter aktualisiert, bevor die Simulation startet. Dies ist nicht der Fall, wenn die übertragenen Informationen unverarbeitet in der Eventliste abgelegt werden.

Aus diesem Grund wird die Eventliste mit den betrieblichen Reaktionen gepflegt, für welche sich die Akteure auf Grundlage der übertragenen Informationen und ihrer internen Funktionen entscheiden. Der Nachteil, dass die Liste der übertragenen Informationen für die Fehlerbehandlung bei der Modellerstellung so nicht gepflegt wird, kann bei Bedarf durch eine separate Ablage ausgeglichen werden.

Die Art der Ablage von Events kann entweder für einzelne ausgelöste betriebliche Prozesse unterschiedlich sein oder es wird ein einheitliches Format gewählt. Eine abstrahierte möglichst gleichartige Art der Ablage für ausgelöste betriebliche Prozesse geht einher mit der Anforderung, die entwickelte Modellierung für möglichst viele unterschiedliche Betriebsverfahren nutzen zu können. Um den ausgelösten betrieblichen Prozess beschreiben zu können, wird zunächst auf die folgenden grundlegenden Fahrzustände zurückgegriffen:

- Beschleunigen
- Geschwindigkeit halten
- Bremsen

Diese Fahrzustände werden im in Unterabschnitt 9.7.1 eingeführten „AccelState“ festgehalten. Ebenso wird die im Rahmen der Modellierung des Zuges hergeleitete Zielgeschwindigkeit v_{neu} verwendet, um den ausgelösten betriebliche Prozess zu beschreiben. Der Bewegungsvorgang zwischen zwei Events ist berechenbar, wenn die vorherig gültige Geschwindigkeit v_{alt} vorhanden ist. Die Mitnahme dieses Wertes ist notwendig, da durch neue z. B. über die kontinuierliche wirkende Kommunikationsschnittstelle oder durch die Planung eines Bremsensatzpunktes angestoßene Events andere Geschwindigkeiten eingeführt werden können. Die Übernahme von Geschwindigkeiten von vorherigen Events zur Berechnung des Bewegungsvorgangs muss alle Events umfassen, Events an Standorten von Akteuren und angestoßenen Events zwischen diesen Standorten, da die neu angestoßenen Events eventuell Beschleunigungs- oder Bremsvorgänge erfordern.

Um die Simulation der betrieblichen Reaktion auf der modellierten Infrastruktur verorten zu können, ist die Position des Beginns der Reaktion im Event festzuhalten. Im Event könnten entweder Beginnzeit oder der Ort auf der Infrastruktur festgehalten werden. Bei Betrachtung einer einzelnen Zugfahrt kann ist die Erfassung eines der beiden ausreichend. Werden mit dem erarbeiteten Modell mehrere Zugfahrten abgebildet, hat die Erfassung des Ortes auf der Infrastruktur den Nachteil, dass sich nicht unmittelbar eine globale Reihung aller Events aller Zugfahrten daraus ableiten lässt. Die Erfassung der Beginnzeit ist hier die geeignetere Wahl, um eine für alle simulierten Fahrten global gültige Reihung in der Liste der Events zu erfassen.

Zusammenfassung:

NeuerEvent (Beginnzeit, Fahrzustand, v_{neu} , v_{alt} , Position)

Diese z. B. im Falle des Nothaltauftrags nicht über einen Akteur auf der Infrastruktur übertragenen Informationen sind gleichwertig mit den über Akteure auf der Infrastruktur übertragenen Informationen.

Es handelt sich lediglich um einen neuen Übertragungsweg, mit der beschriebenen Besonderheit, dass zusätzlich zu der Abfolge von überfahrenen Punkten auf der Infrastrukturmodellierung über diesen Übertragungsweg auch neue Events in die Eventliste eingetragen werden. Die Abfolge betrieblicher Reaktionen ist somit nicht mehr nur alleine durch die Infrastrukturmodellierung bestimmt.

Zusammenfassung:

Akteur Stellwerkslogik -> Auftrag -> Zugspitze

- Meldung wird aufgenommen
- Keine Antwort erforderlich
- Unmittelbare Reaktion

Zusätzlich konnte mit der Einführung von Events und der Ablage einer Zielgeschwindigkeit v_{neu} eine Möglichkeit geschaffen werden, Geschwindigkeitsinformationen zu übertragen.

Die hier eingeführten unterschiedlichen Arten der Kommunikation ermöglichen in weiteren Anwendungsfällen ebenfalls die Modellierung betrieblicher Prozesse. Im Folgenden sind drei kleine Beispiele für diese Wiederverwendbarkeit aufgeführt:

- Umstellen einer Weiche
 - Auftrag von Stellwerkslogik an Akteur Weiche
 - Rückantwort des Akteurs Weiche in Form einer Meldung
- Schriftlicher Befehl
 - Diktieren des schriftlichen Befehls in Form einer Anfrage
 - -Wiederholen des diktierten Befehls in Form einer Meldung
 - -Freigabe des schriftlichen Befehls durch Unterschrift und Wortlaut „Richtig“ in Form eines Auftrags
- ETCS Movement Authority on Sight
 - Übertragung über kontinuierliche wirkende Kommunikationsschnittstelle wie ein Nothaltauftrag
 - Mit Geschwindigkeitsinformation

Zur Kontrolle der Vollständigkeit der oben eingeführten Abstraktionsregeln sowie Regeln zur Darstellung und Unterscheidung der Kommunikation kann das Regelwerk Richtlinie 408 herangezogen werden. Die Untersuchung der einzelnen Kapitel mit den beschriebenen Verfahren wird zeigen, ob diese Verfahren mit den gewählten Abstraktionen und Kommunikationen zu erklären sind.

9.8 Zusammenfassung

Das vorherige Kapitel 8 zeigte die Regeln bei der Modellbildung für Elemente der Infrastruktur in Form von Akteuren und die Zusammenfassung der Akteure zu logischen Gruppen. Die mit den Grundbausteinen in einer formalen Modellierung beschreibbaren betrieblichen Prozesse lassen sich sehr gut in nacheinander ablaufenden Kommunikationsschritten beschreiben. Jeder Schritt führt dazu, dass der im Schritt geänderte Zustand an andere Akteure kommuniziert wird. Ziel dieses Kapitels 9 war es, den Modellierer in die Lage zu versetzen, die in betrieblichen Prozessen notwendigen Kommunikationen in möglichst abstrakte Kommunikationsformen zu beschreiben. Hierfür sind in diesem Kapitel Regeln für die folgenden Prozessschritte gegeben:

- Kommunikation zwischen den logischen Gruppen und Akteuren identifizieren
- Kommunikation einer Art zuweisen
 - Auftrag,
 - Meldung,
 - Anfrage oder
 - Event

Zur Verarbeitung der übermittelten Kommunikation müssen die Akteure und logischen Gruppen in der formalen Modellierung mit Schnittstellen und Funktionen ausgestattet werden. Die Beschreibung dieser Schnittstellen und Funktionen ist Ziel des nächsten Kapitels.

10 Schnittstellen und Funktionen der Akteure

10.1 Einleitung

Die Akteure, die in Kapitel 8 als Grundbausteine des Modells identifiziert wurden und die in Abschnitt 9.4 grundlegenden betrieblichen Prozessen zugeordnet wurden, müssen auf die Kommunikationen, die in Abschnitt 9.7 für die grundlegenden betrieblichen Prozesse identifiziert wurden, reagieren.

Für diesen Empfang von Informationen, die Weiterverarbeitungen von übermittelten Informationen sowie die beschriebenen Reaktionen muss der modellierte Akteur vorbereitet werden. Für alle diese Schritte muss ein Akteur auf Informationsfluss lauschen, diese Informationen weiterverarbeiten und gegen vorher festgelegte Zielwerte überprüfen, interne Zustände ändern (zum Beispiel bremsen), Informationen intern ablegen sowie nach außen gehende Kommunikation einleiten. Als Vorbereitung für die spätere ausführbare Modellierung des hier beschriebenen Modells werden diese internen Prozesse als „Funktion“ bezeichnet, wie sie zum Beispiel bei der projektorientierten Programmierung eingesetzt werden. Dort haben Funktionen drei wesentliche Bestandteile: Übergabeparameter (Parameterliste), einen Funktionsnamen sowie Rückgabewerte.

Im Rahmen dieses Kapitels werden für die einzelnen bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Akteure Funktionen festgelegt. Diese Funktionen ergeben sich zum einen aus den Aufgaben der Akteure in den betrieblichen Prozessen und zum anderen aus den Kommunikationsprozessen zwischen den Akteuren.

Mit der Zuweisung von Funktionen ist die Modellbildung abgeschlossen und kann an einem Anwendungsbeispiel überprüft werden. Im Folgenden wird zunächst der Funktionsumfang für Akteure des Zuges, an der Infrastruktur und im Stellwerk spezifiziert.

10.2 Schnittstellen und Funktionen der Akteure des Zugs

Die Zuweisung von Funktionen beginnt zunächst mit der Untersuchung der betrieblichen Prozesse und Kommunikationen für den Akteur Zug. Abschnitt 8.2 führt für den Zug folgende Akteure ein, die zur logischen Gruppe Zug zusammengefasst werden können:

- Zugspitze
- Zugschluss

Aus der Vereinfachung der Bewegungsvorgangs ergeben sich in Abschnitt 8.4 Eigenschaften des Zuges zur Beschreibung des Bewegungsvorgangs.

- Beschleunigungsvermögen
- Bremsvermögen bei einer Schnellbremsung

Diese Eigenschaften sind Teil der Modellierung des Zuges und werden in Funktionen der logischen Gruppe Zug weiterverarbeitet. Die logische Gruppe Zug wird in Abschnitt 10.4 beschrieben.

Aus der Beschreibung der notwendigen Kommunikation in Abschnitt 9.7 ergeben sich weitere notwendige Funktionen für den Zug. Änderungen der zulässigen Geschwindigkeit müssen der Zugspitze an Standorten von Akteuren übergeben werden können. Nicht alle betrieblichen Prozesse lassen sich auf diese Weise mit dem formalen Modell abbilden (vgl. Nothaltauftrag mit sofortiger Einleitung einer Schnellbremsung in Unterabschnitt 9.7.5).

Ein Kommando wie der Nothaltauftrag muss unmittelbar während der Fahrt auf der Kante zwischen zwei Knoten umgesetzt werden. Über eine vorzusehende Schnittstelle, um dem Zug eine Information zu einem definierten Zeitpunkt statt am Standort eines Akteurs zu übertragen, können auch andere Kommunikationen z. B. zwischen Stellwerk und Zug abgebildet werden.

Im Falle eines Nothaltauftrages muss der Zug die Liste der Events überarbeiten können. Die weiteren Events verschieben sich in der Liste oder entfallen ganz, sollte der Zug den für das Event vorgesehenen Standort gar nicht mehr erreichen nach Durchführung der Schnellbremsung.

Signalbegriffe werden der Zugspitze wiederum nur an Standorten von Akteuren übergeben. Kommunikation findet jedoch auch mit dem Zugschluss statt. Über eine vorzusehende Schnittstelle kann die Vorbeifahrt des Zugschlusses an für die Ermittlung des Beschleunigungszeitpunktes durch den Zug relevanten Punkten übermittelt werden.

Nach der Übermittlung von neuen zulässigen Geschwindigkeiten und Signalbegriffen muss durch den Zug der Bremsenanzugszeitpunkt berechnet werden. Diese Berechnung kann entweder durch den Akteur Zugschluss oder durch den Akteur Zugspitze berechnet werden. Um die Kommunikation zwischen den Akteuren zu minimieren, wird diese Funktion der Zugspitze zugesprochen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Funktionen des Akteurs Zugspitze.

Tabelle 9: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Zugspitze

Zugspitze
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Schnittstelle, um der Zugspitze am Standort eines Akteurs eine Information zu übertragen ○ Schnittstelle, um dem Zug eine Information zu einem definierten Zeitpunkt statt am Standort eines Akteurs zu übertragen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zugverhalten <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktion, um eine geordnete Liste von Events zur Abarbeitung zu erzeugen ○ Funktion, um den Bremsenanzugszeitpunkt zu abhängig vom Bremsvermögen zu bestimmen ○ Funktion, um für einen Event nötige Bremsung einzuleiten ○ Funktion, um den Beschleunigungszeitpunkt abhängig von der Zuglänge zu bestimmen ○ Funktion, um für einen Event nötige Beschleunigung einzuleiten ○ Funktion, um anhand des Standorts zu bestimmen, ob ein Signal für den Zug gültig ist ○ Funktion, um aus der geordneten Liste von Events zur Abarbeitung Einträge zu entfernen

Der nötige Funktionsumfang für den Akteur Zugschluss ist deutlich geringer als für den Akteur Zugspitze. Aus den Kommunikationen nach Abschnitt 9.7 ergibt sich lediglich die Notwendigkeit, die Vorbeifahrt des Zugschlusses an den Gefahrenpunkt zu übermitteln. Dies ist beispielsweise nach Vorbeifahrt am Gefahrenpunkt/der Signalzugschlussstelle nötig. Für das Zugverhalten ist nach vollständiger Abarbeitung eines Events, z. B. der Beschleunigung auf eine Zielgeschwindigkeit noch notwendig die Liste der Events wieder zu kürzen.

Tabelle 10: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Zugschluss

Zugschluss
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Schnittstelle, um die Vorbeifahrt des Zugschlusses zu übermitteln
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zugverhalten <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktion, um aus der geordneten Liste von Events zur Abarbeitung Einträge zu entfernen

Nach einem Fahrtrichtungswechsel tauschen die beiden Akteure Zugschluss und Zugspitze innerhalb der logischen Gruppe Zug.

Nach abgeschlossener Spezifikation der für die Akteure Zugspitze und Zugschluss notwendigen Funktionen wird im nachfolgenden Abschnitt für alle Akteure der Infrastrukturseite ebenfalls der Funktionsumfang spezifiziert.

10.3 Schnittstellen und Funktionen der Akteure der Infrastrukturseite

10.3.1 Akteure an der Infrastruktur

Für die Akteure an der Infrastruktur müssen Funktionen spezifiziert werden, welche die Kommunikationen nach Abschnitt 9.7 mit dem Zug, logischen Gruppen und Akteuren des Stellwerks ermöglichen. Alle Akteure an der Infrastruktur werden von Zügen passiert. Es bietet sich somit an, die Funktionen und Schnittstellen für diese für alle Akteure gleiche Kommunikation zuerst übergreifend für alle Akteure zu spezifizieren. Die zusätzlich notwendigen Funktionen, die speziell für die Akteure nötig sind, können dann auf dieser allgemeingültigen Spezifikation aufgesetzt werden.

Der Akteur an der Infrastruktur wird sowohl von Zugspitze als auch von Zugschluss passiert. Um Kommunikation z. B. später mit dem Stellwerk mit dem Inhalt der Meldung der Vorbeifahrt des Zuges auslösen zu können, muss der Akteur an der Infrastruktur die Vorbeifahrten bestimmter Züge verwalten können und hierbei auch die Zugspitze vom Zugschluss unterscheiden können. Die nachfolgende Tabelle 11 zeigt die Schnittstellen und Funktionen von Akteuren an der Infrastruktur.

Tabelle 11: Schnittstellen und Funktionen von Akteuren an der Infrastruktur

Akteur an der Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Schnittstelle, um die Identifikation eines Zuges von der Zugspitze zu erhalten ○ Schnittstelle, um die Identifikation eines Zuges von Zugschluss zu erhalten
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten des Akteurs <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktion, um den Zeitpunkt der Vorbeifahrt von Zugspitze und Zugschluss eines Zuges zu verwalten ○ Speichern und aufrufen von Events zur Änderung des Signalbegriffes abhängig von Meldung von außen, Zeit oder Befahren durch Zugschluss

Bei der Behandlung der Kommunikation zwischen verschiedenen Signalen, dem Stellwerk und dem Zug kommen noch zusätzlich Funktionen hinzu, die über den Funktionsumfang der anderen Akteure an der Infrastruktur hinausgehen. Für den Zug muss abfragbar sein, welche Infrastrukturkante vor dem Signal liegt, um sich auf der Infrastrukturmodellierung zu verorten. Durch den Abgleich mit dem eigenen Standort kann der Zug bestimmen, ob ein Signal für den Zug gültig ist.

Das Stellwerk muss die Veränderung des Signalbegriffs über den Auftrag „Fahrt“ beauftragen können, und der Signalbegriff muss dem Akteur Zugspitze übermittelt werden können.

Über Ausfallwahrscheinlichkeiten von Infrastrukturelementen könnte in einer Simulation der Defekt eines Signals berechnet und die Auswirkungen auf den Betrieb simuliert werden. Hierfür sind die Abfrage und die Verwaltung des Status für den Akteur Signal vorgesehen. Die nachfolgende Tabelle 12 zeigt die Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Signal.

Tabelle 12: Schnittstellen und Funktionen von Signal

Signal erweitert Akteur an der Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Abfrage der dem Akteur vorausliegenden Infrastrukturkannte ○ Setzen des Signalbegriffes zu einer bestimmten Zeit ○ Übermittlung des aktuellen Signalbegriffes ○ Abfrage des aktuellen Status des Akteurs
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten des Akteurs <ul style="list-style-type: none"> ○ Verwalten des Status defekt/funktional

Die Akteure Hauptsignal und Vorsignal haben denselben Funktionsumfang wie das Signal.

- Hauptsignal erweitert Signal
- Vorsignal erweitert Signal

Die Akteure Geschwindigkeitsvoranzeiger und Geschwindigkeitsanzeiger unterscheiden sich vom Signal nur durch die zusätzlich zur Übermittlung des Signalbegriffes hinzukommende Übermittlung der zulässigen Geschwindigkeit. Durch die Kombination eines Akteurs Signal und eines Akteurs Geschwindigkeitsanzeiger an einem einzigen Knoten der Infrastrukturmodellierung können auch einschränkende Signalbegriffe wie z. B. Hp2 modelliert werden.

Die zulässige Geschwindigkeit muss ebenfalls von der logischen Gruppe Signale übermittelt werden können. Die nötigen Kommunikationen, aus denen sich die Funktionen und Schnittstellen dieser beiden Akteure ableiten, sind im Abschnitt zum dritten Inkrement in Unterabschnitt 9.7.3 aufgeführt. Nachfolgend zeigen Tabelle 13 und Tabelle 14 den Funktionsumfang dieser beiden Akteure um welchen der Funktionsumfang des Signals erweitert werden muss.

Tabelle 13: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Geschwindigkeitsanzeiger

Geschwindigkeitsanzeiger erweitert Signal
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Setzen der zulässigen Geschwindigkeit ○ Übermittlung der zulässigen Geschwindigkeit

Tabelle 14: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Geschwindigkeitsvoranzeiger

Geschwindigkeitsvoranzeiger erweitert Signal
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Setzen der zulässigen Geschwindigkeit ○ Übermittlung der zulässigen Geschwindigkeit

Ebenfalls nah verwandt mit dem Akteur Signal ist der Akteur Sichtbarkeitspunkt. Schnittstellen und Funktionen zum Setzen, zur Übermittlung und zur Verwaltung von Signalbegriffen können vom Akteur Signal übernommen werden. Lediglich eine neue Schnittstelle zur Abfrage des zu diesem Sichtbarkeitspunkt zugehörigen Signals ist zu ergänzen. Wie für das zweite Inkrement in Unterabschnitt 9.7.2 gezeigt wurde, benötigt der Zug diese Information, um seinen Bremsenpunkt berechnen zu können. Die nachfolgende Tabelle 15 zeigt die Schnittstellen und Funktionen dieses Akteurs.

Tabelle 15: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Sichtbarkeitspunkt

Sichtbarkeitspunkt erweitert Signal
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Abfrage des zum Sichtbarkeitspunkt zugehörigen Akteurs

Für das zweite Inkrement wurde ebenfalls in Unterabschnitt 9.7.2 gezeigt, welche Kommunikation zwischen dem Gefahrpunkt, dem Zugschluss und der logischen Gruppe Signal stattfinden muss. Der Zugschluss übermittelt den Auftrag an den Gefahrpunkt mit der Information, dass er den Punkt passiert hat. Diese Information wird durch den Gefahrpunkt weiter gemeldet. Bei Planung der

Infrastrukturmodellierung kann dem Gefahrenpunkt noch die Information gegeben werden, dass er der letzte Gefahrenpunkt für eine bestimmte Fahrstraße ist. Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt die Schnittstellen und Funktionen dieses Akteurs.

Tabelle 16: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Gefahrenpunkt

Gefahrenpunkt erweitert Akteur an der Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Übermittlung, dass Zugschluss den Punkt jetzt passiert ○ Meldung, welcher Zugschluss welches Zuges den Punkt passiert hat
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten des Akteurs <ul style="list-style-type: none"> ○ Setzen, ob dieser Gefahrenpunkt der letzte für die aktuelle Fahrstraße ist

Eine besondere Unterart des Gefahrenpunktes stellt der Weichenanfang als Gefahrenpunkt dar. Zusätzlich zu den Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Gefahrenpunkt kommen noch Schnittstellen zur Übermittlung durch das Stellwerk, dass die Weiche jetzt befahrbar ist für die nächste Zugfahrt sowie die Möglichkeit zur Übermittlung dieser Information an den Zug. Für eine bessere Simulation mit realitätsnahen Zeitbedarfen für die Fahrwegbildezeit kann dem Weichenanfang noch eine Funktion zur Simulation des Zeitbedarfs des Umstellens der Weiche erhalten. Die nachfolgende Tabelle 17 zeigt die Schnittstellen und Funktionen dieses Akteurs.

Tabelle 17: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Weichenanfang als Gefahrenpunkt

Weichenanfang als Gefahrenpunkt erweitert Gefahrenpunkt
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Übermittlung, dass Akteur in Fahrstraße verschlossen und jetzt passierbar ist ○ Abfrage, ob der Akteur gerade passierbar ist
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten des Akteurs <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktion zur Simulation der Umstellzeit

Ebenfalls an den Signalstandorten befinden sich die Infrastrukturelemente der Zugbeeinflussungssysteme. Sie übermitteln jedoch keine Signalbegriffe und leiten sich deshalb nicht vom Akteur Signal ab. Der Akteur für die Infrastrukturelemente der Zugbeeinflussungssysteme erweitern die Schnittstellen und Funktionen der Akteure an der Infrastruktur. Entsprechend der inhaltlichen Einschränkung in Abschnitt 4.5 werden nur punktförmig wirkende Zugbeeinflussungssysteme wie die PZB 90 modelliert. Die Infrastrukturelemente der PZB 90 übermitteln nur eine Information „aktiv“, wenn die PZB-Magnete wirksam geschaltet sind. Dieser Zustand „aktiv“ oder „inaktiv“ wird von der logischen Gruppe Signal gesetzt. Und an die Zugspitze übermittelt. Die nachfolgende Tabelle 18 zeigt die Schnittstellen und Funktionen dieses Akteurs.

Tabelle 18: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Zugbeeinflussungsinfrastrukturelement

Zugbeeinflussungsinfrastrukturelement erweitert Akteur an der Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Setzen des Akteurs auf aktiv/inaktiv ○ Übermittlung aktiv/inaktiv
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktion zum Verwalten des Zustands

Letzter verbleibender Akteur an der Infrastruktur ist der Punkt des Wechsels des zuständigen Stellwerks. Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt die Schnittstelle dieses Akteurs zur Übermittlung des zuständigen Stellwerks an die Zugspitze sobald der Zug in einen anderen Zuständigkeitsbereich wechselt.

Tabelle 19: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Wechsel des zuständigen Stellwerks

Wechsel des zuständigen Stellwerks erweitert Akteur an der Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Übermittlung der Information über das zuständige Stellwerk an die Zugspitze
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten des Akteurs <ul style="list-style-type: none"> ○ keine Funktionen

Die nachfolgende Abbildung 23 zeigt die Abhängigkeiten der Akteure an der Infrastruktur untereinander in einer Zusammenfassung auf. Akteure, welche andere Akteure erweitern, erben die Schnittstellen und Funktionen dieser Akteure. Diese Vererbung ist in der Abbildung mit Pfeilen dargestellt.

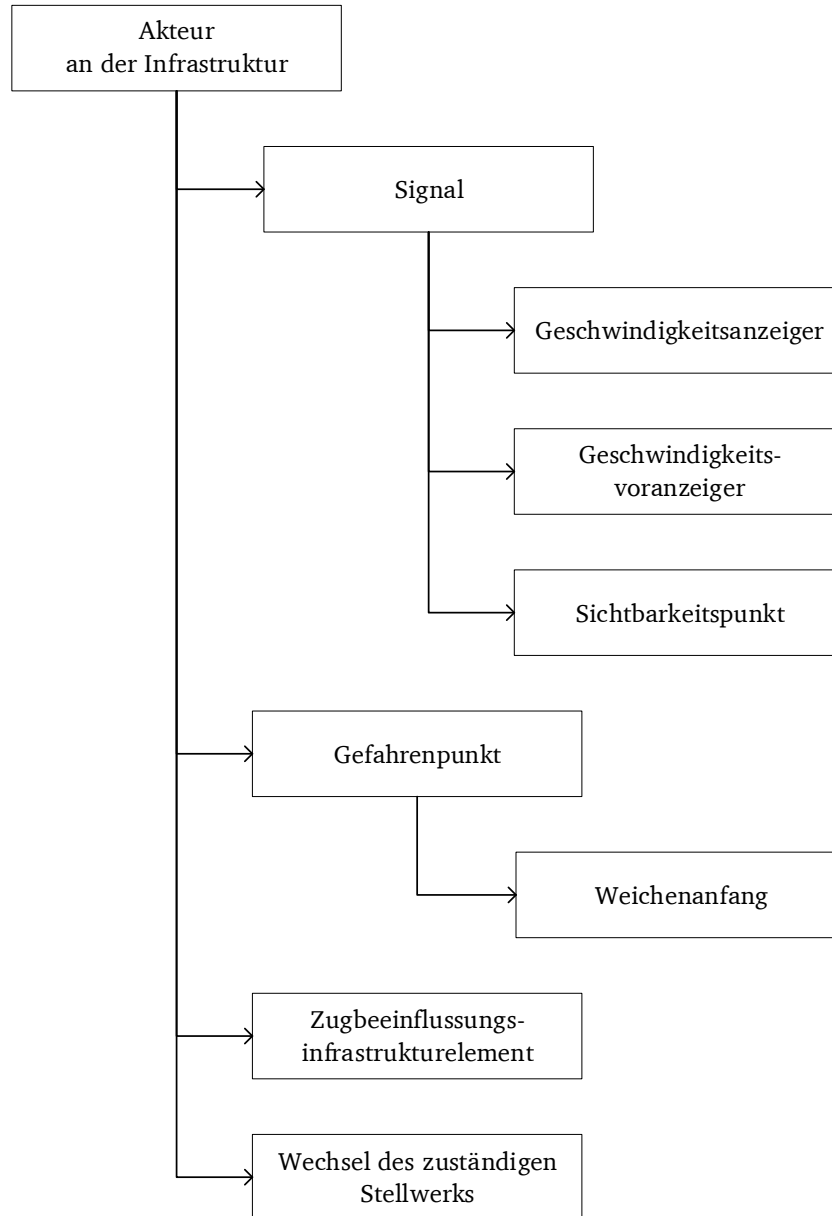


Abbildung 23: Abhängigkeiten der Akteure an der Infrastruktur

Obwohl Stellwerke im System Bahn die Steuerung und Überwachung der Elemente der Leit- und Sicherungstechnik an der Infrastruktur übernehmen, sind Stellwerke in der hier vorgestellten Modellierung keine Akteure an der Infrastruktur. Ihnen kommt eine besondere Rolle oberhalb der Akteure an der Infrastruktur als Kommunikationsschicht zu. Die notwendigen Funktionen für die Stellwerke werden im nächsten Unterabschnitt vorgestellt.

10.3.2 Akteure im Stellwerk

Im Folgenden werden aus der vorhandenen Modellierung die notwendigen Schnittstellen und Funktionen des Stellwerks erarbeitet. Wobei zu beachten ist, dass es entsprechend der inhaltlichen Einschränkung aus Abschnitt 4.5 nicht Ziel der Arbeit ist, eine vollständige Sicherungslogik zu modellieren. Die aufgeführten Schnittstellen und Funktionen sind nur notwendig, um die betrieblichen Prozesse zu modellieren, nicht um ein sicheres Funktionieren des Stellwerks sicherzustellen.

Wichtigste Kommunikation zwischen zwei Stellwerken ist die Kommunikation über die Blockschnittstelle. Über die Funktionen des Streckenblocks wird garantiert, dass die Abstandshaltung zwischen Zügen sichergestellt ist. Kann bei freier Strecke zwischen zwei Stellwerken eine Fahrt für den Zug zugelassen werden, muss der Auftrag an die logische Gruppe Signal ausgegeben werden. Weitere Kommunikation mit dem Zug für Nothaltaufträge (vgl. Unterabschnitt 9.7.5) wird über eine andere Schnittstelle sichergestellt.

Tabelle 20: Schnittstellen und Funktionen des Stellwerks

Stellwerk
<ul style="list-style-type: none">▪ Schnittstellen<ul style="list-style-type: none">○ Blockschnittstelle○ Übermittlung Auftrag an logische Gruppe Signal○ Schnittstelle zum Zug für Nothaltaufträge
<ul style="list-style-type: none">▪ Funktionen<ul style="list-style-type: none">○ Akteur bietet Zug an○ Akteur nimmt Zug an○ Akteur blockt vor○ Akteur blockt zurück

Die Akteure des Zuges und an der Infrastruktur sind zum Teil noch in logischen Gruppen zusammengefasst. Die Schnittstellen und Funktionen dieser logischen Gruppen werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

10.4 Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppen

Für die beiden in Abschnitt 9.6 beschriebenen logischen Gruppen Signal und Zug werden ebenfalls Schnittstellen und Funktionen zur Durchführung des Betriebs benötigt. Der folgende Abschnitt leitet diese aus den in Abschnitt 9.7 beschriebenen Kommunikationen ab.

Logische Gruppe Signal

Die Modellierung der Kommunikation für das erste Inkrement in Unterabschnitt 9.7.1 zeigte die Notwendigkeit, dass die logische Gruppe Signal mit allen unter ihr zusammengefassten Akteuren kommunizieren muss, um die Signalbegriffe zu beauftragen. Nach Erhalt der Beauftragung der logischen Gruppe durch das Stellwerk werden diese Aufträge verteilt. Nach Erhalt dieser Beauftragung werden ebenfalls geänderte Zustände für Infrastrukturelemente des Zugbeeinflussungssystems durch eine Funktion abgeleitet und die geänderten Zustände an die betroffenen Infrastrukturelemente des Zugbeeinflussungssystems übermittelt. Die nachfolgende Tabelle 21 zeigt die Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppe Signal.

Tabelle 21: Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppe Signal

Logische Gruppe Signal
<ul style="list-style-type: none">▪ Schnittstellen zur Kommunikation<ul style="list-style-type: none">○ Übermittlung des Auftrags an Sichtbarkeitspunkt des Vorsignals○ Übermittlung des Auftrags an das Vorsignal○ Übermittlung des Auftrags an Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals○ Übermittlung des Auftrags an das Hauptsignal○ Setzen des Zustands für ein Infrastrukturelement des Zugbeeinflussungssystems○ Erhalten des Auftrags vom Stellwerk○ Erhalt der Meldung vom Gefahrpunkt
<ul style="list-style-type: none">▪ Verhalten der logischen Gruppe<ul style="list-style-type: none">○ Pflegen einer Liste der zur Gruppe zugehörigen Akteure○ Verteilen der Aufträge nach Erhalt durch Stellwerk○ Ableiten der Zustände für die Infrastrukturelemente des Zugbeeinflussungssystems○ Weitergabe der Meldung des Zugschlusses an Stellwerk

Logische Gruppe Zug

Neben den in Abschnitt 10.2 beschriebenen Eigenschaften zum Brems- und Beschleunigungsvermögen müssen dem Zug weitere Eigenschaften ebenfalls bekannt sein. Vor Beginn der Fahrt muss der Zug initialisiert werden. Dies umfasst unter anderem eine eindeutige Identifizierung und eine Zuglänge. Diese Werte sind durch Abfragen über eine Schnittstelle für anderen Akteure nutzbar. Nach der Initialisierung des Zuges findet die Wahl oder Beauftragung der Fahrtrichtung und der Startgeschwindigkeit statt. Abhängig von den für eine formale Modellierung ausgewählten Betriebsprozessen können weitere Daten erforderlich sein.

Um Abhängigkeiten vom Fahrplan zu simulieren bietet es sich an neben dem Signalbegriff ebenfalls eine Abfahrtszeit zu übertragen. Diese Abfahrtszeit würde von einem Traffic Management System festgelegt werden, das nicht Teil der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Modellierung ist.

Bevor schriftliche Befehle an den Zug übermittelt werden können, muss durch den Fahrdienstleiter der Standort des Zuges abgefragt werden. Die nachfolgende Tabelle 22 zeigt die Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppe Signal.

Tabelle 22: Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppe Zug

Logische Gruppe Zug
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellen zur Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ○ Schnittstelle, um dem Zug Identifizierungsschlüssel und Zuglänge zu übergeben ○ Schnittstelle, um die Zuglänge abzufragen ○ Schnittstelle, um den eindeutigen Identifizierungsschlüssel abzufragen ○ Schnittstelle, um Abfahrtszeitpunkt zu übertragen ○ Schnittstelle, um den letzten Standort des stehenden Zuges abzufragen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten der logischen Gruppe <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktion um zuständiges Stellwerk zu speichern ○ Pflegen einer Liste der zur Gruppe zugehörigen Akteure

10.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel konnten die Funktionen und Schnittstellen aller in Kapitel 8 identifizierten Akteure spezifiziert werden. Diese Funktionen und Schnittstellen dienen dazu, die in Abschnitt 9.7 beschriebene Kommunikation anzustoßen und zu verarbeiten. Mithilfe dieser Kommunikation ist die Durchführung von Eisenbahnbetrieb möglich. Das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Werkzeug konnte somit komplettiert werden. Die Eignung des Werkzeuges soll im nächsten Kapitel mit einem Anwendungsfall überprüft werden.

11 Anwendungsbeispiel

11.1 Einleitung

In diesem Kapitel soll das erarbeitete Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen betrieblichen Prozessen und Regeln exemplarisch angewendet werden. Ziel ist es, die Eignung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Werkzeuges unter Beweis zu stellen. Hierzu wird in Abschnitt 11.2 ein im Vergleich zur Richtlinie 408, welche als Basisrichtlinie bei der Erarbeitung des Werkzeuges herangezogen wurde, möglichst verschiedenes Regelwerk ausgewählt. Dieses Regelwerk muss jedoch wie die Richtlinie 408 zur Beschreibung von betrieblichen Prozessen dienen, da die Grundbausteine der formalen Modellierung auf den in Abschnitt 5.3 ausgewählten Anwendungsfall Bezug nehmen. Der ausgewählte Anwendungsfall basiert wiederum auf der in Abschnitt 5.2 ausgewählten Richtlinie.

11.2 Auswahl der Richtlinie für das Anwendungsbeispiel

Die in der Richtlinie 408 beschriebenen Betriebsverfahren basieren auf dem Fahren im festen Raumabstand. Aufgrund der langen Bremswege sowie Blockabschnitte und der deshalb notwendigen Vorsignalisierung sind die Abstände zwischen den Zügen im Betrieb groß. Die Abstände zwischen den Zügen können durch das Fahren im Bremswegabstand vermindert werden.

Das Fahren im relativen Bremswegabstand wird in aktuellen Untersuchungen ausgeschlossen. Heute wird das Fahren im absoluten Bremswegabstand eingesetzt. Das Fahren im absoluten Bremswegabstand wird vor allem bei Stadtbahnssystemen genutzt. Grundvoraussetzung ist in den meisten Fällen der Einsatz eines Communication Based Train Control Systems, in wenigen Ausnahmen gibt es Anwendungsfälle mit spezialisierter infrastrukturseitiger Ausstattung, die nicht auf eine ständige Funkverbindung angewiesen sind, um das Fahren im absoluten Bremswegabstand zu ermöglichen. Tabelle 23, Tabelle 24 sowie Tabelle 25 geben nachfolgend einen Überblick über die weltweit vor allem bei Stadtbahnen eingesetzten Communication Based Train Control Systeme.

Tabelle 23: Stadtbahnsysteme mit Communication Based Train Control Systemen

Name der Stadtbahn	Name; Hersteller des Systems	Betreiber der Bahnen
New York City Subway, Linie L	Trainguard MT CBTC; Siemens	New York City Transit Authority
Metro Madrid, Linie 1 und 6	Invensys Rail Dimetronic	Metro de Madrid S.A. (Tochtergesellschaft des Consortio Regional de Transportes de Madrid)
SkyTrain Vancouver, Kanada	SelTrac; Thales Group	TransLink Canada
Scarborough, Toronto, Kanada	SelTrac; Thales Group	Toronto Transit Commission
North East Line, Circle Line; Singapur	Urbalis 300 CBTC; Alstom	North East Line: SBS Transit Circle Line: SMRT Corporation
Downtown Line; Singapur	Sirius CBTC; Invensys Rail Dimetronic	SBS Transit
North South Line, East West Line; Singapur	SelTrac; Thales Group	SMRT Corporation
Metro Paris, Linie 1 und 14	Trainguard MT CBTC; Siemens	RATP
Metro Paris, Linie 13	OURAGAN (Offre urbaine renouvelée et améliorée gérée par un automatisme nouveau); Ansaldo STS	RATP
Metro Paris, Linien 3, 5, 9, 10, 12	OCTYS (Open Control of Trains, Interchangeable & Integrated System); Siemens, Ansaldo, Areva	RATP
S-Bahn Kopenhagen	Trainguard MT CBTC; Siemens	Banedanmark
U-Bahn Nürnberg, U2 und U3	Linienzugbeeinflussung (kurz: LZB) 524; Siemens	Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg
U-Bahn Berlin, U4	SelTrac; Thales Group	Berliner Verkehrsbetriebe
Docklands Light Railway, London	SelTrac; Thales Group	KeolisAmey Docklands Ltd.
London Underground, Jubilee Line und Northern Line	SelTrac; Thales Group	London Underground Ltd.
Metro Istanbul, Linie M4	SelTrac; Thales Group	Istanbul Ulasim
Santiago Metro, Chile Linien 3 und 6	SelTrac; Thales Group	Metro S. A.
AirTrain JFK, New York	SelTrac; Thales Group	
Barcelona Metro, Linie 9	Trainguard MT CBTC; Siemens	FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya)
Metro Kopenhagen, Linien 1 und 2	Ansaldo STS	Metro Service A/S

Tabelle 24: Stadtbahnssysteme mit Communication Based Train Control Systemen (Fortsetzung I)

Name der Stadtbahn	Name; Hersteller des Systems	Betreiber der Bahnen
Metro Lausanne, Linie 2	Urbalis 300 CBTC; Alstom	Transports publics de la région Lausannoise
Metro Lyon, Linie D	Trainguard MT CBTC; Siemens	Keolis Lyon
Metro Mailand, Linie 5	Ânsaldo STS	Azienda Trasporti Milanesi
Metro Taipeh, Wenhua line	CityFlo 650; Bombardier	TRTC (Taipei Rapid Transit Corporation)
Korea: Busan-Gimhae Line, Sinbundang Line, Incheon Line 2	SelTrac; Thales Group	Busan-Gimhae Light Rail Transit Operation Corporation; NeoTrans Co. Ltd.; Incheon Transit Corporation
Kuala Lumpur Monorail, Ampang Line	SelTrac; Thales Group	KL Infrastructure Group
Metro Peking, Linie 10	Trainguard MT CBTC; Siemens	Beijing Mass Transit Railway Operation Corp., Ltd Beijing MTR Corp. Ltd. Beijing MTR Operation Administration Co., Ltd Beijing Public Transit Tramway Co., Ltd. Beijing Capital Metro Corp., Ltd.
Metro Budapest, Linie 2	Trainguard MT CBTC; Siemens	BKV Zrt.
Guangzhou Metro, Line 3	SelTrac; Thales Group	Guangzhou Metro Corporation
Shenzhen Metro Line 3	CityFlo 650; Bombardier	(SZMC) Shenzhen Metro Group
Hyderabad Metro, Linien 1 und 2	SelTrac; Thales Group	Hyderabad Metro Rail Ltd. (HMRL)
Wuhan Metro, Linien 1 und 3	SelTrac; Thales Group	Wuhan Metro Co.
Detroit People Mover	SelTrac; Thales Group	Detroit Transportation Corporation
Las Vegas, Monorail	SelTrac; Thales Group	Las Vegas Monorail Company
San Francisco, SFO AirTrain	CityFlo 650; Bombardier	San Francisco Airports Commission
San Francisco Municipal Railway	SelTrac; Thales Group	SMFTA (San Francisco Municipal Transportation Agency)
Ankara Metro	Ânsaldo STS	EGO
Hong Kong MTR, West Rail Line	SelTrac; Thales Group	MTR Corporation

Tabelle 25: Stadtbahnsysteme mit Communication Based Train Control Systemen (Fortsetzung II)

Name der Stadtbahn	Name; Hersteller des Systems	Betreiber der Bahnen
Hong Kong, Sha Tin to Central Link	SelTrac; Thales Group (East-West Corridor) Trainguard MT CBTC; Siemens (North-South Corridor)	MTR Corporation
Hong Kong, Ma On Shan Line	SelTrac; Thales Group	MTR Corporation
Washington Dulles Airport, Aerotrain	SelTrac; Thales Group	Metropolitan Washington Airports Authority
Philadelphia, SEPTA green line	CityFlo 650; Bombardier	The Southeastern Pennsylvania Transportation Authority (SEPTA)
Long Island Rail Road, New York	Siemens	Metropolitan Transportation Authority
Jacksonville Skyrail	SelTrac; Thales Group	Jacksonville Transportation Authority (JTA)
Nanchang Metro, Linien 1 und 2	SelTrac; Thales Group	Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd.

Ein Extrembeispiel stellt hierbei die U-Bahn Nürnberg dar. Hier fahren signalgeführte Züge im Raumabstand und automatisch verkehrende Züge im Bremswegabstand im Mischbetrieb auf derselben Infrastruktur. Aus diesem Grund wird für das Anwendungsbeispiel im Rahmen dieser Arbeit das gültige Regelwerk für den Betrieb bei der U-Bahn Nürnberg ausgewählt.

11.3 Auswahl der zu formalisierenden Inhalte

Abschnitt 7.2 beschreibt unter anderem die durch den Modellierer durchzuführenden Prozessschritte. Neben Prozessschritten in der Vorarbeit, die vor allem zum Aufbau des Domänenwissens dienen, sind die folgenden Prozessschritte bei der formalen Modellierung von Betriebsprozessen und Regeln mit dem im Rahmen dieser Arbeit erstellten Werkzeug durchzuführen:

1. Akteure (Mitarbeiter im Bahnbetrieb und technische Einrichtungen)
 - a. Identifizierung
 - b. Abläufe „in eigenen Worten“ beschreiben
2. Punkte des Informationsflusses identifizieren
3. Inhalte des Informationsflusses beschreiben

Im Folgenden werden für die formale Modellierung der Betriebsprozesse bei der U-Bahn Nürnberg das im Netz der U-Bahn Nürnberg gültige betrieblichen Regelwerk ausgewählt, die Akteure identifiziert und die Abläufe nach Prozessschritt 1 beschrieben.

Im Bestandsnetz vor Einführung des fahrerlosen Betriebs der U-Bahn Nürnberg ist die Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h begrenzt beim Fahren auf ortsfeste Signale. Grundlage für

den Betrieb ist die Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (kurz: BOStrab), sowohl für den Betrieb mit besetzten als auch mit fahrerlosen Fahrzeugen.

Auszüge aus der BOStrab

„Die Technischen Regeln Straßenbahnen (TRStrab) gelten als Regel der Technik für den Bau und Betrieb von Straßenbahnen und konkretisieren die Grundanforderungen der Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab).

Sie werden vom zuständigen Bund-Länder-Fachausschuss BOStrab ermittelt, im Verkehrsblatt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bekannt gemacht und auf der Homepage des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) veröffentlicht.

Die vorliegende TRStrab FoF konkretisiert insbesondere die grundlegenden Anforderungen der §§ 16, 31, 43, 53 und 56 BOStrab. Sie wurde gemäß Richtlinie 98/34/EG unter der Nummer 2014/0000/D bei der EU-Kommission notifiziert.“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2014)

Diese Richtlinien regeln, wie beim Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer die Vorschriften der BOStrab, vor allem die §§ 16, 31, 43, 53 und 56, erfüllt werden können.

- § 53 Abs. 2 Nr. 2 BOStrab Überprüfung des lichten Raumes: Einmal täglich bei Betriebsaufnahme und nach Ereignissen, bei denen von einer Beeinträchtigung des lichten Raumes auszugehen ist, durch Augenschein eines unterwiesenen Betriebsbediensteten oder durch eine geeignete technische Einrichtung. An besonders gefährdeten Stellen kann eine ständige Überwachung des lichten Raumes erforderlich sein.
- Stillsetzen des Fahrbetriebs
- Abschalten der Fahrspannung
- § 53 Abs. 2 Nr. 4 und § 56 Abs. 3 BOStrab Bergung von Fahrgästen: Für den Beginn der Bergung am Zug ist eine Richtzeit von einer halben Stunde zugrunde zu legen.
- § 16 Abs. 9 Satz 1 BOStrab Bahnkörper: Personen und die von diesen mitgeführten oder benutzten Gegenstände können nicht fahrlässig auf den Bahnkörper gelangen.
- § 31 Abs. 5 BOStrab vom Bahnsteig aus erreichbaren Gleisbereich: Videoüberwachung, Ansagen, Sicherheitsräume, Bahnsteigtüren
- Fahrzeuge
 - Türen für den Fahrgastwechsel
 - Abschaltinrichtungen

Die TRStrab FoF enthält keine Aussage über betriebliche Besonderheiten, alle aufgeführten Punkte betreffen unmittelbar die verkehrlichen Besonderheiten im Zusammenhang mit Fahrgästen des automatisierten Betriebs. Und nicht die eisenbahnbetrieblichen Besonderheiten, wie sie in einer Fahrdienstvorschrift niedergeschrieben wären.

Der sechste Abschnitt der BOStrab enthält die Anforderungen an den Betrieb in den §§ 49 bis 59. Für den Betrieb der U-Bahn Nürnberg mit Linienzugbeeinflussung LZV 524 gelten die

Anforderungen für das Fahren auf Zugsicherung. Neben dieser Art der Zugsicherung ist das Fahren auf Sicht in der BOStrab geregelt.

„Ein Zug darf einem anderen nur in einem solchen Abstand folgen, daß er auch bei ungünstigen Betriebsverhältnissen, insbesondere bei unvermutetem Halten des vorausfahrenden Zuges, rechtzeitig zum Halten gebracht werden kann. Dieser Abstand muß [...] bei Fahren auf Zugsicherung durch Zugsicherungsanlagen nach § 22 gewährleistet sein.“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2014)

„§ 22 Zugsicherungsanlagen

(1) Zugsicherungsanlagen sind Anlagen zum Sichern und Steuern des Fahrbetriebes. Sie dienen dazu,

1. die Fahrwege einzustellen und zu sichern,
2. den Zügen Aufträge über die Fahrweise zu übermitteln,
3. die Fahrweise der Züge technisch zu überwachen und bei gefährdenden Abweichungen zu beeinflussen.

(2) Fahrwege gelten als gesichert, wenn

1. mindestens der Bremswegabstand von sicherungstechnisch erfaßbaren Hindernissen frei ist und freigehalten wird,
2. die zugehörigen Weichen verschlossen sind und
3. die zulässigen Geschwindigkeiten bei den Aufträgen über die Fahrweise berücksichtigt sind.

Als sicherungstechnisch erfaßbare Hindernisse gelten fahrende und stehende Züge, Gleisenden sowie Fahrwege, die nicht gegen Flanken- oder Gegenfahrten gesichert sind.

(3) Zugsicherungsanlagen müssen zuverlässig und, soweit sie nicht ausschließlich dem Steuern des Fahrbetriebes dienen, signaltechnisch sicher sein.

(4) Zugsicherungsanlagen müssen so beschaffen sein, daß Aufträge zum Steuern nur in Abhängigkeit vom Sichern des Fahrbetriebes wirksam werden.

(5) Für Teile von Zugsicherungsanlagen, die auf Fahrzeugen angeordnet sind, gelten die Absätze 3 und 4 entsprechend.“

„Signalanlagen für Hauptsignale und Vorankündigungssignale nach Anlage 4 Nr. 1 und 2 müssen in Zugsicherungsanlagen nach § 22 eingebunden sein.“ Neben diesen gesonderten Signalen gibt es Signale für Fahrzeuge, die im Straßenraum verkehren. Diese Signale sind mit den Standorten der Wechsellichtzeichen des Straßenverkehrs gekoppelt und werden im weiteren nicht betrachtet, da die U-Bahn Nürnberg auf gesondertem Gleiskörper verkehrt.

Anlage 4 der BOStrab unterscheidet die folgenden Signale:

- Hauptsignale H
- Vorankündigungssignale V
- Fahrsignale F
- Abfertigungssignale A
- Zugsignale Z
- Geschwindigkeitssignale G
- Schutzsignale Sh
- Rangiersignale R
- Schaltsignale St
- Weichensignale W
- Überwachungssignale für Bahnübergänge Bü
- Sondersignale So

11.4 Durchführung der formalen Modellierung durch Anwendung des Werkzeuges

Akteure mit Informationsfluss

Relevant für eine Modellierung des Fahrens mit Zugsicherung sind die Punkte mit Akteuren, an denen Informationen fließen (vgl. Prozessschritt 2 aus Abschnitt 11.3). In diesem Regelwerk sind das die folgenden Akteure:

- Hauptsignal: H 0, H 1, H 2
- Vorsignal: V 0, V 1, V 2
- Geschwindigkeitssignale: G 1 a und b, G 2 a und b, G 3, G 4 (Lf-Signale)
- Sh 6 (Grenzzeichen)
- Zugspitze
- Zugschluss

Schnittstellen und Funktionen der Akteure

Den identifizierten Akteuren aus der vorangegangenen Auflistung müssen Funktionen und Schnittstellen zugeordnet werden (vgl. Prozessschritt 3 aus Abschnitt 11.3). Die einheitlichen Funktionen und Schnittstellen sind in Kapitel 10 beschrieben.

Alle Hauptsignalbegriffe werden durch den Akteur Hauptsignal übertragen, welcher die Funktionen und Schnittstellen des Akteurs Signal aus Abschnitt 10.2 übernimmt. Ebenfalls der Akteur Vorsignal übernimmt diese Funktionen und Schnittstellen.

Akteure mit Funktionen der Geschwindigkeitsanzeiger und -voranzeiger müssen ebenfalls an den Standorten der Haupt- und Vorsignale vorgesehen werden um die Begriffe V 2 und H 2 mit einer zusätzlichen Geschwindigkeitsbeschränkung zu signalisieren.

Die Geschwindigkeitssignale (Lf-Signale) G 2 a bis G4 übernehmen die Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Geschwindigkeitsanzeiger, das Lf-Signal die Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Geschwindigkeitsvoranzeiger.

Mit dem Signal Sh 6 hinter einer Weiche wird der Ort signalisiert, an dem im jeweiligen Strang der Weiche Fahrzeuge abgestellt sein oder verkehren können, ohne mit Fahrzeugen auf dem anderen Strang der Weiche zu kollidieren. Das Signal Sh 6 entspricht somit einen Gefahrpunkt und übernimmt die Funktionen und Schnittstellen des Akteurs Gefahrpunkt aus Unterabschnitt 10.3.1.

Zugspitze und Zugschluss übernehmen die in Abschnitt 10.2 beschriebenen Funktionen und Schnittstellen der Akteurs Zugspitze und Zugschluss sowie die Funktionen und Schnittstellen der logischen Gruppe Zug aus Abschnitt 10.4.

Zusammenfassung zu logischen Gruppen

Die Zusammenfassung zu logischen Gruppen ist entsprechen der vorliegenden Infrastruktur zu wählen. Die Abstraktionsregeln für die Zusammenfassung in logischen Gruppen sind in Abschnitt 9.6 dargestellt. Für dieses Anwendungsbeispiel wird keine konkrete Infrastrukturmodellierung in die Untersuchung miteinbezogen. Die möglichen logischen Gruppen sind:

- logische Gruppe Signal
 - Akteur Vorsignal
 - Akteur Sichtbarkeitspunkt Vorsignal
 - Akteur Hauptsignal
 - Akteur Sichtbarkeitspunkt Hauptsignal
 - Akteur Gefahrpunkt
- Logische Gruppe Zug
 - Zugspitze
 - Zugschluss

11.5 Beispielhafte formale Modellierung als ausführbares Modell

Im Folgenden werden beispielhaft eine Funktion und Schnittstelle eines der Akteure dieses Beispiels mit Pseudocode beschrieben. Hierfür werden die Informationsflüsse durch Kommunikation für das erste Inkrement der in Abschnitt 9.3 identifizierten grundlegenden betrieblichen Prozesse herangezogen. Die folgende Auflistung zeigt die Arten der Kommunikation für das erste Inkrement nach Unterabschnitt 9.7.1

- Erstes Inkrement:
 - Sichtbarkeitspunkt des Hauptsignals -> Meldung (Stopp) -> Zugspitze
 - Stellwerkslogik -> Auftrag (Stopp) -> logische Gruppe Signal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Gefahrpunkt/Hauptsignal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Sichtbarkeitspunkt
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Vorsignal
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Sichtbarkeitspunkt der Vorsignalisierung
 - logische Gruppe Signal -> Auftrag (Stopp) -> Gefahrpunkt/Hauptsignal

Schnittstellen und Funktionen des Sichtbarkeitspunktes

Um die Meldung „Stopp“ an die Zugspitze zu übertragen ist die Schnittstelle „Übermittlung des aktuellen Signalbegriffes“ des Akteurs Signal, der vom Akteur Sichtbarkeitspunkt erweitert wird, notwendig. Ebenso benötigt er eine Schnittstelle des „Akteurs der an Infrastruktur“, der durch den Akteur Signal erweitert wird: „Akteur wird mit Zugspitze eines bestimmten Zuges zu einer bestimmten Zeit befahren“. Eine mögliche Modellierung dieser Schnittstelle in Pseudocode:

```
Triggerfront (Train, time) {  
    Notify (Information, time)  
        HauptSig(STOP, nameSig)  
    pGen.setAccelBreakNull  
}
```

11.6 Zusammenfassung

Mit dem Anwendungsbeispiel in diesem Kapitel konnte gezeigt werden, dass die Abstraktionsregeln und Modellierungsprinzipien des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Werkzeuges auch auf andere betriebliche Regelwerke angewendet werden können. Zum Einsatz kamen hierbei der in Abschnitt 7.2 beschriebene Prozess zur Erstellung der formalen Modellierung, die Grundbausteine des formalen Modells nach Kapitel 8

12 Abschluss

Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren/Regeln zu entwickeln. Dieses Werkzeug besteht aus der Beschreibung der Prozessschritte der formalen Modellierung sowie aus den Grundbausteinen des formalen Modells zur Beschreibung von Betriebsverfahren und Regeln in Form von Akteuren und Kommunikationsprozessen.

Eingesetzte Methoden

Für die Erfassung der vorhandenen Beschreibungsmittel zur formalen Modellierung wurden eine Literaturlauswertung und eine Expertenbefragung in Form einer Fachinterviewreihe durchgeführt. Teil der Literaturlauswertung war ein Benchmarking zum Einsatz von formalen Beschreibungsmitteln in anderen Industriebereichen.

Aus der Analyse der Literatur sowie aus der Expertenbefragung ergaben sich Anforderungen an das zu erstellende Werkzeug, die in einem Anforderungskatalog in Abschnitt 4.2 gesammelt dargestellt sind.

Die Methoden zur Modellierung müssen gegen den aufgestellten Anforderungskatalog (vgl. Abschnitt 4.2) auf ihre Einsetzbarkeit hin geprüft werden. Die Einsetzbarkeit der Beschreibungsmittel zur formalen Modellierung wurde über eine vergleichende Bewertung beurteilt.

Für die Auswahl der Art der weiter zu untersuchenden Regelwerke wurde zunächst das gesamtgesellschaftliche relevante Ziel der sicheren Durchführung von Schienenverkehr als Primärziel definiert. Die Richtlinie, deren Inhalt formal modelliert wurde, musste selektiert werden. Um eine möglichst relevante Richtlinie auszuwählen, entstand zunächst ein Katalog von Unfallereignissen der letzten Jahre bei den deutschen und schweizerischen Eisenbahnen. Hierfür wurden Unfallberichte systematisch auf die Unfallursache hin untersucht und die Ereignisse in vier Cluster eingeteilt. Die ausgewählte Richtlinie soll eine Anwendung ermöglichen, die eine Verbesserung für das System Bahn durch ein Gegensteuern bei den häufigsten Unfallursachen erwarten lässt.

Die denkbaren Anwendungen, die sich aus der Expertenbefragung und einer strukturierten Analyse zu den möglichen Einsatzzwecken ergaben, wurden in einem Katalog gesammelt. In diesem Katalog sind die Use Cases der denkbaren Anwendungen beschrieben. Über eine vergleichende Bewertung wurde ein geeigneter Anwendungsfall für die ausgewählte Richtlinie selektiert. Unterschiedliche externe Einflüsse, wie die Anforderungen der zukünftigen Nutzer und die Herausforderungen bei der Erstellung einer Anwendung, die auf dem erstellten Werkzeug zur Modellierung basiert, wurden bei der Auswahl ebenfalls berücksichtigt.

Um das Werkzeug zur formalen Modellierung von in betrieblich-technischen Regelwerken festgehaltenen Betriebsverfahren und Regeln zu erstellen, wurden im Hauptteil der Arbeit Modellierungsregeln beschrieben und Spezifikationen für Schnittstellen und Funktionen dokumentiert.

Dieses Werkzeug besteht aus der Beschreibung der Prozessschritte der formalen Modellierung in Kapitel 7 und der Beschreibung der Modellierungsregeln für Grundbausteine des formalen Modells in Kapitel 8. Die Grundbausteine wurden in Kapitel 9 in Akteure und Informationsflüsse durch Kommunikation unterschieden. Aus den modellierten Akteuren und der aus den Betriebsverfahren hergeleiteten Kommunikation ergaben sich notwendige Schnittstellen mit anderen Akteuren und Funktionen der Akteure zur Durchführung der zu modellierenden Betriebsverfahren und Regeln. Diese Schnittstellen und Funktionen wurden in Kapitel 10 erarbeitet.

Die Eignung des erstellten Werkzeuges wurde an einem Anwendungsbeispiel überprüft.

Wesentliche Ergebnisse

Bisher gab es keinen Ansatz zur Überführung von Regelwerksinhalten betrieblicher Regelwerke in eine formale Modellierung und somit maschinenlesbare Form. Die betrieblichen Regelwerke sind den Grundstein für den Betrieb des Systems Bahn. Das entwickelte Werkzeug ist mit seinen abstrakt modellierten Akteuren und Kommunikationen einsetzbar zur formalen Modellierung von Betriebsprozessen und Regelwerken aus betrieblich-technischen Regelwerken der Eisenbahnen. Bei der Erstellung des Werkzeuges zeigte sich, dass die Betriebsprozesse der Richtlinie 408 auf wenige abstrakte Grundarten der Kommunikation zurückführbar sind, einige Spezialfälle wie der Betrieb von anzeigegeführten Zügen wurden jedoch ausgespart.

Erfüllung der Anforderungen

Bei der Auswahl des Beschreibungsmittels konnte gezeigt werden, dass eine formale Modellierung in einem ausführbaren Modell die gestellten Anforderungen an das Werkzeug erfüllen kann. Alle Muss-Anforderungen (Mensch kann das Modell erstellen, Modell ist für den Menschen lesbar, schnelle Laufzeiten einer Anwendung im Betrieb sowie Modellierung von Betriebsprozessen möglich) sind durch das gewählte Beschreibungsmittel gegeben.

Erkenntnisse

Im Bereich der Anwendung durch Autoren und die Zugänglichkeit für diese Autoren wurden Bedarfe für zukünftigen Schulungsbedarf aufgezeigt.

Nutzen der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit der Spezifizierung der Akteure, der Kommunikationsschnittstellen, der abstrakt klassifizierten Kommunikationsarten und der Funktionen der Akteure die Grundlage für eine ausführbare formale Modellierung für Anwendungsfälle im Eisenbahnbetrieb gelegt.

Inhaltliche Abgrenzung

Neben den Einschränkungen aus der inhaltlichen Abgrenzung – wie das nicht modellierte Verhalten des Triebfahrzeugführers und der nicht modellierten Stellwerkslogik – wurde im Rahmen dieser Arbeit kein ausführbares Modell erarbeitet. Funktionen der Akteure wurden beispielhaft im Anwendungsbeispiel in Pseudocode erstellt.

Ausblick

Ein ausführbares Modell bietet viele mögliche Vorteile in einer zukünftigen Anwendung. Eine formale Modellierung bringt eine Vereinheitlichung in der Definition mit sich, die Vorteile in der Kommunikation aller bei der Erstellung Beteiligten untereinander hat. Ein formales Modell in einem ausführbaren Modell bietet Anknüpfungspunkte an bestehende Werkzeugketten zur Führung formaler Nachweise und somit Möglichkeiten, zukünftig bereits in der Erstellung, aber auch bei der Genehmigung die Nachweisführung bei Neuentwicklungen und Änderungen von Betriebsverfahren und Regelwerken (teil)automatisiert zu unterstützen.

Literaturverzeichnis

- Balzert, Helmut (2008): Lehrbuch der Software-Technik. 2. Aufl. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl. (Lehrbücher der Informatik).
- Barrett, Clark; Davies, Misty; Kahsai, Temesghen; Gleirscher, Mario; Kugele, Stefan (Hg.) (2017): From Hazard Analysis to Hazard Mitigation Planning: The Automated Driving Case. NASA Formal Methods. Cham: Springer International Publishing.
- Bobaru, Mihaela; Havelund, Klaus; Holzmann, Gerard J.; Joshi, Rajeev; Salehi Fathabadi, Asieh; Rezazadeh, Abdolbaghi; Butler, Michael (Hg.) (2011): Applying Atomicity and Model Decomposition to a Space Craft System in Event-B. NASA Formal Methods. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Boehm, Barry W. (1988): A Spiral Model of Software Development and Enhancement. In: *Computer* (21 (5)), S. 61–72. DOI: 10.1109/2.59.
- Bosse, Gunnar (2010): Grundlagen für ein generisches Referenzsystem für die Betriebsverfahren spurgeführter Verkehrssysteme. Dissertation an der TU Braunschweig. Braunschweig.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2014): Technische Regeln für Straßenbahnen Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer (TRStrab FoF). Bund-Länder-Fachausschuss BOStrab. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/index.cfm/search/?trisation=search.detail&year=2014&num=436&dLang=DE#_ftn1, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (2018): Untersuchungsbericht. Gefährliches Ereignis im Eisenbahnbetrieb: Zugkollision, 09.02.2016, Bad Aibling–Kolbermoor. Hg. v. Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung. Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (2019): Publikationen. Untersuchungsberichte.
- Chhaya, Bharvi; Jafer, Shafagh; Durak, Umut (2018): Formal Verification of Simulation Scenarios in Aviation Scenario Definition Language (ASDL). In: *Aerospace* 2018.
- CNR; SIRTI (2019): Report on Analysis and on Ranking of Formal Methods. Hg. v. ASTRail Consortium. Online verfügbar unter <http://www.astrail.eu/download.aspx?id=bb46b81b-a5bf-4036-9018-cc6e7d91e2c2>, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- DB Netz AG (2008): Richtlinie 819.0203. LST-Anlagen planen: Signale für Zug- und Rangierfahrten: Vorsignale. Unter Mitarbeit von Christian Wilhelmi. Hg. v. DB Netz AG.
- DB Netz AG (2012): Richtlinie 819.0202. LST-Anlagen planen: Signale für Zug- und Rangierfahrten: Hauptsignale. Unter Mitarbeit von Christian Wilhelmi. Hg. v. DB Netz AG.
- DB Netz AG (2014): Ril 408 Fahrdienstvorschrift. Hg. v. DB Netz AG. Online verfügbar unter https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/regelwerke/betrieblich-technisch_regelwerke/betrieblich_technisches_regelwerk-4613476?contentId=1369926, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- DB Netz AG (2019): Ril 301 Signalbuch. Hg. v. DB Netz AG. Online verfügbar unter https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/regelwerke/betrieblich-technisch_regelwerke/betrieblich_technisches_regelwerk-4613476?contentId=1369926, zuletzt geprüft am 25.01.2020.

Der Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik (2015): V-Modell XT Bund Das Referenzmodell für Systementwicklungsprojekte in der Bundesverwaltung Version: 2.0. Online verfügbar unter: http://download.gsb.bund.de/BundesCIO/V-Modell_XT_Bund/V-Modell-XT-Bund-2.0-Gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2021

Dillmann, Stefan; Hähle, Reiner (2019): Automated Planning of ETCS Tracks. Auf: Reliability, Safety, and Security of Railway Systems. Modelling, Analysis, Verification, and Certification - Third International Conference, RSSRail 2019, Lille, France, June 4-6, DOI: 10.1007/978-3-030-18744-6_5

Dorfman, Merlin; H. Thayer, Richard (1997): Software Requirements Engineering: Wiley-IEEE Computer Society Pr.

Düpmeier, Frederik; Pejic, Miroslav ; Üyümez, Bilal (2020): Innovative Konzepte und Algorithmen für eine digitale LST (Teil 2); Strukturiertes Formalisieren am Beispiel des ETCS-Planungsregelwerks. In: Deine Bahn, 2020 (1/2020), S. 38-41. Bahn Fachverlag GmbH, ISSN 0948-7263

Endisch, Dirk (2003): Eisenbahn-Unfälle. Fakten, Analysen, Hintergründe. München (Nr. 67 = Jg. 14,6).

EULYNX Initiative (2017): Interface specification SCI-ILS. CENELEC Phase: 5 Version: 2.0 (0.A) EULYNX Baseline Set: 2. Hg. v. EULYNX Initiative.

RTCA DO-333, 13.12.2011: Formal Methods Supplement to DO-178C and DO-278A.

Gaudel, Marie-Claude; Woodcock, James; Hoare, Jonathan; Dick, Jeremy; Neilson, Dave; Sørensen, Ib (Hg.) (1996): Applying the B technologies to CICS. FME'96: Industrial Benefit and Advances in Formal Methods. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Gavin Lowe (1995): An attack on the Needham-Schroeder public-key authentication protocol. In: *Information Processing Letters (Volume 56, Issue 3)* 56 (3), S. 131–133. DOI: 10.1016/0020-0190(95)00144-2.

Gärtner, Jakob, Jastram, Michael; Mahlmann, Peter; Hase, Rüdiger, Hekele, Bernd; Karg, Stefan (2016): openETCS: Modellbasiert, agil und open Source – Ergebnisse aus dem ITEA2-Förderprojekt. In: ZEVrail Ausgabe Sonderheft Graz 2016 (Jahrgang 140).

Gerhart, Susan; Craigen, Dan; Ralston, Ted (1994): Case Study: Darlington Nuclear Generating Station. In: *IEEE Software (Volume 11)* 28, S. 30-39. DOI: 10.1109/52.251201

Gerke, Carsten; Bleidiessel, Joachim; Lodemann, Michael; Luttenberger, Norbert (2012): XML-Schemata zum Datenaustausch im Planungsprozess von elektronischen Stellwerken. In: *Eisenbahntechnische Rundschau (3)*, S. 48–51.

Gjaldbaek, Torben; Haxthausen, Anne E. (2003): IFAC Proceedings Volume (36) 14. Modelling and verification of interlocking systems for railway lines. Online verfügbar unter [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)32425-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)32425-4).

Goll, Joachim (2011): Methoden und Architekturen der Softwaretechnik. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-8348-8164-9.pdf>, zuletzt geprüft am 25.01.2020.

Gouw, Stijn de; Boer, Frank S. de; Bubel, Richard; Hähle, Reiner; Rot, Jurriaan; Steinhöfel, Dominic (2016): Verifying OpenJDK's Sort Method for Generic Collections. In: *Journal of Automated Reasoning*. DOI: 10.1007/s10817-017-9426-4.

Harris, D. R. (1986): A Hybrid Object and Constraint Representation Language. AAAI-86. Philadelphia, Pennsylvania, 1986.

Havelund, Klaus; Holzmann, Gerard; Joshi, Rajeev; Calcagno, Cristiano; Distefano, Dino; Dubreil, Jeremy et al. (Hg.) (2015): Moving Fast with Software Verification. NASA Formal Methods. Cham: Springer International Publishing.

Haxthausen, Anne E.; Peleska, Jan; Pinger, Ralf (2014): Applied Bounded Model Checking for Interlocking System Designs. In: Revised Selected Papers of the SEFM 2013 Collocated Workshops on Software Engineering and Formal Methods - Volume 8368: Springer-Verlag, S. 205–220.

Hon, Yuen Man (2009): Ein ingenieurgerechtes formales Verfahren für die Spezifikation von Stellwerksanforderungen. Dissertation an der TU Braunschweig. Braunschweig.

Hooman, Jozef (2016): Industrial Application of Formal Models Generated from Domain Specific Languages. In: *de Boer Festschrift* (LNCS 9660), S. 277–293. DOI: 10.1007/978-3-319-30734-3_19.

Höppner, Silko (2015): Generische Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen. Doctoral Thesis. ETH Zürich.

James, Phillip; Trumble, Matthew; Treharne, Helen; Roggenbach, Markus; Schneider, Steve (2013): OnTrack: An Open Tooling Environment for Railway Verification. In: Guillaume Brat, Neha Rungta und Arnaud Venet (Hg.): NASA Formal Methods. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 435–440.

James, Phillip; Lawrence, Andrew; Roggenbach, Markus; Seisenberger, Monika (2015): Towards safety analysis of ERTMS/ETCS Level 2 in Real-Time Maude. Auf: ETWG-RC Amsterdam 2015; Online verfügbar unter <http://www.cs.swan.ac.uk/~csmarkus/ETWG-RC/15-11-Presentations/james.pdf>, zuletzt geprüft am 30.05.2021.

Jenny, Bruno (2001): Projektmanagement in der Wirtschaftsinformatik. 5., unveränd. Aufl. Zürich: vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH (Wirtschaftsinformatik).

Kamburjan, Eduard; Hähnle, Reiner; Schön, Sebastian (2018): Formal modeling and analysis of railway operations with active objects. In: *Science of Computer Programming* 166, S. 167–193, Elsevier, ISSN 0167-6423

Klaus, Christoph; Buder, Jens; Brödel, Reiner (2015): Neue Werkzeuge in der LST-Planung mit PlanPro. In: *EI – Der Eisenbahningenieur* 07/2015, Hamburg.

Knollmann, V. (2007): UML-basierte Testfall- und Systemmodelle fuer die Eisenbahnleit- und -sicherheitstechnik. Deutsches Zentrum fuer Luft und Raumfahrt e.V., Braunschweig (Germany). Institut fuer Verkehrssystemtechnik. Online verfügbar unter <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21021900>, zuletzt geprüft am 20.01.2020.

Koo, Seo-Ryong; Seong, Poong-Hyun; Yoo, Jun-Beom; Cha, Sung-Deok; Youn, Cheong; Han, Hyun-Chul (2006): NuSEE: AN INTEGRATED ENVIRONMENT OF SOFTWARE SPECIFICATION AND V&V FOR PLC BASED SAFETYCRITICAL SYSTEMS. In: *Nuclear Engineering and Technology* 3 (3).

Löhr, Peter (2001): Verteilte Systeme. Vorlesung. Freie Universität Berlin, Berlin. Institut für Informatik. Online verfügbar unter www.inf.fu-berlin.de/lehre/WS01/VS/Lectures/vs1.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2018.

Ludewig, Jochen; Lichter, Horst (2013): Software Engineering. Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken. 3. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Luteberget, Bjørnar; Johansen, Christian (2018): Efficient verification of railway infrastructure designs against standard regulations. In: *Formal Methods in System Design* 52 (1), S. 1–32. DOI: 10.1007/s10703-017-0281-z.

-
- Marneffe, Marie-Catherine de; Dozat, Timothy; Silveira, Natalia; Haverinen, Katri; Ginter, Filip; Nivre, Joakim; Manning, Joakim (2014): Universal Stanford Dependencies: A cross-linguistic typology. Online verfügbar unter https://nlp.stanford.edu/pubs/USD_LREC14_paper_camera_ready.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- Mazzanti, Franco; Spagnolo, Giorgio Oronzo; Ferrari, Alessio (2014): Designing a Deadlock-Free Train Scheduler: A Model Checking Approach. In: Julia M. Badger und Kristin Yvonne Rozier (Hg.): *NASA Formal Methods*. Cham: Springer International Publishing, S. 264–269.
- McDonald, Ryan; Nivre, Joakim; Quirmbach-Brundage, Yvonne; Goldberg, Yoav; Das, Dipanjan; Ganchev, Kuzman et al. (2013): Universal Dependency Annotation for Multilingual Parsing. In: *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*, S. 92–97. Online verfügbar unter <https://www.aclweb.org/anthology/P13-2017>, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- Microsoft (2020): Project Everest - Verified Secure Implementations of the HTTPS. Online verfügbar unter <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/project-everest-verified-secure-implementations-https-ecosystem/>, zuletzt geprüft am 16.01.2021
- Miller, S.; Tribble, A.; Whalen, M.; Heimdahl, M. (2006): Proving the Shalls: Early Validation of Requirements through Formal Methods. In: *Software Tools for Technology Transfer 2006 (volume 8, number 4)*.
- Montigel, Markus (1994): Modellierung und Gewährleistung von Abhängigkeiten in Eisenbahnsicherungsanlagen. Doctoral Thesis. ETH Zürich.
- Moy, Y.; Ledinet, E.; Delseny, H.; Wiels, V.; Monate, B. (2013): Testing or Formal Verification: DO-178C Alternatives and Industrial Experience. In: *IEEE Software* 30 (3), S. 50–57. DOI: 10.1109/MS.2013.43.
- Muñoz, César; Carreño, Víctor; Dowek, Gilles (2006): Formal Analysis of the Operational Concept for the Small Aircraft Transportation System. In: Michael Butler, Cliff B. Jones, Alexander Romanovsky und Elena Troubitsyna (Hg.): *Rigorous Development of Complex Fault-Tolerant Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 306–325.
- NASA Langley Formal Methods Research Program (2016): What is Formal Methods? Online verfügbar unter <https://shemesh.larc.nasa.gov/fm/>, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- Németh, Ersébet; Bartha, Tamás; Fazekas, Csaba; Hangos, Katalin (2009): Verification of a primary-to-secondary leaking safety procedure in a nuclear power plant using coloured Petri nets. In: *Reliability Engineering System Safety*, 94(5), S. 942-953, DOI: 10.1016/j.res.2008.10.012.
- Newcombe, Chris; Rath, Tim; Zhang, Fan; Munteanu, Bogdan; Brooker, Marc; Deardeuff, Michael (2015): How Amazon web services uses formal methods. In: *Commun. ACM* 58 (4), S. 66–73. DOI: 10.1145/2699417.
- NN (2003): Barrierenstörung mit tragischen Folgen. In: *Eisenbahn-Revue international : Deutschland-Ausgabe*, 8-9. Luzern: Minirex AG, S. 339.
- Oetting, Andreas (2009): Vorlesungsunterlagen zur Veranstaltung Eisenbahnsicherungswesen I. Darmstadt.
- Oetting, Andreas (2019): Vorlesungsunterlagen zur Veranstaltung Verkehr I. Darmstadt.
- Pachl, Jörn (Hg.) (2015): *Das Sperrzeitmodell in der Fahrplankonstruktion*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (essentials).

-
- Partsch, Helmuth (2010): Requirements-Engineering systematisch. Modellbildung für softwaregestützte Systeme. 2. Auflage: Springer (eXamen.press).
- Prover: Interlocking Design Automation. The Process. Online verfügbar unter <https://www.prover.com/portfolio-items/white-paper-interlocking-design-automation-process/>, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- Ruijters, Enno; Stoelinga, Mariëlle (2016): Better Railway Engineering Through Statistical Model Checking. In: Tiziana Margaria und Bernhard Steffen (Hg.): Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation: Foundational Techniques. Cham: Springer International Publishing, S. 151–165.
- Rush, John; Henke, Friedrich von (1993): Formal verification of algorithms for critical systems. In: *IEEE Transactions on Software Engineering* 1993 (19(1):13).
- Rushby, J. (1995): Formal Methods and their Role in the Certification of Critical Systems. Technical Report CSL-95-1.
- Sango, Marc; Gransart, Christophe; Duchien, Laurence (2014): Safety component-based approach and its application to ERTMS/ETCS on-board train control system. Konferenzbeitrag auf der TRA2014 Transport Research Arena 2014. Paris, 2014.
- Schmidt, Alexander (2010): Entwicklung einer Methode zur Stammdatenintegration. Dissertation der Universität St. Gallen. St. Gallen.
- Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST (2019): Berichte. Ereignisberichte Bahnen und Schiffe. Bern.
- Souyris, J.; Wiels, V.; Delmas, D.; Delseny, H. (2009): Formal Verification of Avionics Software Products. In: *Formal Methods 2009* 2009.
- Specker, Adrian (2005): Modellierung von Informationssystemen. Ein methodischer Leitfaden zur Projektabwicklung. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Zürich: vdf Hochschulverlag, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- The Stanford Natural Language Processing Group (2019): Neural Network Dependency Parser, Online verfügbar unter <https://nlp.stanford.edu/software/nndep.html>, zuletzt geprüft am 25.01.2020.
- Wenzel, Benedikt; Wolf, Alexander; Schütte, Jörg; Jurtz, Steffen (2012): SAT.VALID – A new data validation tool for communication based train control system (such as ETCS). Konferenzbeitrag auf der ASPECT 2012. London, 2012.
- Wieczorrek, Hans W.; Mertens, Peter (2011): Management von IT-Projekten. Von der Planung zur Realisierung: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (xPert.press).
- Zafar, Nazir. (2016). Formal specification and analysis of take-off procedure using VDM-SL. Complex Adaptive Systems Modeling. 4. 10.1186/s40294-016-0014-y.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sequenzieller Ablauf von Schritten im Wasserfallmodell (Ludewig und Lichter 2013)	20
Abbildung 2: Spiralmodell nach Boehm (Boehm 1988)	21
Abbildung 3: Evolutionäre Entwicklung (Dorfman und H. Thayer 1997)	22
Abbildung 4: Darstellung eines möglichen inkrementellen Vorgehens mit mehreren Zwischenphasen aus (Jenny 2001)	23
Abbildung 5: V-Modell (Knollmann 2007)	24
Abbildung 6: Phasenmodell des RUP (Specker 2005)	25
Abbildung 7: Themen der Fachinterviewreihe	29
Abbildung 8: Vorgehen im Rahmen der Arbeit	43
Abbildung 9: Lebenszyklusschritte eines Softwareproduktes in Anlehnung an (Knollmann 2007)	58
Abbildung 10: Vereinfachter Prozess „Zugfahrt Durchführen“ zur Abfahrt von einem Bahnsteig	71
Abbildung 11: Bewegungszustände Zug nach (Oetting 2019)	75
Abbildung 12: Bewegungszustände Zug, angepasste Darstellung nach (Oetting 2019)	75
Abbildung 13: Schichtenmodell mit Akteuren der Infrastruktur auf einer Infrastrukturmodellierung	78
Abbildung 14: Schichtenmodell mit Infrastrukturmodellierung, Akteuren der Infrastruktur und Stellwerken	78
Abbildung 15: Schichtenmodell mit Infrastrukturmodellierung, Akteuren der Infrastruktur, logischer Gruppe Signal und Stellwerken	79
Abbildung 16: Sollsichtbarkeit bei Vorseignalen (DB Netz AG 2008)	80
Abbildung 17: Soll- und Mindestsichtbarkeit von Hauptsignalen (DB Netz AG 2012)	81
Abbildung 18: Zug im Schichtenmodell	82
Abbildung 19: Message Types nach SCI-LS (EULYNX Initiative 2017)	83
Abbildung 20: Systemgefährdungen aus (Oetting 2009)	88
Abbildung 21: Beispielhafte Informationsflüsse zum Fahrdienstleiter aus unterschiedlichen Quellen und zum Triebfahrzeugführer zur Erledigung betrieblicher Aufgaben	92
Abbildung 22: Schichtenmodell	97
Abbildung 23: Abhängigkeiten der Akteure an der Infrastruktur	121

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wortarten des Stanford Dependencies Parser nach (The Stanford Natural Language Processing Group 2019).....	9
Tabelle 2: Auszug aus den untersuchten Ereignissen.....	48
Tabelle 3: Häufigkeiten der Ursachen bei der durchgeführten Auswertung der Unfallberichte.....	48
Tabelle 4: Gewichtung der Bewertungsdimensionen.....	54
Tabelle 5: Zusammenfassung der teilformalisierten Bewertung der Anwendungsfälle.....	55
Tabelle 6: Normierte Bewertung der Anwendungsfälle.....	56
Tabelle 7: Bewertungsergebnis je Bewertungsdimension in Teilen von Hundert.....	56
Tabelle 8: Zielerfüllung der Beschreibungsmittel.....	67
Tabelle 9: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Zugspitze.....	114
Tabelle 10: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Zugschluss.....	115
Tabelle 11: Schnittstellen und Funktionen von Akteuren an der Infrastruktur.....	116
Tabelle 12: Schnittstellen und Funktionen von Signal.....	117
Tabelle 13: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Geschwindigkeitsanzeiger.....	118
Tabelle 14: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Geschwindigkeitsvoranzeiger.....	118
Tabelle 15: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Sichtbarkeitspunkt.....	118
Tabelle 16: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Gefahrpunkt.....	119
Tabelle 17: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Weichenanfang als Gefahrpunkt.....	119
Tabelle 18: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Zugbeeinflussungsinfrastrukturelement.....	120
Tabelle 19: Schnittstellen und Funktionen des Akteurs Wechsel des zuständigen Stellwerks.....	120
Tabelle 20: Schnittstellen und Funktionen des Stellwerks.....	122
Tabelle 21: Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppe Signal.....	123
Tabelle 22: Schnittstellen und Funktionen der logischen Gruppe Zug.....	124
Tabelle 23: Stadtbahnssysteme mit Communication Based Train Control Systemen.....	126
Tabelle 24: Stadtbahnssysteme mit Communication Based Train Control Systemen (Fortsetzung I).....	127
Tabelle 25: Stadtbahnssysteme mit Communication Based Train Control Systemen (Fortsetzung II).....	128

Abkürzungsverzeichnis

ATO	Automatic Train Operation
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
BTSF	Lastenheft zu den betrieblich-technischen Systemfunktionen
BÜSA	Bahnübergangssicherungsanlage
CBTC	Communication Based Train Control
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ERA	European Railway Agency
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
Fdl	Fahrdisensleiter
FV-NE	Fahrdienstvorschrift für nichtbundeseigene Eisenbahnen
GAF	Geschäftlichen Anwendungsfälle für die Leitung und Sicherung des Bahnbetriebs
HACMS	High-Assurance Cyber Military Systems
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LF-Signale	Geschwindigkeitssignale der BOStrab
LZB	Linienzugbeeinflussung
NLP	Natural Language Processing
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
Rgl	Rangierleiter
Ril	Richtlinie
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
RUP	Rational Unified Process
SATS	Small Aircraft Transportation System
SELTRAC	Standard Elektrik Lorenz Transport Control System
TCAS II	Traffic Alert and Collision Avoidance System
Tf	Triebfahrzeugführer
Tfz	Triebfahrzeug
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunter
WW	Weichenwärter

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Fragebogen zur Fachinterviewreihe

Anlage 2: Auswertung Unfallberichte

Anlage 3: Bewertung Anwendungsfälle

Anlage 1: Fragebogen zur Fachinterviewreihe

Fragen zum Interviewpartner

- Mit welcher Richtlinie sind Sie betraut?
- Wie ist Ihre Funktion bei der Erstellung/Pflege dieser Richtlinie?

Phase 1: Regelwerksentwurf

Anforderungsmanagement

- Welche Faktoren treiben die Definition neuer Anforderungen voran?
 - Erfahrungen aus der Praxis? Lernen aus Unfällen?
 - Neue betriebliche Aufgabenstellungen vom Betreiber?
 - Internes Bestreben?
 - Technische Weiterentwicklungen?
 - Regulierungsbehörde?
 - Aufsichtsbehörde?
- Inwiefern entstehen neue Anforderungen für alte, bereits existierende Regelwerke durch neue rechtliche Rahmenbedingungen?
 - Wie häufig tritt dieser Fall ein?
- Wie häufig treten neue Anforderungen durchschnittlich auf?
- Wie werden die Anforderungen erfasst?
 - Welche Tools (bspw. Doors) kommen zum Einsatz?
 - Werden formale (Beschreibungs-)Sprachen, etc. (bspw. UML, Zustandsdiagramme) verwendet?
- Wie wird Nachverfolgbarkeit/Traceability bei den Anforderungen sichergestellt?

Modularisierung

- Inwieweit wird bei der Spezifikation und der späteren Umsetzung auf europaweite (weltweite) Einsetzbarkeit Wert gelegt?
- Inwiefern existieren Bemühungen um eine systematische Umsetzung von Modularisierung (im Sinne von Regelwerksmodul)?
 - by design?
 - by construction?
 - by accident?

-
- Welcher Nutzen und welche Stolpersteine ergeben sich aus der Modularisierung (im Sinne von Regelwerksmodul) von Regelwerken?
 - Welche Regeln werden angewendet bzw. könnten angewendet werden?
 - Werden Tools eingesetzt? Wenn ja welche?
 - Welche Vor- und Nachteile durch die (Nicht-)Modularisierung wurden festgestellt?
 - Inwiefern besteht durch Modularisierung die Möglichkeit einer Kostenreduktion?
 - Inwiefern besteht durch Modularisierung die Möglichkeit einer Reduktion der notwendigen Bearbeitungszeit?
 - Inwiefern existieren Bemühungen um eine systematische Umsetzung von Modularisierung (im Sinne von Beschreibung eines Signals mit allen Eigenschaften sowie Funktionen und Nutzung dieses Moduls in verschiedenen Regelwerken)?
 - by design?
 - by construction?
 - by accident?
 - Ist eine weitere Modularisierung denkbar (im Sinne von Beschreibung eines Signals mit allen Eigenschaften sowie Funktionen und Nutzung dieses Moduls in verschiedenen Regelwerken)?
 - Ist die Sicht von EIU und EVU ggf. zu unterschiedlich?
 - In welchem Maße sind bereits erstellte Regelwerksmodule in einem neuen Regelwerk integrierbar?
 - Wo entstehen typische Kompatibilitätsprobleme?
 - Konzeptionelle Probleme?
 - Wie können einzelne Elemente weiterentwickelt werden?
 - Wie kann das Wissen im Unternehmen gesichert werden? Wie kann sichergestellt werden, dass spätere Ingenieurgenerationen auf Grundlage der Spezifikationen das Regelwerk weiterentwickeln können?
 - Wird Ihrer Meinung nach das Regelwerk durch Wiederverwendung von bereits genutzten Regelwerksmodulen sicherer?
 - Wie lange sind solche Weiterentwicklungs-Zyklen?
 - Inwieweit wird bei der Spezifikation auf spätere Wiederverwendbarkeit in anderen Projekten Wert gelegt?
 - Wie wird die Kompatibilität des gesamten modularisierten Werks bei Weiterentwicklung einzelner Module sichergestellt?
 - Variabilität einzelner Module

Entwurf

- Inwiefern erfolgt die Entwicklung im Team?
 - Wie groß ist ein Team?
 - Welche Verantwortungsbereiche gibt es (Modulverantwortlicher, etc.)
 - Wie kann eine Aufteilung der Arbeit aussehen?
 - Handelt es sich hierbei um mehrere Partner in der gleichen oder in anderen Abteilungen?
 - Wie beurteilen Sie die Aufteilung des Expertenwissens?
 - Wie wird sichergestellt, dass alle relevanten Partner informiert sind?

Phase 2: Realisierung und Genehmigung

Realisierung

- Werden Werkzeuge zur Visualisierung eingesetzt?
 - Wenn ja welche?
- Welche Aspekte werden ggf. visualisiert?
- Für welche Aspekte wäre aus Ihrer Sicht eine Visualisierung wünschenswert?
- Welche Automatismen, Methoden oder Software zur Qualitätssicherung gibt es?
 - Vollständigkeit
 - Formaler Nachweis
- Wie wird bei auftretenden Fehlern vorgegangen?
- Wie sieht die Zeitschiene vom Anforderungsmanagement bis zum neuen Regelwerk aus?
- Wie schnell kann mit Bekanntgaben auf dringende Sachverhalte reagiert werden?

Simulation

- Was simulieren Sie?
- Welche Analysen unterstützen Sie mit Simulationen?
- Sind die Analysen automatisiert?
- Was sind Kenngrößen, die sie als Simulationsergebnis erhalten und weiterverwenden?
- Was sollte aus Ihrer Sicht simuliert werden?
- Ist eine vollständige Simulation der Infrastrukturplanung oder Betriebsdurchführung in Software denkbar/möglich bzw. wird dies schon angewandt?
 - Wenn ja:
 - Vorgefertigte Szenarien?
 - Daten aus der Konserve?
- Inwiefern kann eine Simulation bereits frühzeitig in die Regelwerksentwicklung integriert werden?

Genehmigung

- Wie sieht der Genehmigungsprozess aus?
 - Welche Gremien gibt es?
 - Wie sind diese Gremien zusammengesetzt?
- Wer genehmigt ein fertiggestelltes Regelwerk?
- Wie sind die Anforderungen für ein erneutes Anstoßen des Genehmigungsprozesses?
 - Ab welchem Grad der Änderungen? (Rechtschreibfehler, Definitionsänderungen, ...)

Phase 3: Anwendung

Inkrafttreten

- Zeitlicher Ablauf beim Inkrafttreten?

Pflege

- Wie hoch ist die Lebensdauer der von Ihnen betreuten Regelwerke?
 - Wie häufig sind Aktualisierungen (ohne neue Anforderungen)?
 - Welchen Umfang besitzen solche Aktualisierungen? (Vgl. 0)
- Welche Ziellebensdauer sehen Sie in der Zukunft?
- Welche Formen der Wartung von Regelwerken existieren?
- Wie häufig werden nach Inkrafttreten noch Fehler gefunden?
 - Wie werden diese Fehler gefunden?
 - Aktive Suche?
 - Hinweise der Nutzer?
 - Lernen aus der Praxis/Unfälle?
 - Wie wird mit solchen Fehlern umgegangen?
 - Welche Auswirkungen haben Fehler auf die Gültigkeit des Regelwerks?
 - Inwiefern wird der gesamte Prozess ab „Phase 1: Regelwerksentwurf“ noch mal von vorne angestoßen?

Anwendung

- Wer ist die Zielgruppe des von Ihnen betreuten Regelwerks?
 - Ausbildung/Vorkenntnisse der Nutzer?
 - Wie muss die Verständlichkeit sein?
- Werden Prozessdarstellungen in diesem Regelwerk genutzt?
- Werden von den Nutzern nicht im Regelwerk vorhandene Prozessdarstellungen genutzt?
- Kann der Nutzer auf eine natürlichsprachliche Version des Regelwerks verzichten?
- Gibt es bereits solche Beispiele des Verzichts auf eine natürlichsprachliche Version?
 - Im eigenen Regelwerk?
 - In anderen Regelwerken?
- Sehen Sie Vorteile für den Nutzer, wenn ihm eine formal verfasste Version (z. B. UML-Diagramm) des Regelwerks zur Verfügung steht?
 - Z. B. nebeneinander auf einer Seite von UML-Ablaufdiagramm und aus UML abgeleitetem Text
 - Schneller Zugriff im Störfall durch Ablaufdiagramme?

Phasenübergreifende Fragen

- Wie ist insgesamt die Vorgehensweise bei der Regelwerkserstellung und -pflege? Werden Prozessmodelle wie das V-Modell oder Verfahren wie das iterative Test Driven Development eingesetzt?
 - Welche Prozessmodelle (wie V-Modell oder agile Methoden) werden eingesetzt?
 - Idealtypisch?
 - Real?
 - Wie wird mit „Best Practices“ verfahren?
 - Inwieweit wird Test First bzw. Test Driven Development angewandt?
 - Inwieweit wird Change Management angewandt?
 - Generell?
 - Für Anforderungen?
- Rechtliche Rahmenbedingungen:
 - Welche rechtlichen Rahmenbedingungen müssen beachtet werden?
 - Gesetze
 - Richtlinien
 - Verordnungen
 - Vorgaben
 - Wer haftet für was in welchem Umfang, wenn etwas nicht funktioniert?
 - Wer besitzt welche Rechte am Ergebnis?
- Phasenmodell Entwurf – Realisierung/Genehmigung – Anwendung:
 - Welche der Phasen ist besonders aufwendig?
 - In welcher Phase liegen besondere Gefahren?
 - Um welche Gefahren handelt es sich?
 - In welcher Phase liegen besondere Probleme?
 - Um welche Probleme handelt es sich?
 - Wie kann diesem Aufwand, aber auch den Gefahren und Problemen begegnet werden?
- Wie hoch ist die Dauer des Gesamtprozesses?

Wen können Sie uns noch als Teilnehmer für diese Befragung empfehlen?

Vielen Dank für Ihre Zeit und Unterstützung.

Anlage 2: Auswertung Unfallberichte

Für die Auswertung der Unfallberichte herangezogene Quellen:

Kurzname der Quelle	Quellenbeschreibung	Quellennachweis
1	Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung	(Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung 2019)
2	Schweizer Sicherheitsuntersuchungsstelle	(Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST 2019)
3	Eisenbahn-Unfälle: Fakten, Analysen, Hintergründe	(Endisch 2003)
5	Eisenbahnunfall von Schrozberg	(NN 2003)

A: Land	Ereigniszeitpunkt		D: Name	E: Ereignisart	F: Kurzbeschreibung der Ursache	Kategorie				K: ggfs. Empfehlung zur Anpassung der FV	L: Quelle
	B: Jahr	C: Datum				G: Fehlerverhalten	H: Technisches Versagen	I: Einwirkung von außen	J: Systemfehler		
Schweiz	2019	17. Feb.	Basel Badischer Bahnhof, BS	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2019	5. Feb.	Airolo, TI	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor (italienisch)						2
Schweiz	2018	23. Nov.	Chur, GR	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2018	25. Sep.	Realp, UR	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Unzureichend gegen Bewegung gesichertes Tfz entläuft	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2018	19. Sep.	Claro, TI	Unregelmäßigkeit mit Gefährdung (CH)	Durch Druck- und Sogkräfte bei Tunnelfahrt lösen sich an einem Tankcontainer auf Güterwagen seitlich die Blechverkleidung und ragen aus dem Lichtraumprofil hinaus; Bei Überprüfung des Containers hätten erste Schäden auffallen müssen	(✓ ✓)	✓				2
Schweiz	2018	17. Sep.	Zürich Hbf, ZH	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	Tf verwechselt und missachtet haltzeigendes Signal.	✓					2
Schweiz	2018	4. Sep.	Châtel-St-Denis, FR	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Pkw befährt einen mit Blinklichtern gesicherten, eingeschalteten BÜ und wird vom herannahenden Zug trotz Schnellbremsung erfasst.			✓			2
Schweiz	2018	16. Aug.	Basel RB, BL	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2018	11. Jul.	Castione-Arbedo, TI	Ladeverschiebung (CH)	Bei transportierter Baumaschine schwenkt die Führerkabine wegen unzureichender Sicherung aus dem Lichtraumprofil heraus; Sicherungsmaßnahmen waren an der Baumaschine nicht vorgesehen		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2018	5. Jul.	Eglisau, ZH	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2018	25. Jun.	Untervaz, GR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Ungleichmäßig mit Bewehrungseisen beladener Güterwagen entgleist	✓					2
Schweiz	2018	15. Jun.	Winterthur, ZH	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Übergabe-Förderband von aneinander gekoppelten Material-Förder- und Siloeinheiten wurde in falscher Stellung verriegelt und Wagen wurde bei enger Kurvenfahrt aus dem Gleis gehobelt	✓					2
Deutschland	2017	1. Mai.	Dortmund Hbf	Zugentgleisung (D)	Unbeabsichtigtes Anheben eines Rades im Bereich der Weichenzungenvorrichtung einer DKW		✓				1
Schweiz	2018	30. Apr.	Ringlikon, ZH	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2018	23. Mrz.	La Conversion, VD	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Infolge einer mangelhaften Planung wurde für das Befahren eines gesperrten Gleises zur Belieferung einer Baustelle ungeeignetes Rollmaterial ausgewählt, welches auf Anweisung von Personal ohne nötige Qualifikation geführt wurde, verwendet. Die Bremskraft reichte nicht aus, um rechtzeitig vor einem Prellbock zum Stehen zu kommen.	✓			✓		2
Schweiz	2018	6. Mrz.	Rivaz, VD	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Mangels einer Gleissperrung, unzureichender Arbeitsstellenplanung und fehlender Einweisung des Sicherheitschefs begibt sich eine Gruppe von Bauarbeitern mit einem Schienenwagen ("chariot") auf das offene, nicht gesperrte Gleis. Ein Zug kommt aus der entgegengesetzten Richtung und kollidiert mit dem Schienenwagen.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2018	20. Feb.	Cuxhaven	Zugkollision (D)	Fdl stellt Fahrweg, obwohl ein stehendes Triebfahrzeug auf einmündender Weiche den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1
Schweiz	2017	9. Dez.	Arnegg, SG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	29. Nov.	Aarau, AG	Unregelmäßigkeit ohne unmittelbare Gefährdung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	29. Nov.	Basel SBB, BS	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2017	22. Nov.	Luzern, LU	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Messfahrwerk einer Schienenschleifmaschine hat sich wegen nicht erfolgter Transportsicherung auf Schiene abgesenkt, versagt bei Rangierfahrt in Weiche und lässt Schleifmaschine entgleisen	✓					2
Schweiz	2017	14. Nov.	Vevey, VD	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Der Fdl hebt ohne Absprache mit dem Sicherheitschef eine Gleissperrung wegen Bauarbeiten auf. Wegen einer speziellen Lage der sich noch im Gleis befindenden Wagen meldet der Achszähler das Gleis als "frei". Es kommt zur Kollision eines automatisch auf das Gleis geleiteten Zuges mit den noch stehenden Wagen.	✓	✓				2
Schweiz	2017	6. Nov.	Biel, BE	Unregelmäßigkeit ohne unmittelbare Gefährdung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2017	2. Okt.	Zofingen, AG	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Rangierlokfürer rangiert mehrere Wagen mittels Funkfernbedienung in ein Stumpfgleis, überschätzt aber die dort zur Verfügung stehende Gleislänge und Rangierlok prallt gegen Prellbock	✓					2
Schweiz	2017	29. Sep.	Immensee, SZ	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	19. Sep.	Alp Grüm, GR	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	11. Sep.	Andermatt, UR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Fahrdienstleiter gibt Zustimmung zur Rangierfahrt ohne die entscheidende Weiche richtig zu stellen	✓					2
Schweiz	2017	1. Sep.	Brig, VS	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Ein vergessener Hemmschuh verkeilt sich im Herzstück der nächsten Weiche und führt zur Entgleisung.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2017	31. Aug.	Bern, Depot, BE	Kollision Rangierbewegung mit Rangierbewegung (CH)	Der Fdl in Ausbildung hat nicht die erwartete Fahrstraße eingestellt. Der Tf erwartet die gewöhnliche Fahrstraße und bemerkt nicht die andere Lage der Weiche. Als er diese überfährt, kann er nicht mehr rechtzeitig vor dem "Halt" zeigenden Zwergsignal anhalten und kollidiert seitlich mit einem Doppelstock-Triebwagen.	✓					2
Schweiz	2017	27. Jul.	Les Brenets, NE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Wegen schlechter Verarbeitung kommt es zu einem Achsbruch und damit zur Entgleisung.		✓				2
Schweiz	2017	25. Jul.	Visp, VS	Starkstromunfall (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2017	13. Jul.	Samstagern, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Bei einer Rangierfahrt auf eine Baustelle im Streckengleis mit einem Gefälle von 50 Promille kann der Tf keine ausreichende Bremskraft aufbringen und kollidiert mit dem stehenden Zweiwegebagger. Die Konstruktion der nachgerüsteten Feststellbremse behinderte die Funktion der Luftbremsen der MFS-Wagen soweit, dass sie nicht funktionstüchtig waren. Zum Unfall hat beigetragen, dass die geltenden Vorschriften bezüglich der Überprüfung der Bremsen die möglichen betrieblichen Verhältnisse bei Rangierfahrten auf gesperrten Gleisen nicht umfassend berücksichtigen.	(✓)	✓		(✓)	Das BAV sollte prüfen, ob die betrieblichen Vorschriften für Rangierbewegungen auf gesperrten Gleisen in Gefällen ausreichend sind und gegebenenfalls ergänzende Vorschriften erlassen.	2
Deutschland	2017	30. Jun.	Leese-Stolzenau	Zugkollision (D)	Fdl lässt Fahrt in ein besetztes Gleis zu (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2017	15. Mai.	Neustadt am Rübenberge – Hagen	Bahnübergangsunfall (D)	Fehlverhalten des BÜP und Missverständnisse bei Kommunikation mit Fdl	✓					1
Schweiz	2017	29. Apr.	Chiasso, TI	Kollision Rangierbewegung mit Rangierbewegung (CH)	Der Tf eines Triebzuges (T1) sollte an einen weiteren Triebzug (T2) ankuppeln. Da T2 wegen einer Verspätung noch nicht bereitsstand, stellte der Fahrdienstleiter für T1 die Fahrt nur bis vor die Weiche, über die T2 vorher in das Gleis einfahren musste. In der Erwartung, dass T2 schon bereitstehe, überfährt T1 das "Halt" zeigende Zwergsignal, schneidet die Weiche auf und bleibt auf der Weiche stehen, da er T2 nicht an erwarteter Stelle stehen sieht. Er erhält vom Fdl den Befehl unverzüglich zurückzusetzen. Tf von T1 will hierfür den Führerstand wechseln. Inzwischen fährt T2 jedoch in die Flanke von T1.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2017	28. Apr.	Ittigen, BE	Kollision Rangierbewegung mit Rangierbewegung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	29. Mrz.	Bern, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	22. Mrz.	Luzern, LU	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Deutschland	2017	13. Mrz.	Meppen	Personenunfall (D)	Fdl lässt Zufahrt über Weiche zu, obwohl er diese Weiche für Inspektionsarbeiten sperren sollte	✓					1
Schweiz	2017	22. Feb.	Müntschemier, BE	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2017	7. Feb.	Winterthur, ZH	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Aus ungeklärten Gründen fuhr ein Dumper von einer Gleisbaustelle quer über die Betriebsgleise und kollidierte seitlich mit einem verkehrenden Güterzug.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2017	1. Feb.	Gruiten	Einfahrt in besetz. Gleisabschn. (D)	Fdl lässt Fahrt in ein besetztes Gleis zu (mangelhafte Fahrwegprüfung); Fehlverhalten des Fdl beruht auf für ihn nicht vorliegendem Sonderfahrplan	✓					1
Schweiz	2017	18. Jan.	Hochdorf, LU	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Gleislagefehler: Bei der Vermessung der Gleislage im Bereich der Entgleisungsstelle zeigte sich zwischen der kurvenäusseren zur kurveninneren Schiene eine Absenkung von Minus 28 mm im Anlaufstrang der Zwischenpartie vom Weichenherz gegen das Gleis. Der bauartbedingt verwindungssteife Getreidewagen konnte die Gleisabsenkung im Betrag der Höhe des Spurkranzes nicht ausgleichen, wodurch das Rad aufkletterte und entgleiste.		(✓)				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	28. Nov.	Andermatt, UR	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Beim Abstellen einer Wagenzugkomposition hatte die Feststellbremse keine ausreichende Festhaltekraft. Durch das von der Rangierbremse unabhängige Bremsgestänge der Feststellbremse rieben die Bremsklötze nie gegen das drehende Rad und wurden nie an die Radlauffläche angepasst, gereinigt und aufgeraut. Für die Einstellung und Überprüfung der Feststellbremse besteht keine Vorschrift. (vgl. Unfallbericht 01.09.2016)		✓		✓		2
Schweiz	2016	24. Nov.	Lüscherz, BE	Personenunfall (CH)	Ein Radfahrer bleibt vor einem ungesicherten mit Andreaskreuzen gekennzeichneten BÜ stehen. Kurz bevor der Zug diesen überquert, fährt der Radfahrer aus ungeklärten Gründen los und wird vom Zug erfasst.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2016	28. Okt.	Köln-Eifeltor	Zugkollision (D)	Fdl stellt Fahrweg, obwohl ein stehendes Triebfahrzeug auf einmündender Weiche den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1
Schweiz	2016	20. Okt.	Yverdon les Bains, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Rgl lässt einen Rangierbegleiter in Ausbildung selbständig und unbeobachtet eine Rangierfahrt durchführen. Dieser überfährt dabei ein "Halt" zeigendes Zwergsignal, schneidet zwei Weichen auf und reagiert erst als er den einfahrenden Regionalzug erblickt.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	17. Okt.	Brenzikofen, BE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Ein Hemmschuh wurde vergessen und verkeilte sich im Herzstück der Weiche. Der Rgl hat seine Prüfung erst wenige Wochen zuvor abgelegt und noch nie von SBB Cargo gesicherte Wagen rangiert. (SBB Cargo sichert die Wagen mit zwei Hemmschuhen auf derselben Schienenseite in entgegengesetzter Richtung unter zwei hintereinander liegenden Achsen)	✓					2
Schweiz	2016	29. Sep.	Bern, BE	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Wegen eines zerstörten Achslagers kommt es zu einem Heißläufer. Der Tf kann die elektrische Bremse nicht mehr bedienen. An der Heißläuferortungsanlage wurde zuvor ein Wert von 79 °C, also 1 °C unter dem Grenzwert für den Warmalarm gemessen.		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	8. Sep.	Glattbrugg, ZH	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Fdl beachtet beim Einstellen einer Rangierfahrstraße nicht die Vorschrift, dass zwischen der fahrenden Rangierbewegung und einer Zufahrstraße mindestens zwei Zwergsignale "Halt" zeigen müssen. Gleichzeitig erwartet der Rgl eine freie Fahrt wie in den Nächten zuvor, reagiert nicht auf das "Fahrt mit Vorsicht" zeigende Zwergsignal und übermittelt den Haltbefehl vor dem "Halt" zeigenden Zwergsignal zu spät, sodass die Rangierbewegung ca. 20 cm vor dem Lichtraumprofil der S- Bahn zum Stehen kommt. Der Tf der S-Bahn sieht die Rangierkomposition und hält rechtzeitig an.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	5. Sep.	Chur, GR	Kollision Zug mit Zug (CH)	Der Tf verwechselt bei der Abfahrt als Rangierbewegung vor dem Übergang in eine Zugfahrt den Fahrtstellungsmelder eines anderen Gleises. Als er den Fehler bemerkt, leitet er eine Schnellbremsung ein. Es kommt zur Streifkollision mit dem anderen ausfahrenden Zug.	✓					2
Schweiz	2016	1. Sep.	Andermatt, UR	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Beim Abstellen einer Wagenzugkomposition hatte die Feststellbremse keine ausreichende Festhaltekraft. Durch das von der Rangierbremse unabhängige Bremsgestänge der Feststellbremse rieben die Bremsklötze nie gegen das drehende Rad und wurden nie an die Radlauffläche angepasst, gereinigt und aufgeraut. Für die Einstellung und Überprüfung der Feststellbremse besteht keine Vorschrift.		✓		✓		2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	30. Aug.	Zürich HB, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Nach Übermittlung des Befehls "Wagenlang" durch den Rgl leitet der Tf mit dem Tf in Ausbildung die Bremsung ein und quittierte dies, wobei dieser Befehl nicht beim Rgl ankam. Da die Bremsung aber eingeleitet wurde, nahm er an, dass alles ordnungsgemäß verlief. Die weiteren vom Rgl übermittelten Befehle kamen nicht bei den Tf an. Die Verbindungüberwachung war jedoch noch eingeschaltet und die Beteiligten gingen von einem reibungslosen Ablauf aus bis der Zeitpunkt eintrat, an dem die Kollision mit dem Prellbock nicht mehr zu verhindern war. Das Nichtverstehen der Befehle ist vermutlich auf eine Fehlbedienung der Funkgeräte zurückzuführen.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	22. Aug.	Schönbühl, BE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Aufgrund einer vorgängigen nicht gemeldeten Aufschneidung einer Handweiche kommt es zur Entgleisung einer Rangierkomposition.	✓					2
Schweiz	2016	8. Aug.	Hohtenn, VS	Brand (CH)	Aufgrund eines Defekts des Hochspannungstufenschalters kommt es im Maschinenraum der Lok zu einer Explosion und Brand.		✓				2
Schweiz	2016	26. Jul.	Les Brenets, NE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Wegen des schlechten Zustands und unvorteilhafter Verarbeitung der Achse kommt es zum Achsbruch am Schienenfahrzeug. Der Zug entgleist bei einer Geschwindigkeit von etwa 25 km/h.		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	19. Jul.	Wettingen, AG	Unregelmäßigkeit ohne unmittelbare Gefährdung (CH)	Während einer Rangierbewegung schaut der Rgl nach hinten und verliert kurz die Orientierung. Als er sich umdreht erkennt er ein "Fahrt mit Vorsicht" zeigendes Zwergsignal, was sich jedoch auf das Nachbargleis mit eingestellter Zugfahrstraße bezieht. Das für das eigene Gleis geltende "Halt" zeigende Zwergsignal sieht er nicht und die Rangierbewegung schneidet eine Doppelkreuzungsweiche auf. Da die S-Bahn, für die die Zugfahrstraße eingestellt wurde, dieselbe Weiche befahren sollte, fällt das Hauptsignal auf "Halt" und die S-Bahn bleibt stehen.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	16. Jul.	Gwatt, BE	Starkstromunfall (CH)	<p>Der Mitarbeiter einer Fremdfirma besteigt einen abgestellten Wagen mit Wechselbehälter, um auf diesem den GPS-Tracker auszutauschen, kommt dabei mit der Fahrleitung in Kontakt und erleidet einen Stomschlag. Die Arbeit war ohne Vorliegen des Auftrags durch das Transportunternehmen und ohne Kontaktaufnahme zum EIU erfolgt. Der Prozess sieht vor, dass das Transportunternehmen dem Dienstleister den Ort zur Reparatur mitteilt. Dieser befindet sich in der Regel außerhalb der Gleisanlagen bei abgeladenen Wechselbehältern.</p>			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	16. Jul.	Chiasso SM, TI	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	Eine Rangierbewegung wird so im Gleis abgestellt, dass der Tf das direkt vor ihm liegende Zwergsignal nicht sehen kann ohne aufzustehen. Er sieht das "Fahrt" zeigende Zwergsignal der Zugfahrstrasse des parallel ausfahrenden Güterzuges und fährt ab. Er bemerkt den Güterzug, kann die Kollision aber nicht mehr vermeiden. An der Infrastruktur existierten keine spurbewirkten Schutzelemente oder eine Zugbeeinflussung für die Rangierbewegung.	✓				"Das BAV sollte prüfen, ob die bestehenden Vorgaben für die risikoorientierte Prüfung von Gefährdungen von Zugfahrstrassen durch Rangierbewegungen ausreichend sind."	2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	11. Jul.	Luzern, LU	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	"Verbremsen": Ein erfahrener Tf leitet bei der Einfahrt in ein besetztes Gleis, die Bremsung einige Meter zu spät ein, sodass er mit ca. 5 km/h mit der abgestellten Messzugkomposition kollidiert. Die Besetztanzeige war vorhanden und wurde vom Tf wahrgenommen.	✓					2
Schweiz	2016	15. Jun.	Zweisimmen, BE	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Lkw befährt trotz funktionierender Blinklichtanlage und Achtungssignal des Zuges den BÜ und wird trotz Schnellbremsung vom Zug erfasst.			✓			2
Schweiz	2016	8. Jun.	Neuchâtel Les Deurres, NE	Personenunfall (CH)	Eine Person durchquert die geschlossenen Schranken an einem BÜ. Als der herannahende Zug sich durch ein Achtungssignal bemerkbar macht und eine Schnellbremsung einleitet, will sich die Person beeilen, stolpert dabei über das erste Gleis, stürzt und wird vom Zug erfasst.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	8. Jun.	Olten, SO	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Während der Fahrt mit einem Dienstwagen auf einer Strecke mit hoher Längsneigung löst sich die Kuppelverbindung zwischen Dienstwagen und Zweiwegebagger. Der Dienstwagen verfügte über keine automatische Bremseinrichtung bei Zugtrennung. Der entlaufene Zweiwegebagger überfährt mehrere BÜ und entgleist vor Einfahrt in den nächsten Bahnhof auf einer Schutzweiche. Es konnten keine mechanischen Ursachen für die Trennung der Kuppelstelle gefunden werden.				✓	Das BAV sollte prüfen, ob die geltenden Vorschriften bezüglich ungebremster Fahrzeuge im Rangierdienst auf die unumgänglichen Situationen beschränkt werden sollen oder allenfalls ergänzende Vorgaben nötig sind.	2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	5. Jun.	Horw, LU	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung des Reisezuges ist darauf zurückzuführen, dass sich das Bremszahnrad im hinteren Laufdrehgestell des ersten Reisezugwagens soweit absenkte, bis es bei einer Gleisdurchschneidung anstieß und das Laufdrehgestell aus den Schienen hebelte. Das Bremszahnrad senkte sich, weil die Befestigungsschrauben der Halterung nicht angezogen waren und sich in der Folge durch die auftretenden Vibrationen während der Fahrten nach und nach gelockert und vollständig herausgedreht hatten. Bei der Instandhaltung des Reisezugwagens wurde ein individueller Montagefehler nicht erkannt.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	4. Jun.	Ermatingen, TG	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Beim Abstellen von Reisezugwagen wurden diese nicht ordnungsgemäß gegen Wegrollen gesichert. Sie setzten sich in Bewegung und fuhren aufs Streckengleis und über einen noch geschlossenen und weitere offene BÜ. Durch Kontaktaufnahme mit der noch in den Wagen befindlichen Mitarbeiterin des Caterings konnte diese die Wagen notbremsen.	✓					2
Schweiz	2016	31. Mai.	Zürich Hardbrücke, ZH	Baustelle (CH)	Kurz nach Beginn der Gleisarbeiten rutschten zwei Gleisjoche von der Gleisbaumaschine herunter auf das nebenliegende, sich im Betrieb befindende Gleis. Der herannahende Zug konnte rechtzeitig vom Sicherheitswärter gestoppt werden. Für das Abrutschen der Gleisjoche konnte keine plausible Ursache ermittelt werden.						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	24. Mai.	Bassersdorf, ZH	Entgleisung Rangier- bewegung (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2016	20. Mai.	Interlaken Ost, BE	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	18. Mai.	Widnau, SG	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	<p>Eine Rangierfahrt versucht zwei Wagen aufzunehmen, die nur mit Luftbremse gegen Wegrollen gesichert waren und setzt diese bei dem Versuch sie anzukuppeln in Bewegung. Der Versuch die Wagen anzukuppeln gelingt erst beim dritten Mal nach ca. 20 Metern. Die Rangierbewegung kommt dann nicht mehr rechtzeitig vor den unangemeldet im Gefahrenbereich des Anschlussgleises unangemeldet durchgeführten Arbeiten zum Stehen. Vor dem Anfahren an die Wagen erfolgte keine Kontrolle auf ordnungsgemäße Sicherung durch die Mitarbeiter der Firma des Gleisanschlusses.</p>	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	11. Mai.	Oberrieden Dorf, ZH	Baustelle (CH)	Das Umkippen eines Zweiwegbaggers ist darauf zurückzuführen, dass die Pendelachse mit angehobenem Schienenrad gesperrt war, was in der Folge zu einem Abrutschen vom Gleis und zum Umstürzen des Baggers führte. Weshalb die Pendelachse mit angehobenem Schienenrad gesperrt war, konnte nicht nachvollzogen werden.						2
Schweiz	2016	28. Apr.	Estavayer-le-Lac, FR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Fdl hat vergessen, eine Weiche für die angeforderte Rangierfahrt umzustellen. Als der Tf das bemerkt kann er nicht mehr rechtzeitig vor den abgestellten Wagen im "falschen" Gleis bremsen.	✓					2
Schweiz	2016	26. Apr.	Corcapolo, TI	Kollision Zug mit Zug (CH)	italienischer Bericht						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	9. Apr.	Sonvilier, BE	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Bei der Zusammenstellung eines Zuges wurden zwei Wagen vergessen angekuppelt zu werden. Der Rest des Zuges fährt los. Die zurückgebliebenen Wagen setzen sich wegen der hohen Gleisneigung ebenfalls in Bewegung. Der Arbeiter, der sich auf dem zurückgebliebenen Wagen befand, versuchte, die Bremse zu ziehen, was ihm jedoch nicht gelang, sodass er absprang. Da der Zug an einem BÜ warten musste, liefen die Wagen auf den Zug auf.	✓					2
Schweiz	2016	1. Apr.	Stein-Säckingen, AG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Der Tf der Rangierbewegung fuhr in der Überzeugung freie Fahrt ins Zielgleis zu haben über ein Halt zeigendes Zwergsignal und wurde von einer Schutzweiche in den Schotter geführt.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	31. Mrz.	Chur, GR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Rgl fordert die Fahrt in das falsche Gleis an, welches schon belegt ist. Er bemerkt dies zu spät, sodass es zur Kollision kommt.	✓					2
Schweiz	2016	29. Mrz.	Zürich Altstetten, ZH	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Ein Tf überfährt während seiner Rangierbewegungen zwei Mal ein Halt zeigendes Zwergsignal und setzt den Zug jeweils ohne Rücksprache mit dem Fdl wieder zurück.	✓					2
Deutschland	2016	20. Mrz.	Neufahrn – Eggmühl	Zugkollision (D)	Bediener einer Schotterplaniermaschine schwenkt Schotterpflug eigenmächtig in das Lichtraumprofil des Nachbargleis', wo es zur Kollision mit herannahendem Zug kommt	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	8. Mrz.	Fiesch, VS	Brand (CH)	Die Explosion im Maschinenraum des Triebwagens ist auf die Entzündung verdampften Stufenschalterisoleröls aus dem nicht korrekt eingestellten Stufenschalter durch einen Lichtbogen beim Öffnen der Motortrennhüpfen zurückzuführen. Zum Ereignis die fehlende Drucküberwachung des Stufenschalters beigetragen.		(✓)		(✓)		2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	1. Mrz.	Huttwil, BE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Bei einer geschobenen Rangierbewegung kommt es zu witterungsbedingten Beeinträchtigungen in der Verständlichkeit der Funkverbindung zwischen Tf und Rgl. Statt umgehend anzuhalten, verringert der Tf nur die Geschwindigkeit. Bei der Fahrt auf eine Entgleisungseinrichtung übermittelt der Rgl wiederholt den Befehl "Halt", was der Tf jedoch erst beim zweiten Mal versteht. Der Tf kann trotz Schnellbremsung nicht mehr rechtzeitig anhalten und die Komposition entgleist auf der Entgleisungsvorrichtung.	✓	(✓)				2
Deutschland	2016	24. Feb.	Hameln	Störung durch betriebl. Fehlhandl. (D)	Fdl lässt mehrmalig Fahrt in Richtung einer eingleisigen Strecke zu, obwohl sich auf der Strecke noch ein entgegenkommender Zug befindet	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2016	23. Feb.	Pinneberg – Hamburg-Eidelstedt	Einfahrt in besetz. Gleisabschn. (D)	Fdl lässt Fahrt in einen besetzten Gleisabschnitt zu (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1
Schweiz	2016	20. Feb.	Sihlbrugg, ZH	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Ein Güterwagen wurde nicht profilmäßig abgestellt. Bei Vorbeifahrt eines historischen Dampfzuges kollidierte dieser mit dem Güterwagen. Der Fdl hat bei Dienstantritt den Arbeitsstellenkoordinator drei Mal nach der ihm angezeigten Gleisbelegung (Achszähler) gefragt, der ihm jedoch jedes Mal - und beim dritten Mal nach Aufforderung sich im Gelände der Tatsache zu vergewissern - das Freisein des Gleises bestätigte. Daraufhin löschte der Fdl die Belegung.	✓					2
Schweiz	2016	18. Feb.	St-Triphon, VD	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Eine bereits aufgeschnittene Weiche wird überfahren und es kommt zur Entgleisung.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	13. Feb.	Koblenz, AG	Sonstiges (CH)	Beim Überfahren eines Kugelgrills im Gleis bohrte sich eine Metallstange zwischen das Schutzgitter in die Kühllamellen des Trafo-Kühlkreislaufes und riss ein Loch in den Kühler, aus dem Öl auslief. Das Absinken des Öldrucks verursachte eine Fahrsperrung. Statt umgehend eine visuelle Kontrolle durchzuführen wurde der Zug über mehrere Stunden abgestellt und dann ins Depot überführt, sodass mehr Öl als nötig den Gleisbereich kontaminierte.	(✓)		✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	12. Feb.	Altdorf, UR	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Trotz vorigem Besprechen des Betriebsablaufs geht der Tf des Zuges davon aus, dass auf der anderen Seite eine weitere Lok angekuppelt wird, um in die Gegenrichtung zu fahren. Dementsprechend betätigt er am Führerstand die hierfür notwendigen Maßnahmen (Lösen der Bremse, Stellen des Bremsventils auf Abschluss, Umstellen des Wendeschalters). Tatsächlich sollen aber nur einige Wagen mit einer Rangierlok weggezogen werden. Diese fährt mit den Wagen los und der restliche Zug rollt wegen der gelösten Bremse langsam hinterher. Als die Rangierbewegung den Bereich der Fahrstraße verlassen hat, wird die Entgleisungsvorrichtung wieder scharf geschaltet und der rollende Zug entgleist auf dieser.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2016	9. Feb.	Bad Aibling-Kolbermoor	Zugkollision (D)	Diverse Fehlhandlungen des Fdl	✓					1
Schweiz	2016	28. Jan.	Giesshübel, ZH	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Tf einer Rangierfahrt fuhr die Rangierbewegung zu weit bis auf das Streckengleis und schnitt dabei die Weiche auf, dadurch wurde die für eine S-Bahn bereits gestellte Zugfahrstraße aufgelöst und der Tf der S-Bahn sieht noch rechtzeitig das auf Halt gestellte Signal und leitet eine Schnellbremsung ein.	✓					2
Schweiz	2016	25. Jan.	Birsfelden Hafen, BL	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Nur einer der beiden Hemmschuhe wurde vor der Fahrt entfernt. Der Hemmschuh verkeilte sich im Herzstück der folgenden Weiche und verursachte die Entgleisung.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2016	20. Jan.	Zürich Mülligen, ZH	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren kam es zur einseitigen Entlastung der Radsätze und damit zur Entgleisung: vorbestehende Puffertellerbeschädigungen, zu hohe Pufferdrücke (folglich zu hohe Querkräfte am Wagenende), geschobene leere Wagen über ablenkende Weiche	(✓)					2
Schweiz	2016	13. Jan.	Zürich Schweighof, ZH	Personenunfall (CH)	Der Arm einer Reisenden wurde in der Tür eingeklemmt. Der nicht dem Stand der Technik entsprechende Einklemmschutz hat den Vorfall nicht erkannt und auch der Tf hat keine Unregelmäßigkeit festgestellt, da seine Sicht nach hinten eingeschränkt war.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	31. Dez.	Sugnens, VD	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Der Tf hält vor einer Handweiche, um diese umzustellen. Er bringt sie jedoch nicht in Endlage, sodass es beim Befahren der Weiche zur Entgleisung kommt.	✓					2
Schweiz	2015	29. Dez.	Witimatte, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2015	18. Dez.	Faido, Pianotondo, TI	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Der Türflügel eines Güterwagens war nicht verriegelt und öffnete sich bei der Fahrt durch einen Tunnel, schlug gegen die Tunnelwand, landete auf dem Gleis und brachte das hintere Drehgestell des Wagens zum Entgleisen.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	16. Dez.	Härkingen, SO	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Während einer Rangierfahrt übergibt der Tf die Verantwortung an den Tf in Ausbildung, der erst über 3-wöchige Fahrpraxis verfügte. Kurz zuvor wurden sie von Arbeitern abgelenkt, die das Gleis unangemeldet überquerten, sodass sie vergaßen, wie zuvor, die überfahrenen Signale zu quittieren. Der Tf in Ausbildung nimmt die Fahrt in gleicher Richtung wieder auf, obwohl gewendet hätte werden sollen. Der Tf greift zu spät ein und die Rangierbewegung schneidet eine Weiche auf und verletzt die Fahrstraße eines noch stehenden Güterzuges, die daraufhin zurückgenommen wird. Als weiterer Faktor trug zum Unfall die bestehende Verspätung bei.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	25. Nov.	Basel GB, BS	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Eine bereits im Voraus aufgeschnittene Weiche wird überfahren und bringt die Rangierbewegung zum Entgleisen. Die Aufschneidung der Weiche wurde dem IH-Personal nicht gemeldet.	✓					2
Schweiz	2015	24. Nov.	Rotkreuz, ZG	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung ist darauf zurückzuführen, dass beim Bremsen des Zuges die hinteren schweren Wagen die vorderen leichten Wagen im S-Bogen-förmigen Fahrweg aus den Schienen drückten.				✓		2
Schweiz	2015	24. Nov.	Rangierbahnhof Limmattal, ZH	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Verursacht durch die Konstellation von schweren und leichten Wagen kam es zu einer Entgleisung.				✓		2
Schweiz	2015	21. Nov.	Olten, SO	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Eine bereits im Voraus aufgeschnittene Weiche wechselt beim Überfahren durch einen Güterzug ihre Lage und bringt die Wagen zum Entgleisen. Die Aufschneidung der Weiche wurde dem IH-Personal nicht gemeldet.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2015	20. Nov.	Emden Rbf	Zugkollision (D)	Fdl stellt Fahrweg, obwohl ein stehendes Triebfahrzeug den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1
Deutschland	2015	17. Nov.	Schleswig	Zugkollision (D)	Fdl stellt Fahrweg, obwohl eine stehende, gleisgebundene Baumaschine auf einmündender Weiche den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1
Schweiz	2015	17. Nov.	Dietikon, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Eine Rangierbewegung nimmt eine Rangierfahrt in den nicht zentralisierten Bahnhofsbereich vor. In der Erwartung einer hindernisfreien Fahrt überfährt der Tf das "Fahrt mit Vorsicht" zeigende Rangiersignal ohne den außerplanmäßig im nicht zentralisierten Bereich des Bahnhofs abgestellten, unbeleuchteten Dienstzug zu bemerken. Kurz darauf kommt es zur Kollision.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutsch-land	2015	16. Nov.	Rbf Wustermark	Zugkollision (D)	Tf rangiert eigenmächtig wegen einer Verwechslung in die falsche Fahrtrichtung und kollidiert mit herannahendem Zug	✓					1
Schweiz	2015	13. Nov.	Yverdon, VD	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Tf einer Rangierbewegung fragt eine Rangierfahrstraße bis zum Zielort an. Der Fdl antwortet ihm, dass er jedoch vorerst nur bis ins Gleis 6 fahren könnte, welches durch einen Güterzug belegt war, was er dem Tf jedoch nicht mitteilt. In der Erwartung eines freien Gleises fährt der Tf am "Fahrt mit Vorsicht" zeigenden Zwergsignal vorbei und kann nicht mehr rechtzeitig vor dem Güterzug anhalten.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	12. Nov.	Trois-Villes, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Während noch eine Rangierkomposition im Einfahrgleis steht, stellt der Fdl eine Zugfahrstraße für einen herannahenden Zug aus der selben Richtung. Der Tf der Rangierkomposition bemerkt, dass sich entgegen der Absprache mit dem Fdl die entsprechende Weiche umgestellt hat. Er fährt in das Bahnhofsgleis ein und als er sieht, dass im befahrenen Gleis ein Hauptsignal für die Regionalbahn auf "Fahrt" gestellt wurde, kontaktiert den Tf der herannahenden Regionalbahn mit der Anweisung vor der Einfahrt in den Bahnhof zu halten. Durch das Befahren des Gleises durch die Rangierkomposition ist das Einfahrsignal bereits auf Halt gestellt worden. Als der Fdl den Fehler merkt, stellt er auch das Ausfahrtsignal auf Halt zurück. Im Stellwerk existiert keine durchgängige Gleisfreimeldung.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2015	5. Nov.	Vilseck – Freihung	Bahnübergangsunfall (D)	Sattelzug hat sich auf BÜ festgefahren und wird von herannahendem Zug gerammt			✓			1
Deutschland	2015	9. Okt.	Offenburg – Gengenbach	Zugentgleisung (D)	Tf missachtet Signal und fährt dadurch mit überhöhter Geschwindigkeit in Überleitverbindung	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	2. Okt.	Baulmes, VD	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	<p>Der Tf bekommt wegen eines Kabelschadens im Sicherheitsgerät zwei Mal eine Zwangsbremmung ausgelöst. Da er den Grund dafür nicht finden kann, nimmt er unter Druck mehrere unüberlegte Bedienungen am Führerstand vor, welche die Bremsleistung vermindern. Als er sich nicht im Führerstand befand, setzte sich der Zug aufgrund des starken Gefälles in Bewegung.</p> <p>Der Tf betätigte die Handbremse, jedoch ohne Wirkung. Als er die Gefahr erkannte und sich sicher war, dass keine Fahrgäste im Zug waren, sprang er ab und alarmierte anschließend Fdl und Leitzentrale. Der Zug entgleiste bei einer Geschwindigkeit von 85 km/h.</p>	✓	(✓)				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	29. Sep.	Bergün, GR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Eine Rangierbewegung kommt auf einem mit Flugrost und morgendlichem Tau bedeckten Stumpfgleis nicht rechtzeitig zum Stehen und durchbricht einen Prellbock. 30 Meter vor dem Prellbock hatte die Lok noch eine Geschwindigkeit von 20 km/h.	✓		(✓)			
Schweiz	2015	23. Sep.	Riedholz, SO	Personenunfall (CH)	Ein Jagdaufseher wählt zur Rückkehr zum Auto den Weg über das Streckengleis in schwierigem Gelände. Er trug keine Warnausrüstung und die Unterscheidung der Straßenbeleuchtung vom herannahenden Zug war schwierig sowie das akustische Wahrnehmen des Herannahenden Zuges. Er wird vom Zug erfasst.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	23. Sep.	Winterthur, ZH	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Tf einer Rangierbewegung steht aufgrund seiner Zuglänge so im Bahnhofsgleis, dass er das direkt vor ihm liegende, ausnahmsweise rechts vom Gleis liegende "Halt" zeigende Zwergsignal nicht sehen kann ohne aus dem Fenster zu schauen. Er sieht jedoch das hinter der Weiche liegende "Fahrt" zeigende Zwerg- und (Gruppen-) Hauptsignal, welche jedoch für das Nachbargleis gestellt wurden. Er interpretiert diese jedoch als "seine" Signale und setzt die Fahrt trotz falsch stehender Weiche und der Tatsache, dass die Weiche noch vor dem "Fahrt" zeigenden Signal liegt in Bewegung. Der Tf des S-Bahn-Zuges, für den das Hauptsignal gilt bemerkt das Losfahren des Rangierzuges rechtzeitig.	✓			✓		2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	18. Sep.	Zürich Vorbahnhof, ZH	Kollision Rangier- bewegung mit Hindernis (CH)	Der Tf der Rangierfahrt hat irrtümlicher Weise eine Fahrt ins falsche Gleis angefordert, welches durch stehende Fahrzeuge besetzt war. Ohne dies zu erwarten passte er die Geschwindigkeit nicht an das "Fahrt mit Vorsicht" zeigende Rangiersignal an. Er konnte nicht mehr rechtzeitig anhalten und es kam zur Kollision.	✓				(Empfehlung zum Aufstellen einer Studie bezgl. Sicherheit im Rangierdienst: Risiken und Möglichkeiten zur Optimierung)	2
Schweiz	2015	15. Sep.	Lausanne, VD	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Ein Kfz-Fahrer missachtet ein Abbiegeverbot und wird von einem herannahenden Zug erfasst.			✓			2
Deutsch- land	2015	12. Sep.	Kirn – Bad Sobernheim	Bahnübergangs- unfall (D)	PKW umfährt Halbschranken eines BÜ und wird von herannahendem Zug gerammt (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2015	11. Sep.	Duisburg-Wedau – Lintorf	Zugentgleisung (D)	Schmiermittelverlust → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel; Tf hätte bei Wagenuntersuchung den Heißläufer entdecken müssen; Fehler bei Fahrzeuginstandsetzung	(✓)	✓				1
Schweiz	2015	10. Sep.	Burgistein, BE	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Bislang liegt nur ein Vorbericht vor						2
Schweiz	2015	27. Aug.	Winterthur Grütze, ZH	Arbeitsunfall (CH)	Ein Gleismonteur zog sich nach Ankündigung eines Zuges mit den Kollegen in den definierten Fluchtraum zurück. Dort hob er vor der Zugsdurchfahrt ein Kanteisen (ca. 1.8 Meter lang) auf die Schulter. Dieses Kanteisen touchierte den vorbeifahrenden Zug und riss die Person mit.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	21. Aug.	Realp, UR	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Die Bremse der Wagen hat nicht funktioniert, sodass nur die Lok gebremst wurde und der Zug ein Halt zeigendes Signal überfährt und einen Prellbock durchbricht. Vermutlich lag ein Fehler in der Hauptluftleitung zwischen Lok und erstem Wagen vor.	?	?	?			2
Schweiz	2015	3. Aug.	Visp, VS	Personenunfall (CH)	Eine Person überschreitet kurz vor Einfahrt eines Zuges das Gleis, um zum gegenüberliegenden Bahnsteig zu gelangen und wird vom Zug erfasst.			✓			2
Deutschland	2015	25. Jul.	Himmelsthür – Hildesheim Hbf	Zugkollision (D)	Durch Sturm abgebrochener Ast verfängt sich in Oberleitung und kollidiert mit herannahendem Zug			✓			1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	22. Jul.	Lausanne Triage, VD	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Zwei Hemmschuhe zum Abbremsen einer über den Ablaufberg geschobenen Rangierkomposition wurden aus unbekanntem Gründen von der Rangierkomposition weggeschleudert. Zwei weitere Hemmschuhe, die einen weiteren Bereich des Rangierbahnhofs sichern sollten, wurden nicht wieder an ihren vorgesehenen Platz gelegt. Die Rangierkomposition durchbricht einen Prellbock.	✓	?	?			2
Schweiz	2015	16. Jul.	Bassersdorf, ZH	Unregelmäßigkeit ohne unmittelbare Gefährdung (CH)	Im Rahmen einer Umrüstung von Signum Magneten auf Eurobalisen wurde das Signal des einen Gleises mit der Zugsicherung des anderen Gleises verbunden.	(✓)			✓		2
Deutschland	2015	18. Jun.	Halle Saale	Zugkollision (D)	Tf bekommt Auftrag in ein besetztes Gleis einzufahren, bremst aber zu spät und kollidiert mit stehendem Zug	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2015	10. Jun.	Cham/Oberpf – Bad Kötzing	Bahnübergangsunfall (D)	Verkehrsteilnehmer fährt trotz herannahendem Zug über nicht technisch gesicherten BÜ (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1
Schweiz	2015	4. Jun.	Rotenegg, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Eine Zahnradbahn entgleist beim Überfahren einer durch die Zugbegleiterin gestellten Weiche. Die Ursache für die Entgleisung konnte nicht ermittelt werden.	?	?	?			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	26. Mai.	Lauterbrunnen, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Der Tf versucht auf einem Zahnradabschnitt elektrisch zu bremsen. Die beiden Motoren der Achsen eins und zwei sind elektrisch in Serie geschaltet. Folglich hat auch der Motor der ersten Achse beinahe blockiert. Das Zahnrad der ersten Achse hat sich durch die sehr große Motorbremskraft richtig gehend in die Zahnstange hinein gedrückt und auf den gesamten Zug eine entsprechend große Bremskraft entwickelt. Die zweite, im Drehgestell hintere Achse, hat sich aufgrund des grossen Drehmomentes in der Drehgestellquerachse abgehoben und rutschte Zahn auf Zahn. Damit sind auch die Spurkränze über die Schienenoberkante aufgestiegen und die Achse ist seitlich entgleist.		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	26. Mai.	Fribourg, FR	Unregelmäßigkeit ohne unmittelbare Gefährdung (CH)	Ein Zug überfährt nach Ablenkung durch den Anruf des Fdl ein "Halt" zeigendes Einfahrtssignal. Die ZuSi löst aus und der Zug kommt zum Stehen.	✓					2
Deutschland	2014	25. Mai.	Neumünster	Zugkollision (D)	Herstellungsfehler des Radsatzlagers → Heißläufer → Radsatzwellenbruch → Kollision des Zug mit im Gleis verbauter LST; Dem Fahrzeughersteller waren derartige Herstellungsfehler bekannt, trotzdem wurde der Fahrzeughalter nicht informiert	(✓)	✓				1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2015	24. Mai.	Aarau, AG	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Bei einem Sondertransport mit einem Tragschnabelwagen musste eine S-Kurve (Überfahrt von zwei Weichen) durchfahren werden. In den Kurvenfahrten muss die Last des Tragschnabelwagens immer um einige mm mittels Hydraulikzylindern verschoben werden, um eine sichere Fahrtdynamik zu garantieren. Zudem wird in den Kurven das Lichtraumprofil überschritten, sodass die Verschiebung der Beladung auch zum Ausweichen nötig ist. Für die Berechnung der Verschiebungen wurde ein Informatikprogramm zur Hilfe genommen. Dieses hat die S-Kurve jedoch als Gerade angenommen, sodass der Koordinator dies erkannte und einen höheren Verschiebewert wählte ohne dies kritisch zu hinterfragen. Die zu große Seitenverschiebung führte zu einer einseitigen Entlastung der Achsen und damit zur Entgleisung. Im Nachgang wurde mit der Korrektur des Softwaretools festgestellt, dass die benötigte Verschiebung des Ladegutes fahrdynamisch nicht umsetzbar gewesen wäre und ein anderer Fahrweg hätte	✓	✓				2
---------	------	----------	-----------	--------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	--	--	--	---



					gewählt werden müssen. Beigetragen zum Ereignis hat das Fehlen eines Warnsystems bei unzulässiger Radentlastung.					
--	--	--	--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	--

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	22. Mai.	Uznach, SG	Personenunfall (CH)	Ein Vorwarner begibt sich ohne von Tf oder Rangierbegleiter bemerkt zu werden auf die Rangierkomposition. Einige Meter nach Abfahrt stürzte der Vorwarner beim Absteigen oder durch Ausrutschen vom Trittbrett.	?		?			2
Schweiz	2015	21. Mai.	Baden, AG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Ein Tf muss außerplanmäßig einen Zug noch weiterfahren (Ausfall Lokführerwechsel) und den Zug auch im Abstellgleis abstellen. Da er unter vermeintlichem Zeitdruck stand und keine ausreichende Ortskenntnis besaß, reagierte er zu spät auf den Prellbock und konnte zusätzlich bedingt durch schlechte Witterungslage und Gras auf dem Gleis nicht mehr rechtzeitig anhalten.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutsch-land	2015	16. Mai.	Einsiedlerhof	Zugentgleisung (D)	Radsatzlagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel; Fdl übermittelt dem Tf aber falsche Angaben der HOA und Heißläufer bleibt unentdeckt	(✓)	✓				1
Schweiz	2015	13. Mai.	Erstfeld, UR	Kollision Zug mit Zug (CH)	Der Lokomotivführer hat seinen abfahrbereiten Güterzug ohne Fahrberechtigung beschleunigt und in die Zufahrstrasse eines durchfahrenden Zuges gefahren. Die Anordnung der Signale (Gruppensignal) und die Linienführung der Gleisanlage begünstigte eine Fehlhandlung durch den Lokomotivführer des abfahrenden Zuges	✓					2
Deutsch-land	2015	4. Mai.	Eilenburg	Zugentgleisung (D)	Verschleißbedingt lose Radreifen		✓				1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	30. Apr.	Landquart, GR	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Der Rgl hat die für die vorgesehene Fahrt nicht korrekt gestellte Weiche übersehen. Er musste sowohl den Fahrweg bereitstellen, einen BÜ sichern und die Rangierbewegung leiten, während die Rangierbewegung ihm mit mehr als Schrittgeschwindigkeit folgte. Der Selbstauerlegte Zeitdruck und das Fehlen einer auffälligen Anzeige für die Stellung der Weiche haben das Eintreten des Unfalls begünstigt. Die Rangierbewegung ist mit abgestellten Wagen kollidiert.	✓					2
Deutschland	2015	25. Apr.	Wilhelmshafen	Fahrzeugbrand (D)	Kontinuierlich ausfließender Kraftstoff aus undichte Dieselleitung entzündet sich an der Abgasanlage und brennt ab		✓				1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	25. Apr.	Daillens, VD	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Infolge eines Fehlers in der Wageninstandhaltung kam es zu mehreren Schäden im Achsbereich, sodass schließlich bei einer Zugfahrt sich das linke Achslagergehäuse löste und es zur Entgleisung kam. Beitragende Faktoren: Die ECM-Zertifizierung und VPI-Kontrollen ermöglichten es nicht, die Mängel sicherzustellen.	✓			(✓)		2
Deutschland	2015	21. Apr.	Goslar	Zugentgleisung (D)	Ww stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Deutschland	2015	19. Apr.	Oldenburg Hbf	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Deutschland	2015	7. Apr.	Eschhofen	Zugentgleisung (D)	Ermüdungsbruch der Radsatzwelle; Tf hätte wegen erster Anzeichen des Schadens die Fahrt vorsorglich nicht fortsetzen dürfen	(✓)	✓				1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutsch-land	2015	5. Apr.	Karlsruhe Gbf	Zugkollision (D)	Unzureichend gegen Bewegung gesicherte Wagen entlaufen beim Rangiervorgang und kollidiere mit Zug	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	18. Mrz.	Immensee, SZ	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	<p>Die Kollision zweier Baukompositionen ist darauf zurückzuführen, dass mehrere Personen in unterschiedlichen Funktionen Vorgaben, wie das korrekte Anwenden von Prozessen für Rangierfahrten mit besonderen Fahrzeugen, das Einhalten der Sprechregeln und das Wahrnehmen definierter Rollen, nicht befolgten. Dies führte zu einem ungleichen Kenntnisstand zwischen den beteiligten Personen sowie Missverständnissen betreffend die Ausdehnung der Arbeitsstelle und Zuständigkeiten.</p> <p>Beitragende Faktoren: ein Hinterfragen von Unstimmigkeiten sowie nicht sicherheitsbewusstes Verhalten mehrerer Personen, vorbestehende Mängel am Funkgerät eines der beiden Rangierleiter betreffend die Schwergängigkeit der Sendetaste, eingeschalteter Kontrollton ohne tatsächliche Handlungsfähigkeit des Rgl.</p>	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	13. Mrz.	Basel, BS	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Wegen einer Rückkopplung zwischen dem Funkgerät der Lok und dem Hand-Funkgerät des Teamleiters schaltet dieser das Lokgerät ab. Rgl und Tf beginnen die Fahrt und der Teamleiter schaltet auch sein Gerät ab. Obwohl der Rgl keine Quittierung seines Abfahrbefehls erhält, lässt er die Fahrt zu. Auch der Tf fährt weiter, obwohl kein Kontrollton zu hören ist. Am Vorsicht zeigenden Zwergsignal fällt ihm auf, dass der Kontrollton fehlt, wartet fünf Sekunden (bis der nächste Ton erklingen müsste) und führt dann eine Schnellbremsung durch. Es kommt zur Kollision mit dem im Gleis stehenden ICE.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	20. Feb.	Rafz, ZH	Kollision Zug mit Zug (CH)	Die beiden Tf der verspäteten S-Bahn (einer davon in Ausbildung) verwechselten ihr "Halt" zeigendes Ausfahrtsignal und beschleunigen stark. Die ZuSi springt an und löst eine Zwangsbremmung aus, trotzdem bleibt der Zug erst im Lichtraumprofil der Weiche stehen. Es war keine Abfahrverhinderung im Bahnhof vorhanden.	✓					2
Deutschland	2015	31. Jan.	Feucht	Personenunfall (D)	Person wird beim Fahrgastwechsel am Bahnsteig durch schließende Türen eingeklemmt und mitgeschliffen; Tf hat Abfahrbereitschaft nicht ordnungsgemäß geprüft	✓					1
Schweiz	2015	20. Jan.	Glovelier, JU	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Tf war mit der Fernsteuerung der Rangierbewegung stark überfordert und ließ die Rangierbewegung etwa 1800 Meter ins Streckengleis fahren, wobei auch ein offener BÜ überquert wurde.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2015	17. Jan.	Aigle, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Eine Abdeckkappe hat den Hahn der Hauptluftleitung blockiert, sodass die Bremskraft stark reduziert wurde und der Zug etwa erst 400 m nach dem Bahnsteig zum Stehen kam.		✓				2
Schweiz	2014	29. Dez.	Solothurn, SO	Kollision Rangier- bewegung mit Hindernis (CH)	Wegen einer nicht umstellbaren Weiche verständigten sich Fdl und Rgl darauf, ein anderes als vorgesehenes Gleis anzufahren. Der Rgl sah eine Streckenlok, wobei er sich nicht sicher war, ob diese im angefahrenen Gleis oder im Nachbargleis steht. Der Fdl wurde das Abstellen der Streckenlok nicht mitgeteilt. Wegen Schnees konnte der Rgl nicht erkennen, in welches Gleis die Rangierbewegung geleitet wurde. Es kam zur Kollision mit der Streckenlok.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2014	2. Dez.	Borna	Zugentgleisung (D)	Fdl verwechselt Weichen und stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Deutschland	2014	2. Dez.	Witten Hbf – Witten-Annen Nord	Bahnübergangsunfall (D)	Defekter BÜ soll zwischenzeitlich mit Bahnübergangsposten gesichert werden, wobei aber eine Seite des BÜ von den Hilfsposten nicht gesichert wurde	✓					1
Schweiz	2014	24. Nov.	Bern, BE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Rgl verlangt versehentlich die Fahrt in das falsche Gleis, welches schon durchgehend belegt ist. Da die Geschwindigkeit am "Fahrt mit Vorsicht" zeigenden Rangiersignal nicht reduziert wurde und der Rgl erst anschließend die falsche Stellung der Weiche wahrnimmt, kommt es zur Kollision mit den abgestellten Wagen.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2014	13. Nov.	Dillingen	Zugkollision (D)	Zweiwegebagger schiebt eigenmächtig einen angekuppelten Wagen in Weichenbereich wo es zur Kollision mit herannahendem Zug kommt	✓					1
Deutschland	2014	30. Okt.	Dahlbruch	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Deutschland	2014	29. Okt.	Hagen-Vorhalle	Sonstige Entgleisung (D)	Trotz Ablaufverbot läuft Wagen ab, prallt auf Wagen hinter Ablaufberg, sodass dieser entgleist. Entgleisung des Wagens wurde bei Zugbildung nicht bemerkt und führt zu Entgleisung des gebildeten Zuges.	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	23. Okt.	St-Maurice, VS	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Tf hat nicht rechtzeitig wahrgenommen, dass seine Rangierfahrt in ein anderes Gleis als erwartet geleitet wurde. Das "Vorsicht" zeigende Rangiersignal hat er ignoriert. Beitragende Faktoren: In der Kommunikation zwischen Fdl und Tf kam es zu Widersprüchen hinsichtlich des gewählten Gleises, das Rangiersignal stand auf der rechten Seite des Gleises.	✓					2
Schweiz	2014	12. Okt.	Gurtellen, UR	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Aus der Spurenlage geht eindeutig hervor, dass die Entgleisung auf einen in das Herzstück der Weiche geschobenen Hemmschuh zurückzuführen ist. Wie der Hemmschuh auf die Schiene gelangte und weshalb er vor oder während der Rangierbewegung nicht bemerkt wurde, ließ sich nicht feststellen.	?		?			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	9. Okt.	Cornaux, NE	Arbeitsunfall (CH)	Bei Rangierarbeiten bei dichtem Nebel wurden abgestellte Wagen nicht korrekt gegen Entlaufen gesichert. Bei der Rangierfahrt wird der fernsteuernde Tf zwischen dem Tfz und dem entlaufenen Wagen auf dem Fußtritt eingeklemmt.	✓					2
Schweiz	2014	30. Sep.	Jakobsbad, AI	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Zur Verkürzung der Fahrzeiten auf der Strecke wurden die Geschwindigkeiten in den engeren Kurven erhöht. Bei der Genehmigung der Geschwindigkeitserhöhung wurden jedoch die Auswirkungen auf das Rollmaterial nicht betrachtet, sodass es beim verkehrenden Zug zu einem Radscheibenbruch kam.				✓		2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	22. Sep.	Noirigue, NE	Personenunfall (CH)	Ein Radfahrer kommt von einem Weg, der hinter den Schranken am BÜ endet. Ohne zu bemerken, dass der BÜ geschlossen ist, befährt er diesen und wird von einem Zug erfasst.			✓			2
Deutschland	2014	18. Sep.	Neuwied	Fahrzeugbrand (D)	Ungeklärte technische Ursache → Feste Bremsen an Autotransportwagen → Funkenflug → Erhitzung des Bodenblech des Wagens → Autoreifen entzündeten sich durch hohe Temperaturen selbst		✓				1
Deutschland	2014	2. Sep.	Schweinsberg Anst. – Kirchhain	Bahnübergangsunfall (D)	Verkehrsteilnehmer fährt trotz herannahendem Zug über nicht technisch gesicherten BÜ (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1
Schweiz	2014	13. Aug.	Tiefencastel, GR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Ein unvorhersehbarer Erdbeben trifft einen Personenzug und bringt diesen zum Entgleisen.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	11. Aug.	Wolfenschiessen, NW	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Ein ortsunkundiger Fahrer eines Kleinbusses befährt einen unbewachten mit einem Andreaskreuz gekennzeichneten BÜ ohne den herannahenden Zug zu erkennen. Es kommt trotz Schnellbremsung und Achtungspfeiff zur Kollision.			✓			2
Deutschland	2014	1. Aug.	Mannheim Hbf	Zugkollision (D)	Tf verwechselt nach Fahrt im Gegengleis die Seite der Signalstandorte und missachtet haltzeigendes Signal. Tf fährt nach Zwangsbremsung eigenmächtig weiter und kollidiert mit anderem Zug	✓					1
Schweiz	2014	23. Jul.	Visp, VS	Personenunfall (CH)	Die Ursache des Unfalls konnte nicht eindeutig geklärt werden.						2
Schweiz	2014	22. Jul.	Roggwil - Wynau, BE	Personenunfall (CH)	Ein Rollstuhlfahrer fällt mit Rollstuhl über die Bahnsteigkante in das Gleisbett und wird trotz Schnellbremsung vom Zug erfasst.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	17. Jul.	Hergiswil, NW	Brand (CH)	Im unbesetzten hinteren Führerraum in der Klimaeinheit blockierte der Elektromotor des Radialventilatorsatzes und wurde mangels Schutzeinrichtung weiterhin durch seine Stromquelle gespeist und hat sich bis zum Brandausbruch erhitzt.		✓				2
Schweiz	2014	15. Jul.	Beinwil am See, AG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Eine Autofahrerin übersieht die eingeschaltete Blinklichtanlage mit akustischen Warnsignalen und wird vom herannahenden Zug trotz Schnellbremsung und Achtungspfeiff erfasst.			✓			2
Deutschland	2014	10. Jul.	Köln-Kalk Nord	Zugentgleisung (D)	Fdl lässt Fahrt über gestörte Weiche zu, obwohl ihm die Störung bekannt war	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2014	2. Jul.	Hagen Gbf	Zugentgleisung (D)	Fdl lässt Fahrt zu und stellt von ihm vergessene Weiche noch während der Zugfahrt um. Die Weiche läuft um und erreicht nicht mehr die Endlage, als der Zug darüber fährt (mangelhafte Fahrwegprüfung und unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Schweiz	2014	1. Jul.	Monthey, VS	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Radfahrer bemerkt den herannahenden zuvor in gleicher Richtung verkehrenden Zug am ungesicherten BÜ nicht und wird erfasst.			✓			
Deutschland	2014	28. Jun.	Angern-Rogätz	Zugkollision (D)	Alkoholisierter Tf bemerkt nicht, dass sein Zug an einer Steigung nicht weiter ausrollt sondern wieder zurückrollt. Der zurückrollende Zug kollidiert mit einem dahinter stehendem Zug.	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	16. Jun.	Bussigny, VD	Sonstiges (CH)	Der Tf unternimmt eine Rangierfahrt auf die freie Strecke bei offenem Rangiersignal, jedoch ohne Zustimmung des Fdl. Durch Zeitdruck und die für ihn ungewöhnliche Aufgabe stand der Tf unter Druck. Die Qualifikation des Tf war für diese Aufgabe nicht angemessen.	✓			(✓)		

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	11. Jun.	Ebikon, LU	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Infolge des heißen Wetters und des Lkw-Verkehrs auf dem im Asphalt eingedeckten Anschlussgleis wurde die Fugenmasse der Eindeckung allmählich herausgedrückt, auf den Schienen verteilt und von den Rädern der Güterwagen aufgenommen. Die Verschmutzung der Räder führte dazu, dass die Gleisfreimeldeanlage fälschlicher Weise das Gleis und die überfahrene Weiche als frei gemeldet hat. Damit wurde die bereits eingespeicherte Folgefahrstraße bereits eingestellt und die Weiche unter dem Güterzug umgestellt, sodass es zur Entgleisung kam.		(✓)	✓			
Deutschland	2014	4. Jun.	Kamen – Üst	Fahrzeugbrand (D)	Fehler bei Instandhaltung des Tfz → Kabelbrand am Fahrmotor während der Fahrt	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	17. Mai.	Spiez, BE	Kollision Zug mit Zug (CH)	Tf fährt bei "Halt" zeigendem <i>Gruppensignal</i> ab. Kurz vor Fahrtantritt hatte er eine Pause, in der er sich schlafen gelegt hatte. Im Anschluss daran fühlte er sich schlaftrunken und war in seiner physischen Leistungsfähigkeit eingeschränkt. Als er seinen Fehler an der falsch gestellten Fahrstraße bemerkt, leitet er eine Schnellbremsung ein und bleibt im Lichtraumprofil der Weiche stehen. Es kommt zur Streifkollision mit dem vorbeifahrenden Zug. Beitragende Faktoren: Keine ZuSi vorhanden, Gefahr der Fehlinterpretation des Gruppensignals, kein zusätzlicher Schutz der Fahrstraße.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutsch- land	2014	15. Mai.	Iversheim – Arloff	Bahnübergangs- unfall (D)	Verkehrsteilnehmer fährt trotz herannahendem Zug über nicht technisch gesicherten BÜ (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	9. Mai.	Sattel, SZ	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Der Tf überfährt in der Erwartungshaltung eine Durchfahrt zu bekommen das "Warnung" zeigende Ausfahrvorsignal und das "Halt" zeigende Ausfahrsignal im Bf. Das Ausfahrsignal wird idR durch die automatische Signalfortschaltung auf Fahrt gestellt. Es wird eine Zwangsbremmung ausgelöst. Der Zug kommt jedoch vor dem offenen mit Barrieren gesicherten BÜ nicht mehr zum Stehen, der Tf bemerkt dies und gibt einen Achtungspfeiff ab, es kommt jedoch zur Kollision mit einer Autofahrerin. Die Fdl bemerkte den Vorfall und versuchte die drei BÜ rechtzeitig manuell zu schließen, was jedoch zeitlich nicht mehr gelang.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2014	7. Mai.	Olching	Zugkollision (D)	Ausleger eines Zweiwegebaggers schwenkt in das Lichtraumprofil des Nachbargleis' und kollidiert mit herannahendem Zug. Nachbargleis wurde wegen mangelhafter Kommunikation zwischen beteiligten fälschlicherweise nicht gesperrt.	✓					1
Deutschland	2014	11. Apr.	Forchheim	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Deutschland	2014	20. Mrz.	Maschen Rbf	Zugentgleisung (D)	Arbeitszug wird nur auf einer Seite mit Langschienen beladen → Ungleichmäßige Lastverteilung und verminderte Bogenläufigkeit → Verminderte Radaufstandskraft → Radsätze verlieren bei Bogenfahrt die Spurführung und entgleisen	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	9. Mrz.	Grauholz, BE	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Ein Elektroschrank, der vorübergehend in einer Tunnelnische abgestellt wurde, ragte in das Lichtraumprofil des Gleises. Bei Vorbeifahrt des Zuges kam es zur seitlichen Kollision mit dem Schrank. Ob der Schrank zunächst ganz an der Rückwand der Nische abgestellt wurde, konnte nicht festgestellt werden. Es ist davon auszugehen, dass er durch die durch vorbeifahrende Züge verursachten Turbulenzen immer weiter nach vorne gerutscht ist bis er das Lichtraumprofil des Gleises verletzte.	(✓)					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2014	3. Mrz.	Neyruz, FR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung der vordersten Achse der Lokomotive ist auf einen Achsbruch aufgrund einer Rissinitiierung durch Korrosion zurückzuführen. Als systemische Ursache für den Achsbruch wurde die wesentliche Überschreitung der Revisionsfristvorgaben für die Ultraschallprüfung der Achsen ermittelt.	✓					2
Deutschland	2014	28. Feb.	Forchheim Trubbachbrücke – Ebermannstadt	Bahnübergangsunfall (D)	Verkehrsteilnehmer fährt trotz herannahendem Zug über nur mit Blinklichtern technisch gesicherten BÜ (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1
Schweiz	2014	30. Jan.	Fribourg, FR	Starkstromunfall (CH)	Ein Tf wollte einen Schlüssel, der ihm im Schaltschrank des Triebwagens heruntergefallen ist wieder herausholen. Bei dem Versuch berührt er mit den Fingern ein 1000 V Kabel und erleidet einen Elektroschock. Der Tf hatte bisher wenig Erfahrung in seiner Funktion.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2014	19. Jan.	Obernjesa	Zugentgleisung (D)	Ungeklärter Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel		✓				1
Schweiz	2013	15. Nov.	Mörel, VS	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Lieferwagen befährt bei eingeschränkter Sicht einen nur mit Andreaskreuzen gesicherten BÜ. Trotz Achtungssignal und Schnellbremsung ist die Kollision nicht vermeidbar.			✓			2
Deutschland	2013	11. Nov.	Hosena	Zugkollision (D)	Fdl stellt Fahrweg, obwohl ein stehendes Triebfahrzeug den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓					1
Deutschland	2013	26. Okt.	Gladbeck West	Zugkollision (D)	Tf führt keine ordnungsgemäße Bremsprobe durch und überschreitet zulässige Geschwindigkeit → geschlossener Absperrhahn in Hauptluftleitung → ungenügende Bremsleistung → Zug fährt am Halt zeigenden Signal vorbei → Kollision mit anderem Zug	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	18. Okt.	Lausanne, VD	Personenunfall (CH)	An einem niveaugleichen Fußgängerübergang nimmt eine Fußgängerin den herannahenden Zug nicht wahr und wird von diesem erfasst. Die Sicht auf die Strecke wurde durch einen Bus behindert.			✓			2
Schweiz	2013	26. Sep.	Niederdorf, BL	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Eine Autofahrerin wollte auf eine Hauptstraße einbiegen und musste wegen des Verkehrs auf dem mit Blinklichtern gesicherten BÜ warten, da erst dort die uneingeschränkte Sicht auf die Hauptstraße möglich war. Da sie weder die Blinklichtanlage noch das akustische Signal wahrgenommen hat, kam es trotz Achtungssignal und Schnellbremsung zur Kollision mit dem herannahenden Zug.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	19. Sep.	Glovelier, JU	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Bei der Einfahrt in ein Stumpfgleis hat der Tf einen Moment der Reaktionslosigkeit und schafft es nicht, stark genug zu bremsen und durchbricht den Prellbock. Sehr wahrscheinlich haben verschriebene Medikamente die Reaktionsfähigkeit des Tf beeinflusst.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	18. Sep.	Zürich Vorbahnhof, ZH	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Aufklettern des ersten Rads der Rangierkomposition beim Befahren einer DKW durch das Zusammenspiel mehrerer ungünstiger Faktoren: nicht korrekte Vorspannung der Tiefzulanlenkung, die einseitige Seitenkräfte an den Drehgestellen verursachte, Geometriefehler an den Spurkränzen der Räder, die wegen nicht funktionsfähiger Spurkranzschmieranlage trockenen Spurkränze, die nicht korrekt anliegende Weichenzunge, ein verschlissenes Zungenprofil und die kurz vor den Weichenzungen angebrachten, lockeren Rippenplatten.		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	16. Sep.	Granges-Marnand, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Zug überfährt Halt zeigendes Gruppenausfahrtsignal. Beitragende Faktoren: keine vorhandene ZUB, routinierte Abfertigung der gestes métiers	✓					2
Deutschland	2013	5. Sep.	Saalfeld (Saale)	Zugkollision (D)	Tf missachtet Signal und kollidiert mit Zug	✓					1
Deutschland	2013	5. Sep.	Bremen	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung); Betriebskonzept und andere Systemeigenschaften begünstigen das Ereignis	✓			(✓)		1
Schweiz	2013	21. Aug.	Stäfa, ZH	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	Der Fdl hat die Zustimmung für eine Rangierfahrt gegeben und kurz darauf eine kollidierende Zugfahrstraße eingestellt. Beitragende Faktoren: Eine Weiche der Rangierfahrt wurde nicht mit dem Weicheneinzelverschluss gesichert. Der Fdl wurde durch dienstliche Gespräche zusätzlich belastet und abgelenkt.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	29. Jul.	Granges-Marnand, VD	Kollision Zug mit Zug (CH)	Zug überfährt Halt zeigendes Gruppenausfahrtsignal. Beitragende Faktoren: keine vorhandene ZUB, routinierte Abfertigung der gestes métiers	✓					2
Schweiz	2013	21. Jul.	Schaffhausen, SH	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Nichtbeachtung eines Halt zeigendes Rangiersignals. Beitragende Faktoren: Einlaufen der Rafa in zwei Schritten, kurze Folge der Rangiersignale, was in der Nacht zum Übersehen beigetragen haben kann.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	13. Jul.	Zürich Oerlikon, ZH	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	An einer Baustelle beginnt ein Gleiskran langsam zu kippen, sodass es zur Streifkollision mit dem vorbeifahrenden Zug kommt. Die Ursache für das Kippen liegt mit großer Wahrscheinlichkeit in der defekten Hydraulik des automatischen Niveauausgleichs des Gleiskrans. Beitragende Faktoren: taumelnde Last, die kurzzeitig die Kippgefahr des Krans beeinflusste, defekte Steuerelektronik, deren Folge eine "offene" Bremse des Drehkranzes im Schwenkbetrieb sein kann, der nachgebende Untergrund (Baugleis mit kompakter Unterschotterung)		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2013	2. Jul.	Düsseldorf-Derendorf	Zugentgleisung (D)	Biologischer Zerfall der Holzschwellen → Spurerweiterung → Entgleisung; Instandhaltungspersonal hat Schaden an Schwellen nicht behoben	(✓)	✓				1
Deutschland	2013	22. Jun.	Bad Laasphe – Erndtebrück	Bahnübergangsunfall (D)	Verkehrsteilnehmer fährt trotz herannahendem Zug über nur mit Blinklichtern technisch gesicherten BÜ (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1
Schweiz	2013	19. Jun.	Basel, Kleinhüningen-Hafen, BS	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Die Ursache der Entgleisung konnte nicht abschließend ermittelt werden. Mit größter Wahrscheinlichkeit ist die Entgleisung auf ein ungünstiges Zusammenspiel von verschiedenen Parametern zurückzuführen (Gleis- bzw. Weichengeometrie, Wagentyp, Rangierfahrtdynamik).						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	15. Jun.	Neirivue, FR	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Kurz vor Befahren des BÜ begibt sich ein Kind auf den BÜ. Trotz mehrfach erfolgten Achtungssignalen im Voraus konnte die Kollision nicht verhindert werden.			✓			2
Schweiz	2013	12. Jun.	Wila, ZH	Starkstromunfall (CH)	Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass ein Mitarbeiter die Hebebühne anhob, ohne die dazu notwendige Freigabe durch den Arbeitsleiter abzuwarten.	✓					2
Deutschland	2013	9. Jun.	Kaub – Lorch	Zugentgleisung (D)	Entwässerungsanlage ist in SAP nicht erfasst → keine regelmäßige Instandhaltung → nicht funktionierende Gleisentwässerung → verminderte Tragfähigkeit des Gleisunterbaus → Gleislagefehler → dynamische Anregung drüberfahrender Wagen → Entgleisung	(✓)	✓				1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	18. Mai.	Boll, BE	Personenunfall (CH)	nur Vorbericht: "Eine Reisende geriet beim Gleisübergang auf der Westseite des Bahnhofs Boll unter einen in Richtung Bern abfahrenden Zug und wurde schwer verletzt."			✓			2
Deutschland	2013	13. Mai.	Berlin Hbf	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	13. Mai.	Schwyz, SZ	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	<p>Nach Erhalt des Befehls "Fahrt auf Sicht" wurde der Abfahrtsbefehl mit "Fahrt auf Sicht" an den Tf weitergegeben. Dann wurde am Halt zeigenden Rangier- und Ausfahrtsignal vorbeigefahren. Die gewählte Geschwindigkeit war zu hoch, um vor der gestellten Entgleisungseinrichtung anzuhalten, sodass es zur Entgleisung kam. Das verantwortliche EVU hätte nicht mit einem Fz ohne ZuSi an der Spitze verkehren dürfen.</p> <p>Beitragende Faktoren: Vom Fdl erhaltener Befehl wurde auf einer Zeitung anstatt auf dem vorgesehenen Formular protokolliert. Künstlicher Zeitdruck vor Feierabend: Die Mitarbeiter waren früh mit den Bauarbeiten fertig, musste aber noch ca. 1,5 Stunden warten bis sie abfahren durften.</p>	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	13. Mai.	Urnäsch - Waldstatt, AR	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Fahrer eines Lieferwagens übersieht eingeschaltete Blinklichtanlage. Trotz Pfeifsignal und Schnellbremsung kommt es zur Kollision.			✓			2
Schweiz	2013	6. Mai.	Goldach, SG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Sattelaufleger befährt mit ca. 20 km/h einen mit Schranken und Blinklichtanlage gesicherten BÜ, wobei er die schon eingeschaltete Blinklichtanlage missachtet. Die Schranken beginnen sich zu schließen und der Fahrer bleibt auf dem BÜ stehen und verlässt das Fz. Der Tf kann aufgrund der hohen Geschwindigkeit auf der Strecke trotz Schnellbremsung die Kollision nicht verhindern.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	2. Mai.	Mezzovico, TI	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Tf überfährt ein Halt zeigendes Hauptsignal, da er davon ausging, als Rangierbewegung unterwegs zu sein. Dem Besteller des Zuges war nicht bewusst, dass weder Tf noch Rangierlok nicht für eine Zugfahrt zugelassen sind (verschiedene Unternehmen). Durch die nicht Halt zeigenden Rangiersignale konnte das Missverständnis nicht systemmäßig erkannt werden. Der Tf hat den Buchstaben "R" für Rangierfahrt neben seiner Zugnummer in der Fahrordnung nicht vermisst.	✓			✓		2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	26. Apr.	Spiez, BE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Die Geschwindigkeit der Rangierfahrt wurde nicht entsprechend dem Fahrbefehl "Fahrt mit Vorsicht" angepasst, der Rgl hat diesen Begriff auch nicht dem Tf gemeldet. Der Rgl hat nicht erwartet, dass das zu befahrende Gleis besetzt sein würde.	✓					2
Schweiz	2013	9. Apr.	Kaltbrunn, SG	Sonstiges (CH)	Ein nicht mehr feststellbarer technischer Defekt in der Ansteuerung der Hydraulikzylinder des Zweiwegbaggers führte dazu, dass dieser von den Schienenführungsachsen so angehoben wurde, dass die bereiften Räder nicht mehr auf den Schienen waren. Der Bagger begann zu rollen und konnte nicht mehr abgebremst werden. Es kommt zur Kollision mit abgestellten Wagen.		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	8. Mrz.	Cossonay, VD	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Die Rangierbewegung wurde ohne Zustimmung des Fdl getätigt und fährt nach dem Versuch, vor dem Halt zeigenden Rangiersignal zu halten über den Prellbock. Beitragende Faktoren: Lückenhafte Kommunikation zwischen Tf und Rgl, die Tf (Ausbilder und Azubi) haben sich nicht auf dsie Strecke konzentriert, da sie durch eine technische Konversation abgelenkt waren.	✓					2
Schweiz	2013	7. Mrz.	Genève, GE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Nach abgeschlossenen Arbeiten an der Weiche wurde der Weichenmotor nicht korrekt fixiert. Beim Befahren der Weiche durch die Rangierbewegung ist diese entgleist. Als beitragender Faktor hat ein Prozess zur Kontrolle der abgeschlossenen Arbeiten gefehlt.	✓			(✓)		2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2013	7. Mrz.	Bern, Weyermannshaus, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Aufklettern des rechten Radsatzes eines Niederflur- Doppelstockwagens infolge des Zusammentreffens mehrerer ungünstiger Faktoren: hohe Vorspannung der Schraubenkupplung zwischen Lok und Wagen, geringe Sicherheitsreserve gegen Aufklettern wegen des geringen Fahrzeuggewichts (Wagen ohne Innenausbau), geringe Gleislagefehler innerhalb der Toleranzen	(✓)	(✓)			2
---------	------	---------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------	--	--	---



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Schweiz	2013	28. Feb.	Kloten, ZH	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung des Dienstwagens X 1085 9400 215-7 ist auf den Bruch der hinteren rechten Radscheibe zurückzuführen. Zum Unfall möglicherweise beigetragen hat, dass vor der Überführung die Lauffähigkeit des seit längerem abgestellten Dienstwagens nicht durch einen Technischen Kontrolleur der SBB überprüft worden war.	✓	(✓)		2
---------	------	----------	------------	--------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	-------------	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	27. Feb.	Basel, Badischer Bahnhof, BS	Kollision Zug mit Zug (CH)	Ein SBB-Zug überfährt ein Halt zeigendes Signal und kollidiert mit einem DB-Zug. Der Tf hat das falsche Signal als "sein" Signal interpretiert (da im SBB Netz die Signale idR links vom Gleis stehen, bei der DB aber rechts). Weiter zur Kollision beigetragen haben die Tatsache, dass im Signum System die Bremskurve nicht überwacht wird und der D-Weg nicht ausreichend war, um ein mit Signum ausgerüstetes Tfz vor dem Hauptsignal bei Auslösung rechtzeitig zum Stehen zu bringen. (Das HS ist sowohl mit Signum als auch PZB ausgerüstet)	✓			(✓)		2
Schweiz	2013	23. Feb.	Frauenfeld, TG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Ein ortsunkundiger belgischer Autofahrer befährt aus dem Stillstand den mit Blinklichtern gesicherten BÜ und wird vom herannahenden Zug trotz Achtungssignal und Schnellbremsung erfasst.						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2013	21. Feb.	Bulle, FR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Vermutlich Fehler beim Bremsen der Rangierbewegung: Der Fahrschalter wurde vor dem Bremsen nicht auf "0" gestellt, sodass er beim Bremsen selbst auf "0" gestellt wurde, nicht aber in die notwendige Position für eine Schnellbremsung.	✓					2
---------	------	----------	-----------	-------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	--	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	16. Feb.	Schwerzenbach, ZH	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Beim Überfahren eines durch Squats und Headchecks vorgeschiedigten Gleises bemerkt der Tf des ersten Zugs ein starkes "Tätscheln", was er dem zuständigen Fdl meldet und ihm empfiehlt den nächsten Zug auf Sicht über den Streckenabschnitt zu fahren. Der Fdl erklärt sich das "Tätscheln" jedoch damit, dass ein Gegenstand gegen den Zug geflogen sei und ignoriert den Vorschlag. Der darauffolgende Zug überfährt den Abschnitt, der bei der Fahrt des vorigen Zuges einen Schienenbruch erlitten hat mit regulärer Geschwindigkeit und entgleist.	✓					2
Deutsch- land	2013	14. Feb.	Vahr – Bremen Hbf	Zugentgleisung (D)	Aus ungeklärten Ursachen angelegte Feststellbremse an Wagen → Lauffläche des Radsatzes beschädigt → Entgleisung	?	?				1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2013	4. Feb.	Le Chenit, VD	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Auto befährt einen eingeschalteten mit funktionierenden Blinklichtern gesicherten BÜ. Der Tf konnte trotz Achtungssignal und Schnellbremsung die Kollision nicht verhindern.			✓			2
Schweiz	2013	1. Feb.	Giesshübel, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Irrtümlicher Weise stellt der Rangierleiter wegen Ablenkung während eines Funkgesprächs die <i>falsche Handweiche</i> um, sodass es zur Kollision mit einem abgestellten Doppelstockwagen kommt.	✓					2

Schweiz	2013	10. Jan.	Neuhausen, SH	Kollision Zug mit Zug (CH)	Zug überfährt Halt zeigendes Signal. Beitragende Faktoren: Der Tf hat den Fahrrichtungsschalter beim Halt nicht vorschriftsgemäß in Neutralstellung gebracht, der Tf hat den Fahrtstellungsmelder nicht beachtet, eine Abfahrverhinderung war nicht vorhanden, die Distanz zwischen Ausfahrtsignal und Gefahrenpunkt war zu kurz, um einen normal beschleunigenden Zug rechtzeitig zum Stehen zu bringen, der Tf ist für den Abfahrtsprozess alleine verantwortlich.	✓			(✓)		2
Deutschland	2013	9. Jan.	Lübbecke – Espelkamp	Bahnübergangsunfall (D)	Verkehrsteilnehmer fährt trotz herannahendem Zug über mit Posten gesicherten BÜ (Missachtung Vorrang des Schienenverkehrs)			✓			1
Deutschland	2012	19. Dez.	Düsseldorf-Rath	Bahnübergangsunfall (D)	Bus bleibt wegen technischem Defekt auf BÜ liegen und wird von zwei Zügen gerammt		(✓)	✓			1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutschland	2012	13. Dez.	Löhne	Zugentgleisung (D)	Ungeklärte Ursache → Gleislagefehler → dynamische Anregung drüberfahrender Wagen → Entgleisung; Gleismessung erfolgt mit unpassendem Messgerät, wodurch die Gleislagefehler fälschlicherweise als nicht kritisch eingestuft wurden	(✓ ✓)	✓						1
Schweiz	2012	12. Dez.	Lenzburg, AG	Kollision Zug mit Zug (CH)	Tf überfährt Halt zeigendes Signal infolge der Verwechslung zweier Signale. Es kommt zur Streifkollision. ZuSi hat ordnungsgemäß angesprochen und den Nothalt eingeleitet.	✓							2
Schweiz	2012	10. Dez.	Couvet, NE	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Zug überfährt Halt zeigendes Signal und gefährdet anderen Zug. Beide Tf leiten noch rechtzeitig die Schnellbremsung ein.	✓							2
Deutschland	2012	1. Dez.	Hannover Hbf	Zugentgleisung (D)	Ungeklärter Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel		✓						1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		

Schweiz	2012	14. Nov.	Koblenz, AG	Arbeitsunfall (CH)	Im Rahmen von Bauarbeiten im Gleisbereich wies der Sicherheitswärter die Bauarbeiter an, den Gefahrenbereich zu verlassen, da in dem Moment keine Arbeiten anstanden und er die Toilette aufsuchen musste. Ein Mitarbeiter begab sich dennoch in den Gefahrenbereich und wurde von einem herannahenden Zug erfasst. Trotz Schnellbremsung konnte der Zug nicht rechtzeitig anhalten.	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2012	9. Okt.	Zofingen, AG	Arbeitsunfall (CH)	Der Chefmaschinenführer bestieg zusammen mit zwei Maschinenführern eine Planiermaschine bei eingeschalteter Oberleitung. Es kam zu einem Lichtbogen zwischen Oberleitung und Chefmaschinenführer. Die Planung der auszuschtenden FL-Schalter war nicht richtig, Sicherheitschef und Koordinator hatten nicht das nötige Wissen bezüglich des Schaltplans, die Kommunikation über den Schaltzustand der Fahrleitung erfolgte über Dritte (Transportbegleiter/Tf), statt Fahrleitungssektoren wurden die Gleisbezeichnungen benannt, Chefmaschinenführer und Maschinenführer haben das Fahrezug bestiegen, trotz der Information, dass die Fahrleitung zwar	✓						2
---------	------	---------	--------------	-----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	--	--	--	---



					ausgeschaltet, aber nicht geerdet sei.							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2012	19. Sep.	Chavornay, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	IH-Arbeiten im Gleis wurden im nicht gesperrten Gleis durchgeführt. Der Sicherheitschef hat vor dem herannahenden Zug nicht rechtzeitig gewarnt. Beitragende Faktoren: Fehlen klarer Weisungen an die beauftragte Firma, das Sicherheitsdispositiv war nicht den durchgeführten Arbeiten angepasst, der private Sicherheitschef hat keine Einweisung vor Ort erhalten.	✓		✓		2
---------	------	----------	---------------	------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	---	--	---



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Schweiz	2012	6. Sep.	Langenthal, BE	Kollision Zug mit Zug (CH)	Beim Bremsen des Tfz bei Einfahrt in das besetzte Gleis bemerkte der Tf infolge des verdeckten Stellungszeigers nicht, dass der Steuerkontroller noch auf Stufe 8 stand und demnach Zugkraft ausübte. Im Gefahrenfall hat er versäumt die Schnellbremsstellung des Führerbremsventils zu nutzen, die Auswirkungen dessen sind in der Bedienungsanleitung des Tfz nicht dargelegt.	✓			(✓)		2
---------	------	---------	----------------	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	-------------	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2012	1. Sep.	Stansstad, NW	Brand (CH)	Die Ursache des Brands im Elektroschrank des abgestellten Triebzuges konnte nicht gefunden werden. Mögliche Ursachen: Eindringen von Regenwasser in den Elektroschrank durch undichte Stellen im Dach und daraus resultierender Kurzschluss. Kurzschluss in einem der Elektrolyt-Kondensatoren des Frequenzumrichters, Entstehen einer Überspannung unter Einbezug anderer Bauteile.		?	?			2
Schweiz	2012	28. Aug.	Simplon, VS	Arbeitsunfall (CH)	Ein Rollwagen wurde vor im Rahmen einer geschobenen Rangierbewegung für Bauarbeiten vor einen Zug gesetzt. Auf diesem Wagen fuhren zwei Personen mit. Da der Rollwagen hierfür nicht geeignet war, kam es zum Unfall.	✓					2
Deutschland	2012	21. Aug.	Berlin-Tegel	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2012	21. Aug.	Ecublens, VD	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Eine Lok mit zwei abgestellten Wagen wurde weder durch die Handbremse noch Luftbremse noch Hemmschuh gesichert. Die Wagen setzen sich demnach in Bewegung und durchbrechen einen Prellbock. Das Personal war nicht ausreichend geschult.	✓			(✓)		2
Schweiz	2012	19. Aug.	St-Imier, BE	Gefahrgutereignis (CH)	Ein wahrscheinlich überfüllter Gasbehälter wird unter Sonneneinstrahlung so stark erwärmt, dass es zur Explosion kommt. Als beitragender Faktor wies der Behälter bereits einen schlechten Materialzustand in Nähe der Schweißnaht auf.	✓					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2012	19. Aug.	Martigny, VS	Personenunfall (CH)	Nach erfolgter Türschließung (UIC 13-polig) wollen zwei Passagiere noch einsteigen und öffnen die Tür wieder. Als der zweite Passagier einsteigen will, setzt sich der Zug in Bewegung und die Person stürzt zwischen Zug und Bahnsteigkante.			✓	(✓)		2
Deutschland	2012	26. Jul.	Hosena	Zugkollision (D)	Tf führt keine ordnungsgemäße Bremsprobe durch → geschlossener Absperrhahn in Hauptluftleitung → ungenügende Bremsleistung → Zug fährt am Halt zeigenden Signal vorbei → Kollision mit anderem Zug	✓					1
Deutschland	2012	24. Jul.	Stuttgart Hbf	Zugentgleisung (D)	Versagen der Puffer		✓				1
Deutschland	2012	25. Jun.	Eilendorf – Aachen-Rothe Erde	Fahrzeugbrand (D)	Ungeklärte Ursache → Isolationsfehler → Hoher Fehlerstrom → erhöhte Wärentwicklung der Leitung → Fahrzeugbrand		✓				1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2012	21. Jun.	Oberwinterthur, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Fdl beschließt sich nach bereits gestellter Rafa, dem anderen Zug den Vortritt zu geben, löst die Rafa auf und stellt die neue ein. Die Rangierfahrt, die ursprünglich zuerst fahren sollte, <i>beachtet den Haltfall der Zwergsignale nicht</i> und überfährt diese. Trotz Schnellbremsung beider Züge kann die Kollision nicht verhindert werden.	✓						2
Schweiz	2012	13. Jun.	Mezzovico - Rivera, TI	Brand (CH)	italienischer Bericht							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2012	1. Jun.	Genève, GE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Die Rangierfahrt wurde fälschlicher Weise über ein besetztes Gleis geleitet und der Tf hat die Geschwindigkeit nicht angepasst. Der Tf wurde vom Fdl nicht darüber informiert, dass der Fdl keine Zustimmung für die die Fahrt bis in das angefragte Gleis gegeben hat. Zusätzlich war die Bremse eines der drei Wagen nicht funktionsfähig, was jedoch dementsprechend am Wagen gekennzeichnet war, aber den Beteiligten nicht bewusst.	✓						2
---------	------	---------	------------	-------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	--	--	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2012	1. Jun.	Goppenstein, VS	Sonstiges (CH)	<p>Die Wählerexplosion ist darauf zurückzuführen, dass wegen eines technischen Defekts am Lastschalter 24/4 der Wähler unter Strom kommutiert hat.</p> <p>Der technische Defekt am Lastschalter erklärt sich wie folgt: Wegen fehlenden Splinten hat sich die Kronenmutter des unteren Gelenk-Lastschalters 24/4 im Laufe der Zeit selber gelöst.</p> <p>Danach ist die Achse herausgefallen.</p>		✓				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2012	24. Mai.	Zweilütschinen, BE	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Die Kollision der Bauzugskomposition mit der abgestellten Reisezugskomposition in ist darauf zurückzuführen, dass der Bauzug abrollte und mit ungenügender Bremswirkung nach Zweilütschinen fuhr. Zum Unfallhaben beigetragen: dass der abgestellte Bauzug nicht mit Hemmschuhen gesichert wurde; die Kontrolllampe im Führerstand bereits nach 7 Umdrehungen des Handbremsrades leuchtet, bei dieser Stellung der Handbremse aber die volle Bremswirkung (18 Umdrehungen) noch lange nicht erreicht ist.	✓	(✓)				2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2012	8. Mai.	Schmitten, FR	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Sicherheitsverantwortliche bei Bauarbeiten am Gleis meldet das Gleis frei, obwohl dieses noch durch einen Teil des Bauzuges belegt ist. Beitragende Faktoren: Unklare Regelung der Zuständigkeiten im Sicherheitsdispositiv, private Sicherheitsverantwortliche verfügen nur über begrenzte Erfahrungen mit Bauarbeiten im Bahnbetrieb	✓			(✓)		2
Schweiz	2012	6. Mai.	Kloten, ZH	Arbeitsunfall (CH)	Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass der Rangierleiter A beim Versuch, auf das Hilfsdrehgestell der fahrenden geschobenen Rangierfahrt aufzusteigen über den Deckel der Weiche 120 gestolpert und zwischen die Schienen gefallen ist.						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2012	17. Apr.	Biel/Bienne, BE	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Im Rahmen von Gleisarbeiten wurde die Sperrung für das falsche Gleis angefragt. Der sich nähernde Zug konnte jedoch rechtzeitig halten. Beitragender Faktor: lückenhafte Ausbildung für den "Sicherheitschef CFF"	✓			(✓)		2
Deutsch- land	2012	13. Apr.	Mühlheim Ost – Hanau Hbf	Zugkollision (D)	Zweiwegebagger wird wegen einer Gleisverwechslung auf falschem Gleis eingeleist, das nicht gesperrt war	✓					1

Schweiz	2012	13. Apr.	Liestal, BL	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Die Kollision zwischen Zug 3160 der WB und dem Lieferwagen ereignete sich, da der Lieferwagen unmittelbar vor dem Triebfahrzeug nach rechts abbog und den unbewachten Bahnübergang befuhr. Beitragende Faktoren: Der ortsunkundige Fahrer des Lieferwagens fuhr auf der Waldenburgerstrasse parallel zum Streckengleis der WB Richtung Bubendorf Bad. Beim unbewachten Bahnübergang „Neuhof“ bog er nach rechts ab. Er hat dabei den rechts in gleicher Richtung fahrenden Zug 3160 nicht beachtet und auch die Achtungspiffe nicht gehört.			✓			2
Schweiz	2012	23. Mrz.	Chiasso, TI	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	italienischer Bericht						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2012	13. Mrz.	Basel, Kleinhüningen Hafen, BS	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Die Entgleisung ist auf die Zwitterstellung der Weiche zurückzuführen. Beitragende Faktoren: Die Stellung des Weichenschalters der Weiche 98 konnte vom Standpunkt des Fahrdienstleiters Höhe Fenster Stellwerk 2 aus nicht einwandfrei erkannt werden; das Weichensignal der Weiche 98 dürfte nicht in der Endlage gewesen sein. Allerdings ist eine Fehlstellung des Weichensignals für den Rangierleiter nicht in jedem Fall eindeutig erkennbar.	✓	(✓)				2
Schweiz	2012	8. Mrz.	Autigny, FR	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Im Rahmen von Arbeiten an der Oberleitung begeben sich zwei Monteure auf einer Hebebühne ins Lichtraumprofil des vorbeifahrenden Zuges auf dem anliegenden Gleis. Der Sicherheitschef hat nicht korrekt gehandelt.	✓					2

Schweiz	2012	8. Mrz.	Affeltrangen, TG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Die Kollision ist auf das Befahren des Bahnübergangs bei geschlossener Halbschranke durch das Auto zurückzuführen.			✓				2
Schweiz	2012	24. Jan.	Baar, ZG	Personenunfall (CH)	Gestörte Türfunktion am rechten Gepäcktor. Der Einklemmschutz konnte den eingeklemmten Unterarm des Postangestellten nicht erkennen. Beitragende Faktoren: Nichtbeachten des Warntons der Türschliessung durch den Postangestellten, Bedienung des Gepäcktors an der dem Fahrgastwechsel abgewandten Seite.		✓	✓	(✓)			2
Deutschland	2012	21. Jan.	Langenselbold – Hailer-Meerholz	Zugentgleisung (D)	Ungeklärter Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel		✓					1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2012	15. Jan.	Matzingen, TG	Personenunfall (CH)	Unaufmerksames Überschreiten des Gleises durch die Verunfallte. Zum Unfall hat beigetragen, dass auf Gleis 2 (ohneschienenfreien Zugang) bereits Zug 7138 bereit war, Fahrgäste aufzunehmen.			✓	(✓)		2
Deutschland	2012	13. Jan.	Stedesand – Langenhorn	Zugkollision (D)	Entlaufende Rinderherde wird von Zug erfasst			✓			1
Schweiz	2011	26. Dez.	Aarberg, BE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Entgleisung einer Wagengruppe wegen eines vergessenen <i>Hemmschuhs</i> .	✓					2
Schweiz	2011	16. Dez.	Tramelan, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Wegen eines Sturms stürzt ein <i>Baum auf das Gleis</i> und verursacht die Entgleisung des Zugs. Der Tf kann trotz Schnellbremsung nicht rechtzeitig anhalten.			✓			2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2011	15. Dez.	Münchenstein, BL	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Vermutlich unbefugte <i>Weichenumlegung durch Dritte</i> . Der Weichenhebel stand in korrekter Lage, nicht aber die Weichenzungen, sodass sich die Weiche unter dem Zug umstellte und es zur Entgleisung kam. Weiche befand sich in direkter Nähe zur Straße ohne wirksame Barriere.			✓				2
Schweiz	2011	25. Nov.	Romanshorn, TG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Die Entgleisung erfolgte wegen der <i>nicht korrekt anliegenden Weichenzunge</i> bei der Doppelkreuzungsweiche (zu hohes Klaffmaß)		✓					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2011	24. Nov.	Thun, BE	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Die Aussage des Fahrdienstleiters betreffend der "Auflösung" der Fahrstrasse wird mit dem Beistellen der Schiebelok verbunden. In Bezug auf die Rücknahme der Restfahrstrasse ist dies nicht folgerichtig. Diese Restfahrstrasse wurde zurückgenommen, um die Fahrstrasse für den IC einzustellen. Der Lokführer von Zug 48607 hat die Zusatzsignalisierung (ZS 249A) nicht beachtet und hatte somit auch nicht die Zustimmung, am Fahrt zeigenden Gruppensignal J259 vorbeizufahren.	✓						2
---------	------	----------	----------	------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	--	--	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	22. Nov.	Rueun, GR	Kollision Zug mit Zug (CH)	<p>Die Vorschriften für Rangierbewegungen wurden nicht eingehalten (<i>mangelhafte Kommunikation</i>); im automatischen Betrieb <i>erkennt die Stellwerkstechnik nicht, wenn Weichen noch nicht in der richtigen Lage für den automatischen Betrieb liegen.</i></p> <p>Dadurch werden Rangierfahrten vom im automatischen Betrieb nicht gesicherten Bereich in den Bereich des automatischen Betriebs möglich. Diese Rangierfahrten werden durch die Sicherungsanlage erkannt (Gleisbelegung), führen aber nicht zu einem betrieblich sicheren Zustand.</p>	✓	✓			Die Verwendung der GSM-Public Mobiltelefone für fahrdienstliche Aufgaben ist in einer Betriebsvorschrift zu regeln.	2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	2. Nov.	Lenzburg, AG	Sonstiges (CH)	Die Falschanzeige im Gleissicherungssystem (Gleisstromkreise, fälschlicherweise als „FREI“ gemeldete Gleisabschnitte) wurde durch <i>verschmutzte Radflächen</i> verursacht. Bei den Wagen mit Klotzbremsen wurde diese Verschmutzung durch die Klötze eliminiert, was bei den Wagen mit Scheibenbremsen nicht geschah.		✓	?			2
Schweiz	2011	31. Okt.	Frenkendorf, BL	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Weiche wurde vor der Rangierbewegung aufgeschnitten.	✓					2
Schweiz	2011	26. Okt.	Morges, VD	Personenunfall (CH)	Der Unfall ereignete sich weil Fahrgäste die Wagentüre nach erfolgter Schliessung durch den Zugchef wieder öffnen konnten (UIC 13-polig). Ein weiterer Reisender wollte dort einsteigen, als sich der Zug in dem Moment in Bewegung setzte. Er stürzte und geriet zwischen Zug und Bahsteigkante.			✓	(✓)		2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	24. Okt.	Sion, VS	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Die beiden vorderen Wagen einer geschobenen Rangierbewegung waren nicht mit dem Rest des Zuges gekuppelt. Beim Bremsen durch den Tf liefen die beiden Wagen weiter und kollidierten mit abgestellten Wagen.	✓					2
Schweiz	2011	22. Okt.	Thalwil, ZH	Personenunfall (CH)	Der Unfall ereignete sich weil ein Fahrgast die Wagentüre nach erfolgter Schliessung durch den Zugchef wieder öffnen konnte (UIC 13-polig). Er stürzte und geriet zwischen Zug und Bahsteigkante.			✓	(✓)		2

Schweiz	2011	15. Okt.	Altdorf, UR	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Zug ist bei geschlossenem Ausfahrtsignal abgefahren. Wegen eines ungenügenden Durchrutschwegs und obwohl die Zugsicherung (Euro- signum Funktion) angesprochen hat, ist der Zug 42 m nach dem Signal im Lichtraumprofil des Gleises 4 zum Stillstand gekommen, wo eine Durchfahrt für den ICN Zug eingestellt war. Eine Abfahrverhinderung am Signal und ein spur-bewirkter Flankenschutz für die Weiche 21 fehlen.	✓			✓		2
Schweiz	2011	11. Okt.	Ulisbach, SG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Der Autolenker ist unmittelbar vor dem herannahenden Zug auf den Bahnübergang ge- fahren. Trotz Achtungspfeif und Schnellbremsung des Lokführers konnte der Zusam- menstoss nicht verhindert werden.			✓			2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	6. Okt.	Olten, SO	Kollision Zug mit Zug (CH)	Vorbeifahrt am Halt zeigenden Signal, D-Weg zu kurz um Zug rechtzeitig vor Gefahrenpunkt zu stoppen (dennoch vorschriftsgemäß).	✓			(✓)		2
Deutschland	2011	4. Okt.	Frellstedt	Zugentgleisung (D)	Herstellungsfehler bei Radsatz → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel		✓				1

Schweiz	2011	25. Sep.	Rothenburg - Sempach, LU	Kollision Rangierbewegung mit Rangierbewegung (CH)	Die Kollision ist auf die nicht den Sichtverhältnissen angepasste Geschwindigkeit der Rangierbewegung 2 zurückzuführen. Zum Unfall haben beigetragen: die unvorhergesehene Überführung einer Krampmaschine, das fehlende Licht am letzten Wagen der Rangierbewegung 1, Die defekte Arbeitsstellenlampe am Fahrleitungsmast, der unvorhergesehene Halt der Rangierbewegung 1, die fehlende Verständigung des Personals der Rangierbewegung 2 betreffend den Anfang der Arbeitsstelle durch den Sicherheitschef, wenig Erfahrung des Rangierers der Rangierbewegung 2	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2011	22. Sep.	Rangierbahnhof Limmattal, AG	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung ist darauf zurückzuführen, dass der Xaas (Niederflurwagen) entgegen den Vorschriften in ein "Dowty-Gleis" gestellt wurde. Er entgleiste in der Folge bei der Ausfahrt im Dowty-Abschnitt bei einer v _{max} von 7,3 km/h (vorgeschrieben: 5 km/h). Beitragende Faktoren: Infolge des fehlenden „Code 18“ in der CIS-Liste und der schlecht sichtbaren Wagenanschrift mit dem Zeichen für Wagen, welche Gleisbremsen und andere Rangier- und Hemmeinrichtungen in wirksamer Stellung nicht befahren dürfen, wurde der Wagen an den Schluss von Zug 62421 in Gleis 617 gestellt.	(✓)		(✓)		2
---------	------	----------	------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	--	-------------	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	22. Sep.	Ramsei, BE	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung ist auf die Fahrt über eine nicht verschlossene Weiche zurückzuführen. Durch die Erschütterung der über die Weiche fahrende Zugspitze verschoben sich die Weichenzungen in eine Mittellage und die nachfolgenden Drehgestelle entgleisten. Beitragende Faktoren: Der Weichensteller hat die Weiche 5 vorzeitig für die Einfahrt eines erst später folgenden Güterzuges umgestellt.	(✓)			(✓)		2
Deutschland	2011	21. Sep.	Bleicherode Ost	Zugkollision (D)	Alkoholisierter FdI und Ww stellen Fahrweg, obwohl ein Triebfahrzeug den Fahrweg blockiert (mangelhafte Fahrwegprüfung); Örtliche Richtlinie enthält unklare Fahrwegsprüfungsbezirke	✓			✓		1
Deutschland	2011	20. Sep.	Bad Lausick – Belgershain	Bahnübergangsunfall (D)	Transporter fährt auf am BÜ haltenden PKW auf und schiebt ihn auf die Gleise			✓			1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2011	11. Sep.	Werlau – St. Goar	Zugkollision (D)	Unwetterartige Regenfälle → Murgang → Kollision des Zuges mit Geröll auf Gleis			✓			1

Schweiz	2011	11. Sep.	Maienfeld, GR	Personenunfall (CH)	Der Verunfallte wollte, trotz anfahrendem Zug, diesen während der Fahrt verlassen. Er kam dabei ins Straucheln und stürzte. Er fiel so unglücklich, dass er unter den Zug ge-zogen und seine Beine überrollt wurden. Beitragende Faktoren: Der Zug ist mit einer Türschliessung gem. Prinzip "UIC-13-polig" ausgerüstet. Dieses System garantiert nur eine zeitlich bedingte Verriegelung der Türen (bis zum Erreichen der V-max. 5 km/h) während dem Anfahrvorgang.			✓			2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2011	8. Sep.	Rochers de Naye, VD	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Zahnräder der Zahnradbahn haben an einer Baustelle die Zahnschiene verfehlt, da nur eine anstelle von zwei Zahnschienen vorhanden waren. Zudem war das Gleis nicht richtig ausgerichtet und nicht ausreichend mit Traversen gestützt. Die Neigung zwischen dem alten und neuen Gleis auf der Baustelle war zu hoch.	✓			✓		2
Schweiz	2011	22. Aug.	Finhaut, VS	Starkstromunfall (CH)	Mitarbeiter erhält bei Arbeiten an der Stromschiene einen Stromschlag an der nicht abgeschalteten Stromschiene. Die Organisation der Arbeiten und der Sicherheit auf der Arbeitsstellen wiesen Mängel auf.	✓			✓		2
Schweiz	2011	8. Aug.	Döttingen, AG	Kollision Zug mit Zug (CH)	Tf ist mit privatem Problem beschäftigt und überfährt Halt zeigendes Signal.	✓					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2011	5. Aug.	Immensee, SZ	Arbeitsunfall (CH)	Portalkran erfasst bei Beladung von Güterwagen mit Gleisjochen zwei Gleismonteur. Die Sicht auf die Unfallstelle für den Maschinisten war eingeschränkt. Der Anhalteweg für den Portalkran ist bei Stellung des Hebels in 0-Position kürzer als bei Stellung in Rückwärtsposition.	(✓)		(✓)		2
---------	------	---------	--------------	-----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	--	-------------	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	30. Jul.	Zürich HB, ZH	Personenunfall (CH)	Dass ein Fahrgast auf die Rangierfahrt 194R mitgenommen worden ist, ist darauf zurückzuführen: dass durch die bestehenden Vorschriften nicht sichergestellt werden kann, dass sich im rangierenden Zug keine Fahrgäste mehr befinden. Somit besteht Gefahr, dass diese ins Gleisfeld gelangen können; dass an diesem Tag der Rangierleiter (Rangierzug 194R) wenig strukturiert gearbeitet hat und dadurch kaum schadenmindernde Massnahmen zum Tragen kamen. Hinweis: Einzelne Mitarbeiter können falsche/fehlende Vorschriften nur sehr schwer kompensieren. Dass der Fahrgast aus dem Zug stürzen konnte, ist möglich, weil dieser während der Fahrt die Türe mit der Notöffnung geöffnet hat.	✓		✓	✓		2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2011	26. Jul.	Berlin Ostbahnhof	Fahrzeugbrand (D)	Verschleiß an Stromschiene im Tfz → Wärentwicklung und Funkenüberschlag → Fahrzeugbrand		✓				1

Schweiz	2011	6. Jul.	Delémont-Soyhières, JU	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Radfahrer befährt trotz erfolgtem Pfeifsignal an Pfeiftafel ungesicherten BÜ und wird trotz erneutem Achtungssignal und Schnellbremsung von Zug erfasst.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2011	1. Jul.	Winteregg (BLM), BE	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Ortsunkundiger Tierarzt verfährt sich mit Pkw und kommt auf immer enger werdenden Weg, der entlang der Bahnlinie führt und nicht für Kfz-Verkehr freigegeben ist (missverständliche Beschilderung). Er versucht auf ungesichertem BÜ zu wenden, allerdings ist dieser nur für geländetaugliche Fahrzeuge ausgelegt, sodass er mit dem Wagen stecken bleibt. Als er die Gefahr erkennt, will er aussteigen. Der Zug kommt aus einer unübersichtlichen Kurve und kollidiert trotz Schnellbremsung mit dem Pkw.			✓	(✓)		2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	29. Jun.	Luzern, LU	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Die Unfallursache konnte nicht eindeutig ermittelt werden. Als mögliche Ursache steht ein Stromunterbruch, infolge vorzeitigen Schliessens der Türe zum Lokalschaltposten durch Mitarbeiter oder Dritte im Vordergrund.	?					2
Schweiz	2011	28. Jun.	Basel RB, BL	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Gleisverwerfung infolge von hoher Temperatur		✓				2
Schweiz	2011	23. Jun.	Niederbipp, BE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Wegen eines Missverständnisses zwischen Fdl und Rangierteam wird eine Entgleisungseinrichtung unter einer fahrenden Lok scharf gestellt.	✓					2
Schweiz	2011	19. Jun.	Simplontunnel	Brand (CH)	<i>"Der Brandplatz befand sich auf italienischem Staatsgebiet, weshalb das Ereignis durch die italienische Strafverfolgungsbehörde untersucht und rapportiert wird"</i>						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	15. Jun.	Vevey, VD	Personenunfall (CH)	Wegen fehlenden Einklemmschutzes (UIC 13-polig) wurde der Arm einer Person in einer Tür beim Versuch einzusteigen eingeklemmt. Die Sicht auf die Tür war für das Zugpersonal wegen der Kurvenlage des Gleises eingeschränkt. Der Tf verfügt über keine Kontrolllampe für die Türschließung.		(✓)				2
Schweiz	2011	8. Jun.	Langwies GR, GR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Achsbruch eines Güterwagens infolge von Ermüdung		✓				2

Schweiz	2011	2. Jun.	St. Gallen, SG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Rangierfahrt überfährt bereits aufgeschnittene Weiche. Bei der gezogenen Rangierfahrt dürften sich die Weichenzungen nach der Vorbeifahrt des vorderen Zugteils durch die entstandenen Erschütterungen verschoben, bzw. umgelegt haben. Der hintere Zugteil wurde in ein anderes Gleis geleitet und es kam zur Entgleisung.	✓						2
Schweiz	2011	31. Mai.	Breitlauenen, BE	Kollision Zug mit Zug (CH)	Der Tf ist ohne Abfahrerlaubnis der Zugbegleiterin (2-Mann-Betrieb) losgefahren obwohl noch ein weiterer Zug hätte kreuzen müssen.	✓						2
Deutschland	2011	20. Mai.	Müllheim	Zugentgleisung (D)	Schleifende Bremse → Wärementwicklung → Ermüdungsrisse → Radscheibenbruch		✓					1
Schweiz	2011	17. Mai.	Ambri-Piotta, TI	Brand (CH)	italienischer Bericht							2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2011	15. Mai.	Rafz, ZH	Personenunfall (CH)	Person läuft entlang abfahrbereiten Zug. Bei Abfahrt verliert er das Gleichgewicht und fällt zwischen Bahnsteig und Bahnsteigkante.			✓				2

Schweiz	2011	7. Mai.	Effingen, AG	Sonstiges (CH)	Infolge von Materialermüdung brechen die Schrauben an einer Schleifeinrichtung und der herunterhängende Teil der Schleifeinrichtung auf dem Güterzug beschädigt die Infrastruktur.			✓				2
Schweiz	2011	29. Apr.	Vernier, GE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Maximal zulässige Geschwindigkeit von 10 km/h im Anschlussgleis wurde um 9 km/h überschritten. Der Befehl "1 Wagen" wurde vom Rgl zu spät übermittelt.	✓						2
Schweiz	2011	28. Apr.	Klosters, GR	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Polier einer Drittfirma beginnt mit Arbeiten im Gleis ohne gültiges Sicherheitsdispositiv und entgegen der "Erklärung des Unternehmers" vorzeitig und ohne Gleissperrung.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2011	25. Apr.	Muntelier, FR	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Auto fährt an geschlossener Halbschranke vorbei und wird trotz Schnellbremsung vom Zug erfasst.			✓				2

Schweiz	2011	14. Apr.	Matzingen, TG	Personenunfall (CH)	Fahrgast verabschiedet sich von Kollegen während des Umsteigens. Beim Gleiswechsel bemerkt sie trotz Lokpfeife nicht den einfahrenden Zug und wird trotz Schnellbremsung von diesem erfasst. Beitragender Faktor des Unfalls war die Einfahrt des zweiten Zuges auf das dem Aufnahmegebäude näher liegende Gleis. Die Ansteuerung der Gleise erfolgt in dem Bahnhof beliebig.			✓	(✓)		2
Deutschland	2011	8. Apr.	Hannover Linden	Zugentgleisung (D)	Schlammstelle → Gleislagefehler → Entgleisung; Es wurde keine turnusgemäße Gleisbegehung durchgeführt, sodass die Schlammstelle unentdeckt blieb	(✓)	✓				1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2011	8. Apr.	Bad Endorf – Landl	Zugentgleisung (D)	Lagerschaden → Heißläufer → Entgleisung; Tf in entgegenkommenden Zügen haben auf Schaden hingewiesen, jedoch wurden die Meldungen nicht erst genug genommen	(✓)	✓				1
Schweiz	2011	8. Apr.	Rosé, FR	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Missverständnis wegen mangelhafter Kommunikation zwischen Gleisarbeitern und Fdl über Gleissperrung	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	7. Apr.	Brig, VS	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Bedienungsfehler: Einlaufen der gespeicherten Rafa (O21-O7) nach Freilegung der Weiche 443 -- Bedienen der Betriebsauflösung -- Verlangen einer Rafa über die Weiche 443/442 kurz bevor die Rangiermaschine die Isolierung berührt, der Weichenumlauf jedoch erst einsetzt nachdem die Weichenzunge von der Rangiermaschine festgeklemmt wird, dann aber im "Freiraum" zwischen den Drehgestellen umläuft	✓					2
Schweiz	2011	5. Apr.	Basel RB, BL	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Ein unsachgemäß verlegter Kabelkanal im Rahmen von Kabelarbeiten wurde im Rangierbahnhof (mit Ablaufberg) so verlegt, dass er das Weichensignal blockierte. Damit konnte die Weiche nicht die Endlage erreichen und die Wagen sind entgleist.			✓			2

Schweiz	2011	29. Mrz.	Zofingen, AG	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Rgl stellt Wagen ab und sichert diesen nur durch Entlüftung der Hauptleitung und Kontrolle des Anliegens der Bremsklötze (nicht ausreichend). Da zusätzlich eine Schraubenverbindung am Wagen nicht richtig angezogen war, entleerte sich die Bremsleitung des Wagens, sodass dieser sich in Bewegung setzte und mit einem verkehrenden Güterzug kollidiert.	✓	(✓)						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2011	15. Feb.	Wankdorf - Löchligut, BE	Sonstiges (CH)	Durch eine Kombination ungünstiger Faktoren (Auslegerarm in oberster Position wegen ungünstiger Platzverhältnisse, kein Werkzeug am Ende des Löffelstiels, zusätzliches Gegengewicht eingebaut, Fahrwerk wegen enger Platzverhältnisse nicht ausgefahren) kommt es zum Absturz eines Baggers von einer abzureißenden Autobahnbrücke auf die darunter liegenden Bahngleise.			✓			2
Schweiz	2011	14. Feb.	Forch, ZH	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Trotz funktionierender Blinklichtanlage und akustischem Signal befährt ein Pkw den BÜ. Trotz Schnellbremsung und Achtungssignal kann der Tf die Kollision nicht verhindern.			✓			2

Schweiz	2011	12. Feb.	Basel RB, BS	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	Beim Abstellen von drei Lokomotiven wurde nur die Handbremse im vordersten Führerstand angezogen. Nachdem die ersten zwei Lokomotiven für eine andere Zugkomposition abgeholt wurden, stand die dritte ungebremst im Stumpfgleis. Nach Erschöpfen der pneumatischen Bremsen entließ die Lok und fuhr in die Flanke eines verkehrenden Güterzugs.	✓							2
Deutschland	2011	11. Feb.	Gröbers – Großkugel	Zugentgleisung (D)	Gleislagefehler → Aufschaukeln von leeren Wagen → Entgleisung; Instandhaltungsmaßnahmen wurden nicht durchgeführt, weil das Gleis zu einem späteren Zeitpunkt komplett erneuert werden sollte	(✓)	✓						1
Schweiz	2011	11. Feb.	Bellinzona, TI	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	italienischer Bericht								2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		

Schweiz	2011	5. Feb.	Chiasso, TI	Kollision Rangierbewegun g mit Hindernis (CH)	italienischer Bericht							2
---------	------	---------	-------------	--------------------------------------------------------	-----------------------	--	--	--	--	--	--	---



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Schweiz	2011	4. Feb.	Wengen, BE	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	Die Fdl gibt dem Zug bewusst den Befehl zur Vorbeifahrt am Halt zeigenden Signal, <i>obwohl sich noch eine Rangierbewegung zum Holz abholen im Streckengleis befindet</i> , worüber die Fdl den Tf auch informiert. Der Rangierbewegung gibt die Fdl direkt daraufhin den Befehl zum zurückkehren in den Bahnhof. Der Tf des Zugs ist zu dem Zeitpunkt schon losgefahren und protokolliert (nicht vorschriftsgemäß) <i>während der Fahrt</i> die Handlung. Als er wieder seinen Blick auf die Strecke wirft, erblickt er die schon kurz vor dem Zug stehende Rangierbewegung, die sich gerade in Bewegung setzen will. Trotz Schnellbremsung kommt er nicht rechtzeitig zum Stehen.	✓					2
---------	------	---------	------------	----------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	--	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2011	29. Jan.	Hordorf	Zugkollision (D)	Tf missachtet Signal und kollidiert mit Zug; Strecke hatte keine Zugbeeinflussung	✓			(✓)		1
Schweiz	2011	19. Jan.	Frauenfeld, TG	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Tf hat die zulässige Geschwindigkeit überschritten und das dauerhaft auf "Fahrt mit Vorsicht" stehende Rangiersignal missachtet.	✓					2
Schweiz	2010	29. Dez.	Gränichen, AG	Personenunfall (CH)	Unvorsichtiges Betreten des Bahngleises trotz herannahendem Zug			✓			2
Schweiz	2010	17. Dez.	Zofingen, AG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Infolge der grossen Schneemenge liess sich der Rangierleiter dazu verleiten, vorzeitig abzusteigen und die Rangierbewegung weiterfahren zu lassen. Vom Boden aus konnte er den Fahrweg nicht mehr überblicken.	✓					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2010	16. Dez.	Lutry, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Für Arbeiten zum Entfernen von Eis im Tunnel von der Oberleitung fragt der Beauftragte die Abschaltung der Oberleitung und beim Fdl die Sperrung des Gleises an. Bei der Sperrung des Gleises kommt es jedoch zu einem Missverständnis: Statt Gleis 1 in Lutry wird Gleis 1 in Cully gesperrt. Ein Zug fährt in das Gleis ein, wo gearbeitet wird, bekommt jedoch wegen der abgeschalteten Oberleitung keinen Strom mehr und bleibt rechtzeitig stehen. Für die Arbeiten wurde das vorgesehene Sicherheitsdispositiv nicht geführt. Die vorgesehenen Dokumente für die Abschaltung der Oberleitung und die Gleissperrung wurden nicht genutzt (Damit hätte das Missverständnis vermieden werden können.) Der Fdl hat die Sperrung des Gleises nicht protokolliert, die	✓						2
---------	------	----------	-----------	------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	--	--	--	---



					Handlungen wurden lückenhaft quittiert.							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2010	15. Dez.	Niederteufen, AR	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Pkw befährt funktionierenden mit Blinklichtern gesicherten BÜ und wird von Zug erfasst. Das akustische Signal wurde durch den Schneefall gedämpft.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2010	7. Dez.	Renens, VD	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	<p>Beim Einschalten des mit Schranken und Lichtsignalen gesicherten BÜ überfährt ein Autofahrer noch bei gelb den BÜ. Da er sich an der direkt dahinter liegenden Kreuzung nicht einordnen kann, muss er auf dem BÜ stehen bleiben. Die Schranken senken sich und ein Zug kommt. Die Insassen steigen rechtzeitig aus, um sich in Sicherheit zu bringen, der Zug erfasst trotz Schnellbremsung den Pkw. Aufgrund der begrenzten Sichtverhältniss an der Kreuzung hat der Pkw-Fahrer nicht die Induktionsschleife befahren, die dem Verkehr an der Kreuzung ein rotes Signal beschert hätte, damit er sich hätte einfädeln können.</p>			✓	(✓)		2
---------	------	---------	------------	---------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	---	-------------	--	---



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Schweiz	2010	3. Dez.	Lausanne Triage, VD	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Wagen kollidieren nach Ablaufberg, da die ersten beiden Wagen sehr stark an Geschwindigkeit verlieren. Mehrere Faktoren: Eis auf den Herzstücken, viel Schnee zwischen Schienen und Leitschienen, die Verlangsamung fand nach dem Gefälle des Ablaufbergs statt.			✓			2
---------	------	---------	---------------------	----------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	---	--	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	1. Dez.	Biel/Bienne, BE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Fdl stellt nach Missverständnis falsche Fahrstraße ohne den Rgl darüber zu informieren. Zudem beachtet der Rgl nicht das Zwergsignal, welches "Fahrt mit Vorsicht" signalisierte, da er davon ausging, in das richtige Gleis zu fahren.	✓			(✓)	Wir empfehlen die Ausführungsbestimmungen zu den Fahrdienstvorschriften n AB FDV Infrastruktur zu ergänzen. Aus Sicherheitsgründen ist dem Lf oder Rangierleiter vorzuschreiben in genügender Distanz vor einem „Fahrt mit Vorsicht“ zeigenden Zwergsignal eine Reaktion in Form einer Geschwindigkeitsreduktion durchzuführen.	2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	1. Dez.	Neuchâtel, NE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Rgl stürzt vom Fußtritt bei der ersten Bremsung des Tf und verliert das Bewusstsein. Da der Tf dann keine Befehle mehr erhält und der Kontrollton am Funkgerät eingeschaltet bleibt, kollidiert er mit den abgestellten Wagen.		✓				2
Deutschland	2010	28. Nov.	Neustrelitz – Kratzeburg	Sonstige Kollision (D)	Tf einer Rangierfahrt kollidiert wegen mangelhafter Fahrwegbeobachtung und überhöhter Geschwindigkeit mit stehendem Zug	✓					1
Schweiz	2010	19. Nov.	Untervaz, GR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Defekter Fahrschalter (Bremsen) an der Rangierlok		✓				2
Schweiz	2010	14. Nov.	Biasca, TI	Entlaufenes Fahrzeug (CH)	italienischer Bericht						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2010	5. Nov.	Rangierbahnhof Limmattal, ZH	Arbeitsunfall (CH)	Tf fährt ohne Fahrtbefehl des Rangierleiters los, da er die Handzeichen des Rangierbegleiters als Fahrtbefehl interpretiert. Der Rangierleiter, der sich zu dem Zeitpunkt an die Lok im vorderen Bereich lehnte, ist gestürzt und verletzt worden.	✓						2
Schweiz	2010	2. Nov.	Triengen, LU	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Eine Weiche wurde unerlaubter Weise durch Dritte unter der Wagenkomposition umgestellt. Der Rangierleiter hat unter Zeitdruck die richtige Lage der Weiche vor Abfahrt nicht mehr kontrolliert.	✓		✓				2
Schweiz	2010	2. Nov.	Oberkulm, AG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Auto fährt rückwärts trotz eingeschalteter Blinklichtanlage über BÜ und wird von herannahendem Zug erfasst.			✓				2
Schweiz	2010	1. Nov.	Zürich Wipkingen, ZH	Personenunfall (CH)	Mann steigt aus Zug aus und stürzt beim Gehen entlang des Bahnsteigs plötzlich nach links zwischen Bahnsteigkante und Zug.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2010	29. Okt.	Chavornay, VD	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Eine geschobene Rangierkomposition mit der Lampe des Rangierers als einzige Beleuchtung am vordersten Fahrzeug überfährt einen BÜ. Eine Autofahrerin reagiert nicht rechtzeitig und kollidiert mit dem ersten Wagen.			✓			2
Schweiz	2010	28. Okt.	Vevey, VD	Personenunfall (CH)	Nachdem der Zugchef bis auf seine eigene Tür alle Türen geschlossen hat, will noch eine Person über die Tür des Zugchefs einsteigen, der ihr dies jedoch versucht zu untersagen. Die Person versucht es trotzdem und in dem Moment löst die automatische Schließung der Tür (bei Erreichung der Geschwindigkeit von 5 km/h) aus und die Person stürzt und gerät mit den Beinen zwischen Zug und Bahnsteigkante.			✓			2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2010	27. Okt.	Othmarsingen, AG	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Das Ereignis ist darauf zurückzuführen, dass der Sicherheitswärter die Unterhaltsequippe nicht gewarnt hat, obwohl keine Klarheit über die für den Zug 42027 eingestellte Fahrstrasse bestand. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten in Othmarsingen kann davon ausgegangen werden, dass ein Sicherheitswärter alleine mit den notwendigen Überwachungsmaßnahmen überfordert ist.	✓			✓		2
Schweiz	2010	27. Okt.	Gais, AR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Die Entgleisung ist auf die lose Bandage (rechtes Rad) der ersten Achse des Triebwagens BDeh 4/4 zurückzuführen. Zusätzlich wies die überfahrene Weiche geringe Abweichungen von den Kontrollmaßen auf.		✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2010	17. Okt.	Faido, TI	Brand (CH)	Die Kabel zwischen Batterie und Anlasser am Fahrzeug wurden unter Zugspannung befestigt. Dadurch wurde in Kombination mit den andauernden Erschütterungen des Fahrzeugs im Betrieb die Kabelisolation beschädigt. Durch einen Kurzschluss kam es zum Brand.		✓					2
Schweiz	2010	15. Okt.	Vaulruz-Sud, FR	Personenunfall (CH)	Der Zug hält außerplanmäßig auf anderem Gleis, welches zum Erreichen des planmäßigen Gleises überquert werden muss. Ein Reisender ist sich dem nicht bewusst und wird trotz Achtungssignal und Schnellbremsung vom Zug erfasst.			✓				2
Schweiz	2010	15. Okt.	Zürich Mülligen, ZH	Arbeitsunfall (CH)	Rangierleiter stürzt und fällt unter den ersten Wagen der geschobenen Rangierfahrt.	?		?				2
Schweiz	2010	6. Okt.	Rekingen, AG	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Tf überfährt bei Rangierfahrt Halt zeigendes Rangiersignal und entgleist auf der sich gerade umstellenden Weiche.	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2010	5. Okt.	Weinfelden, TG	Personenunfall (CH)	Person befindet sich bei Nacht aus unbekanntem Gründen im Gleis und wird von ca. 120 km/h schnell fahrendem Zug erfasst.			✓				2

Schweiz	2010	2. Okt.	Uzwil, SG	Personenunfall (CH)	Ein Aussteiger klopft nach Abfahrt des Zuges an die Scheibe und stürzt zwischen Zug und Bahnsteigkante.			✓				2
Schweiz	2010	28. Sep.	Frenkendorf, BL	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Zu hohe Geschwindigkeit, zu späte Befehlsübermittlung durch den Rangierleiter, Nichtbeachten des Fahrwegs durch den Rangierleiter.	✓						2
Schweiz	2010	17. Sep.	Sargans, SG	Personenunfall (CH)	Die Verunfallte wollte während oder nach der Abfertigung in den IR einsteigen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit hat sich der Zug bei geöffneter Tür in Bewegung gesetzt. In der Folge fiel die Verunfallte zwischen Perronkante und Wagen auf das Gleisbett. Die genauen Umstände, die das Einsteigen ermöglichten, konnten nicht abschliessend geklärt werden.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2010	15. Sep.	Magadino, TI	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Geschlossene Bremshahne bzw. ausgehängte Luftschläuche am aus Italien kommenden Güterzug. Ursache unklar. Bremsvorschriften wurden auf italienischer Seite nicht eingehalten.	✓						2

Schweiz	2010	7. Sep.	Vernayaz, VS	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Ein Lkw befährt den BÜ ohne den sich in gleicher Fahrtrichtung herannahenden Zug wahrzunehmen. Es kommt zur Kollision.			✓				2
Schweiz	2010	4. Sep.	Unterkulm, AG	Kollision Zug mit Straßenfahrzeug (CH)	Auto gerät ins Schleudern und bleibt auf Bahntrasse stehen. Der herannahende Zug kann trotz Notbremsung nicht rechtzeitig anhalten.			✓				2
Deutschland	2010	1. Sep.	Bacharach	Zugentgleisung (D)	Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel → Entgleisung; Tf hat Achse nicht richtig untersucht, nachdem HOA Alarm geschlagen hat	(✓)	✓					1
Schweiz	2010	28. Aug.	Münsingen, BE	Brand (CH)	Transformatorexplosion aufgrund eines Kurzschlusses in der Hochspannungswicklung		✓					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2010	27. Aug.	Plambuit, VD	Kollision Zug mit Zug (CH)	Zug lässt Halt zum Warten auf Kreuzung mit entgegenkommendem Zug auf eingleisigem Streckenabschnitt ohne Streckenblock aus. Es kommt zur Kollision.	✓						2
Schweiz	2010	25. Aug.	Küblis, GR	Arbeitsunfall (CH)	Auf einer Brückenbaustelle wurden bei der statischen Berechnung der Hilfsbrücke die dynamischen Beiwerte vernachlässigt, sodass es zum Einsturz der Brücke kommt.	✓						2

Schweiz	2010	24. Aug.	Paccot - MGN-MOB, VD	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Eine Weiche wurde wegen eines Defekts am Schalter nicht umgestellt. Durch die schlechten Sichtverhältnisse konnte der Tf nicht rechtzeitig reagieren.		✓					2
Deutschland	2010	17. Aug.	Lambrecht	Zugkollision (D)	Müllentsorgungsfahrzeug kommt von der Straße, stürzt auf die Gleise und wird von herannahendem Zug erfasst			✓				1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2010	8. Aug.	Vufflens-la-Ville, VD	Personenunfall (CH)	Zwei Personen überqueren unberaubter Weise ein Gleis auf freier Strecke. Trotz Schnellbremsung und Achtungssignal kann die Kollision nicht verhindert werden.			✓				2
Deutschland	2010	7. Aug.	Geldern	Sonstige Kollision (D)	Fdl und Ww stellen Fahrweg, obwohl stehende Triebfahrzeuge den Fahrweg blockieren (mangelhafte Fahrwegprüfung)	✓						1

Schweiz	2010	6. Aug.	Zürich, ZH	Kollision Zug mit Hindernis (CH)	Signal wurde durch Zuglenkung auf Fahrt gestellt, obwohl das Gleis noch durch eine Rangierkomposition belegt war.		✓			Die Begriffe „Zugfahrt“ und „Zugfahrstrasse“, insbesondere deren Startpunkt ist in den Fahrdienstvorschriften klar zu definieren	2
Deutschland	2010	26. Jul.	Falkenberg	Zugentgleisung (D)	Verschleisbedingt loser Radreifen		✓				1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	23. Jul.	Fiesch, VS	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Tf beschleunigt Zug einige Meter vor der signalisierten Geschwindigkeitserhöhung. Da sich die hinteren Wagen zu dem Zeitpunkt noch in der Kurve befanden, entgleisen diese.	✓					2
Schweiz	2010	19. Jul.	Zürich Herdern, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Fdl stellt falsche Fahrstraße ein. Der Rangiermitarbeiter erkennt den Fehler erst bei der Fahrt über die Weiche. Trotz Schnellbremsung kommt es zur Kollision mit abgestellten Wagen. Die Geschwindigkeit entsprach nicht dem Befehl "Fahrt mit Vorsicht".	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	17. Jul.	Morges, VD	Starkstromunfall (CH)	Ein junger Mann besteigt bei Nacht eine abgestellte Rangierlok und bekommt einen Stromschlag an der Oberleitung.			✓			2
Deutschland	2010	10. Jul.	Bielefeld	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Hohe Außentemperaturen → Ausfall der Klimanlage & hohe Auslastung der Personenwagen → Hitzestau im Wagen & keine ausreichende Frischluftzufuhr → Kreislaufprobleme bei Reisenden		✓		(✓)		1
Schweiz	2010	9. Jul.	Flumenthal, SO	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Autofahrer übersieht Blinklichtanlage und kollidiert mit Zug. Trotz Schnellbremsung kann der Tf die Kollision nicht verhindern.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2010	4. Jul.	Augsburg	Zugentgleisung (D)	Halb gefüllter Kesselwagen schaukelt sich in Weichenverbindung auf und entgleist		✓				1
Schweiz	2010	2. Jul.	Lausanne Flon, VD	Personenunfall (CH)	Eine Frau mit Hund will in den Zug einsteigen, allerdings schließt die Tür, bevor der Hund an der Leine auch im Zug ist. Der Zug setzt sich anschließend schon in Bewegung und ein Zeuge löst die Türöffnung aus. (Der Hebel zur Türöffnung und zur Notbremse können in Gefahrensituationen leicht verwechselt werden.) Der Tf bekommt die offene Tür im Führerstand gemeldet und führt eine Betriebsbremse aus. Dabei fällt eine weitere Person durch die offene Tür aus dem Zug und wird verletzt.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	30. Jun.	Montreux, VD	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Fdl hat einem Tf nicht mitgeteilt, dass er trotz laut Signal freigegebener Fahrt nicht weiterfahren darf, da das Gleis besetzt ist.	✓					2
Schweiz	2010	25. Jun.	Porrentruy, JU	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Zwei Reiterinnen werden auf dem BÜ von einem Zug erfasst. Der Tf kann die Kollision mit einer der Reiterinnen trotz Schnellbremsung und Achtungssignal nicht verhindern.			✓			2
Schweiz	2010	24. Jun.	Felsenburg, BE	Kollision Zug mit Zug (CH)	Tf überfährt Halt zeigendes Signal und erhält eine Zwangsbremsung, bleibt aber trotzdem erst im Lichtraumprofil der folgenden Weiche stehen. Der entgegenkommende Zug kollidiert mit dem zwangsgebremsten Zug.	✓			(✓)		2
Deutschland	2010	16. Jun.	Peine	Zugentgleisung (D)	Verschleisbedingt loser Radreifen; Fehlhandlungen der Fdl und des Tf beim Erkennen erster Anzeichen für den losen Radreifen	(✓)	✓				1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	6. Jun.	Emmenbrücke, LU	Personenunfall (CH)	Person überquert unerlaubter Weise das Gleis und wird vom Zug, der aus einer unübersichtlichen Kurve kam, trotz Schnellbremsung und Achtungssignal erfasst.			✓			2
Schweiz	2010	21. Mai.	Visp, VS	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	An einem Güterwagen des Zuges wurde die Radsatzlagerbüchse an der vorderen Achse links ausgehängt. Damit kam es beim Befahren einer Weiche zum "Schräglauf" der Achse und zur Entgleisung.	?	?	?			2
Schweiz	2010	20. Mai.	Genève, GE	Arbeitsunfall (CH)	Rangierleiter stößt sich beim Herauslehnen zur Kontrolle des Zuges den Kopf an einem Mast und fällt zu Boden.						2
Schweiz	2010	19. Mai.	Lausanne, VD	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Auszubildender Tf bremsst nicht ausreichend und durchbricht Prellbock. Weder der Ausbilder noch der Rangierleiter reagiert rechtzeitig auf die mangelhafte Bremsung.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	17. Mai.	Gotthardtunnel, UR	Sonstiges (CH)	Kurzschluss im Tunnel aufgrund einer abgerissenen Dachplane eines Sattelauflegers auf dem Zug. Die Dachblende des Lkw war nicht ordnungsgemäß befestigt worden.	✓					2
Schweiz	2010	16. Mai.	Ollon, VD	Personenunfall (CH)	Zwei Personen laufen mangels eines Bürgersteigs entlang einer Straße im Lichtraumprofil des Zuges. Sie waren davon ausgegangen, dass die Trasse stillgelegt war und einer von ihnen wurde trotz Achtungssignal und Schnellbremsung vom Zug erfasst.			✓			2
Schweiz	2010	10. Mai.	Emmen, LU	Arbeitsunfall (CH)	Rangierleiter steigt bei Rangierfahrt über Fronttür aus, stolpert und stürzt vor den den Zug.	?		?			2
Schweiz	2010	5. Mai.	Unterentfelden, AG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Lkw Fahrer überfährt mit Rotlicht gesicherten BÜ, Kollision trotz Signalhorn und Schnellbremsung nicht vermeidbar.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	30. Apr.	Uetliberg, ZH	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Tf verfällt bei Einfahrt in Kopfbahnhof in einen Sekundenschlaf und durchbricht den Prellbock.	✓					2
Schweiz	2010	28. Apr.	Dornach, SO	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Handweiche befand sich nicht in Endlage. Zudem wurde mit 16 statt 10 km/h gefahren. Ob dies für die Entgleisung relevant ist, konnte nicht festgestellt werden.	?		?			2
Schweiz	2010	26. Apr.	Wängi, TG	Personenunfall (CH)	Radfahrer fährt parallel zu den Bahnschienen und überquert diese an einem unbewachten BÜ, ohne nach hinten auf die Schienen zu schauen und wird vom von dort herannahenden Zug erfasst. Der Tf kann die Kollision durch Achtungssignal und Schnellbremsung nicht vermeiden.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2010	17. Apr.	Montabaur – Limburg	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Fehlerhaft eingestellte Koppelstange der Tür bei der Wartung → Tür verriegelt nicht vollständig → Durch Druck- und Sogkraft bei Fahrt durch Tunnel mit Zugbeugung wird die Tür abgerissen	✓					1
Schweiz	2010	15. Apr.	St-Maurice, VS	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Störung des Funkgeräts sorgt für Abbruch des Funkkontakts zwischen Rangierleiter und Tf. Nachdem der Tf den Kontrollton nicht mehr hört leitet er die Schnellbremsung ein, kann die Kollision aber nicht mehr verhindern.		✓				2
Schweiz	2010	14. Apr.	Cadenazzo, TI	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	italienischer Bericht						2
Deutschland	2010	13. Apr.	Marsberg – Messinghausen	Bahnübergangsunfall (D)	LKW-Fahrer setzt auf BÜ zurück, rutscht mit Anhänger ins Gleisbett und wird von herannahendem Zug erfasst			✓			1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2010	7. Apr.	Gelsenkirchen	Zugentgleisung (D)	Fdl stellt besetzte Weiche unter dem Fahrzeug um (unzeitige Weichenbedienung)	✓					1
Schweiz	2010	7. Apr.	Herzogenbuchsee, BE	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Befahrene Handweiche wurde bereits vorher aufgeschnitten und befand sich nicht in der sicheren Endlage. Ursache unklar, möglicher Weise unerlaubtes Eingreifen Dritter.	?		?			2
Schweiz	2010	31. Mrz.	Bellinzona, TI	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	italienischer Bericht						2
Schweiz	2010	30. Mrz.	Castione-Arbedo, TI	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	italienischer Bericht						2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2010	25. Mrz.	Voerde – Dinslaken	Zugentgleisung (D)	Ungeklärter Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel		✓				1
Deutschland	2010	15. Mrz.	Stuttgart-Untertürkheim	Zugentgleisung (D)	Bei Umbaumaßnahmen wird Gleisstopfmaschine eingesetzt, die nicht die angrenzenden Weichen stopfen kann. Dadurch wurde geplante Überhöhungsrampe nicht vollständig ausgebildet und es kam zu Grenzwertüberschreitungen in der Gleisverwindung. Durch den Verwindungsfehler ist der Zug entgleist; Fehler wurde wegen mangelhafter Gleisprüfung auch nach Arbeitsende nicht entdeckt	✓					1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	14. Mrz.	Brig, VS	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Fahrgeschwindigkeit wurde nicht an die örtlichen Sichtverhältnisse angepasst.	✓				Der Prozess für Rangierfahrten in nicht mit Gleisfreimeldeeinrichtungen ausgerüstete Gleisabschnitte ist in Bezug auf die zulässige Fahrgeschwindigkeit zu überprüfen.	2
Schweiz	2010	13. Mrz.	Rothenthurm, SZ	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Lkw Fahrer nimmt Blinklichtanlage am BÜ nicht war. Tf kann Kollision trotz Schnellbremsung nicht verhindern.			✓			2
Deutschland	2010	5. Mrz.	Herlasgrün	Zugentgleisung (D)	Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel → Entgleisung		✓				1
Schweiz	2010	26. Feb.	Aigle, VD	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Rangierleiter hatte keine Ortskenntnis und Halt zeigendes Rangiersignal zu spät erkannt.	✓					2
Schweiz	2010	7. Feb.	Bellinzona, TI	Brand (CH)	Kabelschaden im Zusammenhang mit weiteren begünstigenden Umständen.		✓				2
Schweiz	2010	3. Feb.	Basel RB, BL	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Mangelnde Anpassung der Geschwindigkeit an die örtlichen Gegebenheiten, zusätzlich Blendung des Tf durch Treppenbeleuchtung.	✓		(✓)			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2010	28. Jan.	Brig, VS	Kollision Zug mit Zug (CH)	Tf übersieht Halt zeigendes Signal mangels Konzentration auf die Strecke.	✓					2
Schweiz	2010	21. Jan.	Langenthal Süd, BE	Personenunfall (CH)	Frau überquert bei schlechten Sichtverhältnissen die Bahnanlagen und wird trotz Schnellbremsung von einer leerfahrenden Lok erfasst.			✓			2
Deutschland	2010	20. Jan.	Braunschweig – Bad Harzburg	Zugkollision (D)	LKW-Fahrer fährt entlang des Gleises um verschlossenes Tor eines an die Gleise angrenzenden Werkgeländes zu umfahren. LKW bleibt im Gleis stecken und wird von herannahendem Zug erfasst			✓			1
Schweiz	2010	5. Jan.	Turgi, AG	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Tf misinterpretiert Halt zeigendes Signal und entgleist trotz Erkennen der falschen Weichenstellung im letzten Moment und dementsprechend eingeleiteter Schnellbremsung auf Schutzweiche.	✓					2
Schweiz	2009	25. Dez.	Gurtellen, UR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Steine auf der Fahrbahn infolge eines Einsturzes einer älteren Stützmauer; Tf konnte trotz "Fahrt auf Sicht" nicht rechtzeitig anhalten	(✓)		✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2009	24. Dez.	Gonten, AI	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Autofahrer befährt ohne notwendige Vorsicht schlecht einsehbaren Bahnübergang und kollidiert mit Zug			✓			2
Schweiz	2009	22. Dez.	Zürich PB, ZH	Arbeitsunfall (CH)	Monteur übersieht bei Instandsetzungsarbeiten an einer Weiche einen herannahenden Zug. Der Sicherheitswärter befindet sich nicht wie vorgesehen außerhalb der Betriebsgleise, sondern in der Weiche.	✓					2
Schweiz	2009	16. Dez.	Zürich PB, ZH	Brand (CH)	Kurzschluss im Bereich des 1000V-Isolators des Hochspannungsheizkreises im unteren Teil des H Schrankes. Beim Kurzschluss hat das Maximalstromrelais Position 84 nicht angesprochen.		✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2009	14. Dez.	Bahnhof Museumsstrasse, ZH	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Zusammenspiel mehrerer Ursachen: ungünstige Verteilung der Beladung (schwere Wagen hinten), starkes Gefälle von 28 Promille, Einfahrt über Spurwechsel mit max. 40 km/h (hohe Bremskraft nötig), verzögertes Ansprechen der Bremsen hinten, die leichten Wagen befanden sich zu Beginn des Bremsvorgangs auf der 40er-Weiche, sodass diese von den schweren Wagen aus den Schienen gedrückt wurden, Begünstigung durch steife Bauweise der Ks-Wagen mit kleinen runden Puffern				✓		2
---------	------	----------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	---	--	---



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Schweiz	2009	6. Dez.	Zürich Altstetten, ZH	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Rangierbremsprobe wurde nicht ordnungsgemäß ausgeführt. Wagen werden unvorhergesehen getrennt und wegen des fehlenden Drucks in den Hauptluftbehältern nicht automatisch gebremst. Der Tf versucht hinterherzufahren, um die Wagen in der Fahrt wieder anzukuppeln, was ihm jedoch nicht gelingt, tatsächlich beschleunigt er die Wagen durch den drei Mal wiederholten Versuch weiter.	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	25. Nov.	Matzingen, TG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Wegen großer Blendwirkung der Sonne und schlechter Einsehbarkeit befährt eine Autofahrerin den mit Blinklichtern gesicherten BÜ, ohne das akustische Signal wahrzunehmen. (Theoretisch auch denkbar, dass Blinklichter defekt waren gem. Zeugenaussage, aber eher unwahrscheinlich) Trotz Achtungssignal und Schnellbremsung war die Kollision nicht zu vermeiden.		?	✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	21. Nov.	Märstetten, TG	Personenunfall (CH)	Mann will sein Mehrfachticket entwerfen, stellt jedoch fest, dass der Entwerfer am Gleis der Ankunft seines Zuges abmontiert wurde und überquert die Gleise auf direktem Weg, um den Entwerfer am gegenüberliegenden Gleis zu nutzen und sich den langen Weg durch die Fußgängerunterführung zu sparen. Beim Überqueren der Gleise wird er von einem Versuchszug erfasst und verunglückt tödlich.			✓				2
Schweiz	2009	18. Nov.	Suhr, AG	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Rangierleiter und Lokführer sind in Gespräch verwickelt, sodass beide vergessen, die Fahrstraße beim Fdl anzufordern und das Halt zeigende Rangiersignal übersehen. Die Entgleisungsvorrichtung löst aus.	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	18. Nov.	Wildegg, AG	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Tf ist durch Anruf des Disponenten (Bitte um Verlängerung des Dienstes, kein fahrdienstlicher Anruf, damit nicht regelwerkskonform) abgelenkt und überfährt Halt zeigendes Einfahrsignal, quittierte das Vorsignal nur aus Routine ohne es bewusst wahrzunehmen.	✓				Während der Fahrt darf der Lokführer nicht durch Gespräche, die nicht mit dem Fahrdienst zu tun haben, gestört werden. Deshalb ist zu prüfen, ob während der Fahrt, wenn das Cab-Radio funktionsfähig ist, am Dienstnatel der Ruhe Modus eingeschaltet werden muss. Der Artikel R 300.3 §10.1.1 ist dementsprechend anzupassen.	2
Schweiz	2009	5. Nov.	Les Plantaz, VD	Personenunfall (CH)	Person versucht ihr Kind, das sich auf das Gleis begeben hat, vor dem herannahenden Zug zu retten. Trotz Gefahrenbremsung ist die tödliche Kollision nicht vermeidbar.			✓			2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2009	28. Okt.	Chavornay, VD	Kollision Zug mit Zug (CH)	Unbegleitete Rangierfahrt wurde ohne Zustimmung des Fdl durchgeführt.	✓					2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2009	17. Okt.	Forch, ZH	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Der Wagenwärter fällt bei nächtlicher Rangierfahrt im Rahmen der Wagenreinigung in Sekundenschlaf und kollidiert mit abgestelltem Wagen.	✓					2
Schweiz	2009	7. Okt.	Grindelwald Brandegg, BE	Kollision Zug mit Straßenfahrzeug (CH)	Auf einer (Bahn-)Baustelle wurde ein Bagger aufgrund der sehr engen Platzverhältnisse im Lichtraumprofil des Gleises abgestellt. Um die Arbeiten sicher durchführen zu können, hätte das Gleis nach geltendem Regelwerk gesperrt werden müssen.	(✓)			(✓)		2

Schweiz	2009	26. Sep.	Lausanne, VD	Personenunfall (CH)	Eine Tür am Zug wird im Bahnhof (vermutlich) nach Schließung durch den Zugführer wieder von einer Drittperson geöffnet, um eine weitere Person vor Abfahrt zusteigen zu lassen. Der Zug setzt sich in Bewegung und in dem Moment, in dem die Person zusteigen will, erreicht der Zug die Geschwindigkeit, bei der die automatische Türschließung einsetzt. Das Bein der Person wird eingeklemmt. Sie befreit sich und stürzt ins Gleisbett. Auch denkbar: die Tür ist trotz Auslösung des Schließbefehls durch den Zugchef nicht geschlossen worden (wird vom Ermittler für unwahrscheinlich gehalten, da keine Fehlfunktion der Tür feststellbar war)		?	✓				2
Schweiz	2009	18. Sep.	Chiasso, TI	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	italienischer Bericht							2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2009	11. Sep.	Lugano - Paradiso, TI	Personenunfall (CH)	italienischer Bericht							2

Schweiz	2009	10. Sep.	Chur, GR	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Rangierleiter vergisst ortsgestellte Weiche in die richtige Lage zu stellen, sodass es zur Kollision mit abgestellten Wagen kommt. Stress durch zusätzliches Arbeitsaufkommen.	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	4. Sep.	Lenzburg, AG	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Der Transportführer übernimmt wegen Nichterscheinen des Arbeitsstellenkoordinators dessen Funktion auf der Baustelle. Da er nicht in die genauen Abläufe eingeweiht ist, muss er überraschend seine Planung ändern und das Gleis für eine andere Maschine freimachen. Dabei versäumt er jedoch die Weiche vollständig zu räumen, meldet diese jedoch beim Fdl frei. Etwas später bemerkt der Tf seinen Fehler und räumt die Weiche. Dem Fdl wird wieder eine Belegung der Weiche angezeigt, sodass er den Bedienknopf "Automatischer Signalbetrieb aus" betätigt und den Tf kontaktiert. Nach Klärung stellt Fdl den Achszähler zurück und lässt den nächsten Zug mit Fahrt auf Sicht fahren.	✓			(✓)		2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2009	1. Sep.	Möhlín, AG	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Tf ist wegen Verspätungen genervt, da er mit pünktlichem Dienstschluss rechnete (Absprache zum Mittagessen machen für seine Kinder). Er quittiert das "Warnung" zeigende Ausfahrversignal, vergisst aber die Bremsung einzuleiten, die er erst bei kurzfristigem Erblicken des Hauptsignals einleitet. Eine Kollision mit einem gerade eingefahrenen Zug konnte gerade so verhindert werden. ZUB nicht vorhanden.	✓						2
Schweiz	2009	22. Aug.	Zetzwil, AG	Personenunfall (CH)	Junger, dunkel gekleideter Mann läuft im Schotterbett entlang der Straße mit einem geschobenen Mofa und bemerkt den herannahenden Zug nicht.			✓				2
Schweiz	2009	21. Aug.	Rodi-Fiesso, TI	Arbeitsunfall (CH)	italienischer Bericht							2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	19. Aug.	Les Echenards, VD	Kollision Zug mit Rangierbewegung (CH)	In einem Abschnitt ohne Streckenblock kommt es zu einem Missverständnis (Zugverwechslung), sodass ein Arbeitszug nicht rechtzeitig von der eingleisigen Strecke zurück in den Bahnhof zum Kreuzen der Züge kehrt und mit dem regelmäßig verkehrenden Personenzug kollidiert. Durch rechtzeitiges Bemerkens des Fehlers und Einleiten der Bremsung konnte der Schaden reduziert werden.	✓						2
Schweiz	2009	17. Aug.	Appenzell, AI	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Mofa kollidiert mit Zug an einem mit Blinklichtanlagen ausgestatteten, schwer einsehbaren BÜ. Kollision trotz Warnsignal und Schnellbremsung nicht zu vermeiden.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	13. Aug.	Basel RB, BS	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Stellwerkangestellter bedient versehentlich (Ablenkung durch Gespräch mit Teamleiter) falsche Weiche, sodass diese unter fahrendem Zug umgestellt wird und vier Wagen entgleisen und umkippen.	✓						2
Schweiz	2009	12. Aug.	Bühler, AR	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Pkw kollidiert mit Zug an einem mit Blinklichtanlagen ausgestatteten BÜ. Kollision trotz Warnsignal und Schnellbremsung nicht zu vermeiden.			✓				2
Schweiz	2009	10. Aug.	Frauenfeld, TG	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Tf überfährt Halt zeigendes Rangiersignal und überschreitet zulässige Geschwindigkeit um ca. 7 km/h, anliegende Entgleisungsvorrichtung löst nicht aus, Tf kann aber durch rechtzeitiges Reagieren eine Kollision vermeiden.	✓	(✓)					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Deutschland	2009	7. Aug.	Nürnberg-Stein	Zugentgleisung (D)	Biologischer Zerfall der Schwellen → fehlende und lose Schwellenscharauben → Spurerweiterung → Entgleisung; Wegen nicht durchgeführter Gleisbegehung blieb der Schaden unentdeckt	(✓ ✓)	✓						1
Schweiz	2009	4. Aug.	Mörigen, BE	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Zug kollidiert mit Radfahrerin, die eingeschaltete Blinklichtanlage nicht beachtet. Trotz Schnellbremsung und Warnsignal ist die Kollision nicht zu vermeiden.			✓					2
Schweiz	2009	23. Jul.	Luzern, LU	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Bei einer Rangierfahrt vergisst der Tf die erste, handbediente Weiche der Fahrstraße zu bedienen, um anschließend in den durch das Stellwerk gesicherten und per Signal freigegebenen Teil der Rangierfahrstraße einzufahren. Folglich kommt es zu einer Kollision mit abgestellten Zementsilowagen.	✓							2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		

Schweiz	2009	21. Jul.	Noiraigne, NE	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Tf übersieht nach Türstörung Halt zeigendes Signal und überfährt einen offenen, unbefahrenen BÜ, Signum Gleismagnet befindet sich erst ca. 58,5 m hinter dem Ausfahrtsignal, sodass die Zwangsbremse den Zug nicht vor dem BÜ aufhalten konnte.	✓			(✓)		2
Deutsch- land	2009	17. Jul.	Bruchmühlen – Bünde	Zugentgleisung (D)	Lagerschaden → Heißläufer → Abscherung des Radsatzwellenschenkel → Entgleisung; Auf der Strecke befinden sich die HOA in einem zu großen Abstand zueinander, um Heißläufer frühzeitig zu erkennen		✓		(✓)		1
Schweiz	2009	8. Jul.	St. Gallen, SG	Personenunfall (CH)	Mann will auf abfahrenden Zug aufspringen, stürzt dabei und gerät zwischen Zug und Bahnsteigkante.			✓			2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Schweiz	2009	30. Jun.	Langenthal, BE	Kollision Rangierbewegung mit Rangierbewegung (CH)	Wagen wird im Gefälle vor dem Abkuppeln trotz Gefälle nicht gegen Wegrollen gesichert und kollidiert mit abgestellter Baumaschine. Luftbremse des entlaufenen Wagens war defekt, aber dementsprechend gekennzeichnet.	✓						2
Schweiz	2009	30. Jun.	Basel RB, BS	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Tf übersieht Rangierhaltsignal. Streckenkenntnis nicht ausreichend vorhanden, Arbeitgeber kann diese auch nicht ausweisen (Versäumung der Aufbewahrungspflicht)	✓						2
Deutschland	2009	27. Jun.	Lövenich – Horrem	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Tf vergisst nach Halt die Zusatzbremse des Tfz zu lösen und fährt los → Feste Bremse → Erhitzung der Reibelemente → Rauchentwicklung → Rauchgase werden durch Klimaanlage in Wageninneres gesogen → Verletzung der Fahrgäste durch Rauchgase	✓						1
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2009	25. Jun.	Bussnang, TG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Älterer Mann nimmt Blinklicht am BÜ nicht wahr und kollidiert mit Zug trotz Schnellbremsung des Zugs.			✓				2

Schweiz	2009	24. Jun.	Muttenz, BL	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Lok gerät bei Abkuppeln in Bewegung, Lokführer rennt hinterher und kann noch den Lufthahn der Hauptleitung öffnen. Zwei Zugfahrten werden dadurch gefährdet, die aber noch durch Schnellbremsung bzw. rechtzeitiges Umstellen des Signals rechtzeitig anhalten können.	✓						2
Schweiz	2009	23. Jun.	Vuadens, FR	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Zug kollidiert mit unaufmerksamem Lkw-Fahrer. Rechtzeitiges Bremsen unmöglich.			✓				2
Schweiz	2009	22. Jun.	Villeneuve, VD	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Bahnübergang hat wegen unzuverlässigen Kameras und unzuverlässigen Lichtsignalen vor herannahendem Zug nicht gewarnt. Kollision mit Pkw.		✓					2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Schweiz	2009	8. Jun.	Zürich Wollishofen, ZH	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Falsche Rangierfahrstraße aufgrund von Missverständnissen, Rangierlokomotive fährt über Prellbock	✓						2

Schweiz	2009	4. Jun.	Wimmis, BE	Personenunfall (CH)	Frau wird in hinterster Zugtür eingeklemmt und einige Meter mitgeschleift. Die Tür befand sich nicht am Bahnsteig, da dieser zu kurz für den haltenden Zug war.				✓		2
Schweiz	2009	30. Mai.	Biel/Bienne, BE	Personenunfall (CH)	Jugendlicher überquert bei Nacht Bahnanlagen auf der Flucht vor einer Polizeikontrolle und wird von einer Rangierfahrt erfasst. Der Tf hat den Vorfall nicht bemerkt.			✓			2
Schweiz	2009	28. Mai.	Genève, GE	Kollision Rangierbewegung mit Hindernis (CH)	Fahrzeug war beim Rangieren nicht erkennbar				✓		2
Schweiz	2009	28. Mai.	Elgg, ZH	Beinaheunfall / Zuggefährdung (CH)	Tf fährt wegen Missinterpretation auf Befehl des Fdl zu Fahrt auf Sicht mit regulärer Geschwindigkeit am gestörten Signal vorbei.	✓	(✓)				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2009	27. Mai.	Randa, VS	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Radfahrer wird trotz Schnellbremsung von Zug erfasst.			✓			2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Schweiz	2009	3. Mai.	Lyssach, BE	Personenunfall (CH)	Kind steht auf Bahnstrecke und wird von Zug erfasst. Pfeifsignal und Schnellbremsung durch Tf war erfolgt.			✓			2
Deutschland	2009	16. Apr.	Berlin-Karow	Zugkollision (D)	Güterzug verkehrt nach geändert der Fahrplanordnung aber Fdl stellt den alten Fahrweg ein. Tf erkennt falsch gestellte Fahrweg, Fdl stellt neuen Fahrweg ein. Weil der Tf in dieser Zeit langsam weiterfährt, wird der Bereich freigemeldet, nachfolgender Zug fährt in den besetzten Bereich und es kommt zu Kollision.	✓					1

Schweiz	2009	24. Mrz.	Frauenfeld, TG	Personenunfall (CH)	Ältere Frau stürzt beim Aussteigen und gerät zwischen Zug und Bahnsteigkante. Vorfall war für Zugpersonal nicht erkennbar, sodass der Zug anschließend normal abgefahren ist.			✓				2
Schweiz	2009	21. Mrz.	Pfäffikon, ZH	Personenunfall (CH)	Person gerät bei ausfahrendem Zug zwischen Zug und Bahnsteigkante.			✓				2
Schweiz	2009	11. Mrz.	Basel, Auhafen, BL	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Zweiter Hemmschuh wurde nicht entfernt.	✓						2
Schweiz	2009	1. Mrz.	Bendlehn, AR	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Zug entgleist bei Befahren einer nicht intakten Rückfallweiche (verschobener Bolzen, Feststellschraube gelöst); Tf nimmt nicht wahr, dass Weichenlichtsignal in "falscher" Stellung liegt	✓	✓					2
Schweiz	2009	25. Feb.	Cassonay, VD	Entgleisung Rangierbewegung (CH)	Beim Rangieren wurde ein Hemmschuh auf dem Gleis vergessen	✓						2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	19. Feb.	Rangierbahnhof Limmattal, AG	Entgleisung Zug oder Tram (CH)	Tf tätigt eine unsachgemäße Bremsbedienung, nachdem er feststellt, dass nicht der erwartete aber dennoch korrekte Fahrweg eingestellt ist.	✓						2
Schweiz	2009	18. Feb.	Oberhasli, ZH	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Auto befährt mit Blinklichtanlage gesicherten BÜ, Rangierlok gibt Warnsignale ab und leitet Schnellbremsung ein, Kollision wegen schlechter Sichtverhältnisse unvermeidlich			✓				2
Schweiz	2009	6. Feb.	Reidenbach, BE	Kollision auf ungesichertem Bahnübergang (CH)	Auto fährt rückwärts auf ungesicherten BÜ, Tf gibt Warnsignale und leitet Schnellbremsung ein, Kollision nicht vermeidbar			✓				2
Schweiz	2009	17. Jan.	Hallwil, AG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Autofahrerin hält zum telefonieren auf BÜ, nimmt intakte Blinklichtanlage nicht wahr, fährt nach Erblicken des Zuges mit einem Rad ins Schotterbett. Es kommt zur Kollision.			✓				2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Schweiz	2009	15. Jan.	Tavannes, BE	Starkstromunfall (CH)	Tödlicher Stromschlag bei Arbeiten zur Entfernung von Eis an der Oberleitung im Tunnel, unzureichende Sicherheitsmaßnahmen, Abschalten der Oberleitung nicht vorgeschrieben, Sicherheitsverantwortlicher im Team wurde nicht benannt	(✓)			✓		2
Schweiz	2009	5. Jan.	Münchwilen, TG	Kollision auf gesichertem Bahnübergang (CH)	Lkw befährt mit intakter Blinklichtanlage gesicherten BÜ, Bremsweg des Zuges reicht nicht aus; Signalisierung der Kreuzung für Straßenverkehr (Fußgängerampel vor BÜ) könnte verwirrend wirken			✓	(✓)		2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutsch-land	1977	25. Aug.	Bahnhof Neuwied	Zugkollision (D)	Durch einen <i>Fehler im Zugmeldeverfahren</i> auf dem Stellwerk fährt ein Güterzug auf einen weiteren im Bahnhof wartenden Güterzug auf. Ein Wagen dieses Zuges fiel dabei ins Gegengleis, sodass ein weiterer 4000-Tonnen-Erzzug aus Rotterdam mit diesem kollidierten und entgleisten. Ein weiterer herannahender Autozug konnte noch rechtzeitig bremsen.	✓						3, S. 8
Deutsch-land	1950	18. Jan.	Hamburg	Zugentgleisung (D)	?							3, S. 6
Deutsch-land	1993	9. Apr.	Berlin-Wannsee	Einfahrt in besetz. Gleisabschn. (D)	Wegen Umbaumaßnahmen wurde nur ein Durchfahrt-Gleis genutzt. Der Fdl übersah eine falsch gestellte Weiche und leitete den IC per Ersatzsignal auf ein bereits belegtes Gleis.	✓						3, S. 5
Deutsch-land	1924	17. Feb.	Ludwigsstadt	Zugentgleisung (D)	Auf einer Brücke durch eine Ortschaft kommt es zur Zugentgleisung.						(Anm. PR: womöglich Ursache für Einsatz von Leitschienen?)	3, S. 7
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Deutsch-land	1965	12. Aug.	Lampertheim	Einfahrt in besetz. Gleisabschn. (D)	?							3, S. 8

Deutschland	1962	12. Feb.	Duisburg	Zugkollision (D)	Auf einer Werksbahn kommt es aufgrund eines Fehlers in der Schrankenmechanik zu einer Kollision zwischen einer Werkslokomotive und einer Straßenbahn.		✓						3, S. 9
Deutschland	1911	17. Jul.	Müllheim	Zugentgleisung (D)	Ein Schnellzug rast in eine Baustelle. Der Tf übersah die Hinweise zur Langsamfahrt, da er betrunken am Steuer eingeschlafen war. Wegen der überhöhten Geschwindigkeit kommt es zur Entgleisung.	✓					(Anm. PR: womöglich Ursache für Erfindung (RZM-)Sifa?)		3, S. 9
Deutschland	1975	8. Jun.	Warngau	Zugkollision (D)	Die Fdl "durften" auf der eingleisigen Strecke selbst entscheiden, wo sie die Züge kreuzen lassen. Eine genaue Vorschrift hierfür hat gefehlt. Es kam zur Kollision zweier Eilzüge.				✓				3, S. 10
Deutschland	1871	21.6.1871	bei Rackwitz	Sonstige Kollision (D)	Zusammenstoß Personenzug und abrollende Lokomotive								3, S. 10
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
Deutschland	1882	3.9.1882	bei Hugstetten	Zugentgleisung (D)	überhöhte Geschwindigkeit								3, S. 10
Deutschland	1884	14.11.1884	bei Hanau	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Personenzug mit Güterzug								3, S. 10
Deutschland	1886	1.7.1886	Würzburg	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Personen- und Schnellzug								3, S. 10
Deutschland	1889	7.7.1889	Röhrmoos	Zugkollision (D)	Zusammenstoß zweier Personenzüge								3, S. 10

Deutschland	1891	18.10.1891	Kohlfurt	Zugkollision (D)	Flankenfahrt und Entgleisung							3, S. 10
Deutschland	1895	19.9.1895	bei Oederan	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Personenzug und Militäruzug							3, S. 10
Deutschland	1900	7. Okt.	Heidelberg	Zugkollision (D)	Zusammenstoß zweier Personenzüge							3, S. 10
Deutschland	1900	8. Nov.	bei Hanau	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Personenzug und D 42							3, S. 10
Deutschland	1901	6. Jul.	Beuthen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß mit Zirkuszug							3, S. 10
Deutschland	1901	20. Dez.	bei Altenbeken	Zugkollision (D)								3, S. 10
Deutschland	1905	7. Aug.	bei Spremberg	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 113 und Nachzug 113 (Trunkenheit)	✓						3, S. 10
Deutschland	1908	26. Nov.	Berlin, Gleisdreieck (U-Bahn)	Zugkollision (D)	Flankenfahrt und Absturz							3, S. 10
Deutschland	1910	30. Mrz.	Mühlheim (Rhein)	Zugkollision (D)								3, S. 10
Deutschland	1912	30. Jun.	bei Schmiedefeld	Sonstige Kollision (D)	Zusammenprall - Schranke nicht geschlossen							3, S. 10
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Deutschland	1913	14. Dez.	bei Niederwiesa	Sonstige Kollision (D)	Zusammenprall durch Bergrutsch							3, S. 10

Deutschland	1916	11. Nov.	bei Rahnsdorf	Personenunfall (D)	Balkanzug überfährt bei starkem Nebel Gleisbautrupp. Kurz zuvor war ein Militärzug vorbeigefahren, sodass ein Teil der Bauarbeiterinnen auf das Gegengleis räumte, wo kurz darauf der Balkanzug verkehrte. Wegen der Ablenkung durch den Militärzug wurde die Ankündigung des anderen Zuges durch den Posten überhört.	(✓)			✓			3, S. 31
Deutschland	1917	17. Apr.	Nannhofen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 53 mit Güterzug							3, S. 10
Deutschland	1917	16. Okt.	bei Schönhausen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Güterzug und Kindersonderzug							3, S. 10
Deutschland	1917	3. Dez.	bei Heeßen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D-Zug mit Kriegsgefangenenzug							3, S. 10
Deutschland	1917	11. Dez.	Düren	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D-Zug mit Urlauberzug							3, S. 10
Deutschland	1918	7. Jan.	bei Bruchmühlenbach	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Urlauber- und Güterzug							3, S. 10
Deutschland	1918	16. Jan.	bei Kirn	Zugentgleisung (D)	Hochwasser			✓				3, S. 10
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Deutschland	1918	16. Jan.	bei Bohmte	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D und Urlauberzug							3, S. 10
Deutschland	1918	7. Feb.	Giersleben	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Militärzug mit Güterzug							3, S. 10

Deutschland	1918	16. Aug.	bei Dümpelfeld	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Militärzug mit Personenzug							3, S. 10
Deutschland	1918	30. Jul.	bei Zantoch	Zugentgleisung (D)	Lokentgleisung und Zusammenstoß							3, S. 10
Deutschland	1918	11. Sep.	bei Schneidemühl	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Güterzug mit Kindersonderzug							3, S. 10
Deutschland	1918	22. Sep.	bei Dresden-Neustadt	Zugkollision (D)	Zusammenstoß zweier D-Züge							3, S. 10
Deutschland	1918	9. Okt.	bei Jünkerath	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Militärzug und Personenzug							3, S. 10
Deutschland	1918	1. Nov.	Briesen	Zugkollision (D)	Ein Fronturlauberzug fährt auf den abgerissenen Teil eines Güterzuges mit schlafendem Schlussbremser.	✓						3, S. 30
Deutschland	1920	16. Dez.	Silberhausen	Zugentgleisung (D)	Überhöhte Geschwindigkeit wegen mangelhafter Bremsbedienung durch ungeschultes Personal	✓			✓			3, S. 11
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Deutschland	1922	27. Jun.	bei Berlin Schönhauser Allee	Personenunfall (D)	Wegen Streiks und überfüllter Züge fahren einige Fahrgäste auf den Trittbrettern mit. Eine aus einem Rucksack ragende Stange trifft die Trittbrettfahrer des Gegenzuges.			✓			3, S. 32
Deutschland	1923	17. Mrz.	Friemersheim	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Militärzug und Lok						3, S. 11
Deutschland	1923	9. Mai.	bei St. Goar	Zugentgleisung (D)	Entgleisung Besatzungszug						3, S. 11
Deutschland	1923	31. Jul.	Kreiansen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 88 mit Vorzug						3, S. 11
Deutschland	1923	6. Sep.	bei Lohnde	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 10 und D 138						3, S. 11
Deutschland	1923	15. Nov.	bei Stuttgart- Untertürkheim	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Lok und Personenzug wegen Fehlleitung	✓					3, S. 11
Deutschland	1924	1. Okt.	Mainz	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 670 und P 682 im Tunnel. Die französisch-belgische "Regie"- Betriebsleitung verzichtete auf Rückmeldungen und Streckenblock.				✓		3, S. 32
Deutschland	1925	13. Jan.	Herne	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 10 und P 230						3, S. 11
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	1926	25. Mai.	München Ost	Zugkollision (D)	Zusammenstoß P 814 und 820						3, S. 11

Deutschland	1928	9. Jun.	Siegelsdorf	Zugentgleisung (D)	Entgleisung D 47						3, S. 11
Deutschland	1928	31. Jul.	Dinkelscherben	Zugkollision (D)	Zusammenstoß P 911 und Güterzug						3, S. 11
Deutschland	1929	25. Aug.	Buir	Zugentgleisung (D)	Entgleisung D 23						3, S. 11
Deutschland	1929	24. Okt.	Reichelsdorf	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 39 und D 389						3, S. 11
Deutschland	1934	14. Dez.	bei Langwedel	Sonstige Kollision (D)	Zusammenprall mit Bus						3, S. 11
Deutschland	1935	24. Dez.	Großheringen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß P 825 und Nachzug D 44						3, S. 11
Deutschland	1937	5. Sep.	Holzheim	Zugentgleisung (D)	Entgleisung Pilgerzug						3, S. 11
Deutschland	1938	26. Sep.	Borken	Zugkollision (D)	Zusammenstoß mit Rangierlok in einem Tunnel						3, S. 11
Deutschland	1938	4. Okt.	bei Heidelberg	Zugkollision (D)	Zusammenprall						3, S. 11
Deutschland	1939	4. Jun.	bei Buchholz	Zugkollision (D)	Zusammenprall						3, S. 11
Deutschland	1939	15. Jun.	Mittelgrund	Zugentgleisung (D)	Entgleisung D 148						3, S. 11
Deutschland	1939	8. Okt.	Berlin Gesundbrunnen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 17 und P 411						3, S. 11
Deutschland	1939	1. Dez.	bei Witten (R) West	Zugkollision (D)	Zusammenprall						3, S. 11



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Deutsch-land	1939	22. Dez.	Genthin	Zugkollision (D)	<p>Wegen einer Verspätungslage vor den Weihnachtsfeiertagen fährt der D 180 hinter dem D 10 dicht her. Da es noch keinen Zugfunk zur Information über die Situation gab, musste der Tf immer wieder aufgrund der Signalstellungen beschleunigen und bremsen. Um weniger bremsen zu müssen, leitete der Tf die Bremsung immer erst nach Passieren des Vorsignals in der Erwartung eines "Fahrt" zeigendes Hauptsignals ein. Es folgte eine Nebelbank. An der Blockstelle Belicke übersah er dann sowohl die Warnstellung des Vorsignals als auch das "Halt" zeigende Hauptsignal. Der Blockwärter sah den vorbeifahrenden Zug, gab Haltesignale mittels Horn und gab an die folgende "Schrankenbude" und das folgende Stellwerk den Auftrag den Zug anzuhalten. Die folgenden Signale zeigten noch Fahrt für den vorausfahrenden Zug. Das "Halt" zeigende Kreissignal des tief stehenden Schrankenwärters übersah der Tf. Der höher stehende Wärter im Stellwerk Genthin Ost reagierte rasch und nahm die elektrische Handlampe mit</p>	✓		✓		3, S. 50 ff.
--------------	------	----------	---------	------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	---	--	--------------

					<p>roter Farbscheibe direkt zu Hand, um dem D 180 das Schutzhaltesignal "Sh 1" zu geben. Der D 10 war jedoch noch nicht eingefahren, näherte sich, sah das rote Licht und leitete eine Schnellbremsung ein und rollte auf Gleis 1. Der D 180 sah die dem D 10 geltenden "Fahrt" zeigenden Signale ohne einen Blick zum Stellwerk zu werfen und kollidierte mit dem stehenden D 10. Die Vorschrift zum Signalzuruf, nach der sich die Personale auf der Lok die Signalstellungen gegenseitig quittieren müssen, wurde auf der D 180 missachtet. Die Lok war trotz defekter Indusi-Anlage wegen Lokmangel im Einsatz geblieben (im Krieg nicht unüblich).</p>					
--	--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	--

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	1939	22. Dez.	bei Kluftern	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Güterzug und P 21154. Die zum Schutz gegen Flieger (Kriegszustand) eingeführte Verdunkelung der Spitzensignale bis auf einen schmalen Spalt machten die aufeinander zu fahrenden Loks für die Tf erst kurz vor der Kollision erkennbar.				(✓)		3, S. 32
Deutschland	1940	17. Jan.	bei Zittau	Zugkollision (D)	Zusammenprall						3, S. 11
Deutschland	1940	5. Feb.	bei Cloppenburg	Zugkollision (D)	Zusammenprall						3, S. 11
Deutschland	1941	28. Feb.	bei Wilhelmshaven	Zugkollision (D)	Zusammenprall						3, S. 11
Deutschland	1941	3. Mai.	Gusow	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Personenzug und Rangierabteilung						3, S. 11
Deutschland	1941	27. Dez.	Leichholz	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 123 und Kesselwagenzug						3, S. 11
Deutschland	1941	29. Dez.	Langhagen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Wehrmachtzug und Lokomotiven						3, S. 11
Deutschland	1944	20. Jan.	Porta	Zugkollision (D)	Zusammenstoß zweier Wehrmachtzüge						3, S. 11
Deutschland	1945	16. Jul.	Aßling	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Militär- und Gefangenenzug						3, S. 11
Deutschland	1946	1. Nov.	Tröglitz	Sonstige Kollision (D)	Umsiedlerzug zum Prellbock geleitet	✓					3, S. 11

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	1947	23. Aug.	Velten	Fahrzeugbrand (D)	Brand im Zug						3, S. 11
Deutschland	1947	22. Dez.	Neuwied	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 269 und D 48						3, S. 12
Deutschland	1950	12. Jul.	bei Hartenstein	Zugkollision (D)	Zusammenstoß P 4930 mit Nahgüterzug						3, S. 12
Deutschland	1951	8. Nov.	Walpertskirchen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß P 1102 und Nahgüterzug						3, S. 12
Deutschland	1956	25. Feb.	Normitz	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 94 und rangierender Güterzug						3, S. 12
Deutschland	1958	14. Sep.	Drachenfelsbahn	Zugentgleisung (D)							3, S. 12
Deutschland	1959	20. Jun.	Lauffen	Bahnübergangsunfall (D)	Zusammenstoß E 287 mit Bus						3, S. 12
Deutschland	1960	15. Mai.	Leipzig Hbf	Zugkollision (D)	Zusammenstoß E 237 und P 466						3, S. 12
Deutschland	1961	13. Jun.	Esslingen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß zweier Triebwagen						3, S. 12
Deutschland	1961	5. Okt.	Hamburg Berliner Tor	Zugkollision (D)	Zusammenstoß S-Bahn mit Bauzug						3, S. 12
Deutschland	1964	1. Nov.	Langhagen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 1993 mit Güterzug						3, S. 12
Deutschland	1967	6. Jul.	Langen-Weddingen	Bahnübergangsunfall (D)	Zusammenprall P 852 mit Tankfahrzeug						3, S. 12
Deutschland	1969	22. Jun.	Hannover-Linden	Fahrzeugbrand (D)	Explosion eines Munitionswagens						3, S. 12

Deutsch-land	1971	9. Feb.	Aitrang	Zugentgleisung (D)	Entgleisung TEE 56 wegen überhöhter Geschwindigkeit							3, S. 12
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Deutsch- land	1971	27. Mai.	bei Dahlerau	Zugkollision (D)	<p>Auf einer eingleisigen Nebenstrecke fuhr ein "außerplanmäßiger" Schülersonderzug und in entgegengesetzter Richtung ein regelmäßig verkehrender Nahgüterzug. Die Kreuzung der Züge sollte in Dahlerau stattfinden. Da es im Bahnhof Dahlerau keine Ausfahrtsignale gab, gab der Fdl regelmäßig mit einem Befehlsstab, der sowohl rot als auch grün leuchten kann am Hausbahnsteig den Fahrbefehl. Ob der Befehlsstab am Unfalltag tatsächlich laut Zugpersonal grün oder laut Fdl rot zeigte, konnte nicht geklärt werden. Der Nahgüterzug fuhr jedenfalls (wie an allen anderen Werktagen) weiter, schneidet die Weiche auf und der Fdl versuchte diesem erfolglos hinterherzuleuchten. Der Fdl kontaktiert sofort dem Fdl Beyenburg, um den Schülersonderzug noch aufzuhalten, wofür es jedoch bereits zu spät war. Zugfunk stand nicht zur Verfügung.</p>	✓			(✓)	(Die Bundesbahn baute bundesweit an den Signalkellen die Rotabblendung aus, um die Verwendung für einen Haltbefehl zu verhindern. Für Nebenbahnen wurde eine günstige Form des Streckenblocks entwickelt und die Ausrüstung mit Zugbahnfunk vorangetrieben. Der Ersatz von den leichten Schienenomnibussen wurde eingeleitet.)	3, S. 56-59
------------------	------	----------	--------------	------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	--	-------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	1971	21. Jul.	Rheinweiler	Zugentgleisung (D)	Entgleisung D 370 wegen überhöhter Geschwindigkeit. Die seinerzeit neu eingeführte Automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB) hatte einen technischen Defekt, vermutlich wegen einer unterbrochenen Verbindung zwischen dem an der Achse montierten Istwert-Melder und der elektronischen Steuerung. Dadurch hätte sich die Automatik an einer überhöhten Geschwindigkeit orientiert. Der Tf hat keine Versuche unternommen, den Zug manuell abzubremesen.	✓	✓				3, S. 12
Deutschland	1972	30. Okt.	Schweinsburg-Culden	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Ex 69 und D 348						3, S. 12
Deutschland	1973	5. Nov.	Guntershausen	Zugkollision (D)	Zusammenstoß DC 973 und D 453						3, S. 12
Deutschland	1975	7. Mrz.	München-Allach	Bahnübergangsunfall (D)	Zusammenprall N 4208 mit Bus						3, S. 12
Deutschland	1975	8. Jun.	Wargau	Zugkollision (D)	Zusammenstoß E 3591 und E 3594						3, S. 12
Deutschland	1975	22. Jul.	Hamburg-Hausbruch	Zugkollision (D)	Zusammenstoß Personen- und Güterzug						3, S. 12
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	1977	27. Jun.	bei Lebus	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 1919 und Güterzug						3, S. 12

Deutschland	1984	29. Feb.	Hohenthurm	Zugkollision (D)	Zusammenstoß D 354 und P 7523							3, S. 12
Deutschland	1985	11. Okt.	bei Eilsleben	Zugkollision (D)	Zusammenstoß P 9476 und Lok							3, S. 12
Deutschland	1990	2. Feb.	Rüsselsheim	Zugkollision (D)	Zusammenstoß zweier S-Bahn-Züge							3, S. 12
Deutschland	1992	15. Nov.	Northeim	Zugentgleisung (D)	Entgleisung und Zusammenstoß D 482 und Nahgüterzug							3, S. 12
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Deutsch- land	1998	3. Jun.	Eschede	Zugentgleisung (D)	<p>Wegen eines gebrochenen Radreifens unter dem ersten Wagen entgleist der ICE bei einer Geschwindigkeit zwischen 195 und 200 km/h in einer Weiche. Der dritte Wagen stieß an einen Brückenpfeiler und brachte die Brücke zum Einsturz. Der Radreifen war ca. 6 km vor der Unfallstelle gebrochen und die beschädigte Achse lief nur noch mit der Radscheibe mit, geführt vom unbeschädigten Rad auf der anderen Wagenseite und der zweiten Achse des Drehgestells. In der Weiche hat das beschädigte Rad vermutlich den Radlenker in der Weiche weggerissen. In weiteren Untersuchungen stellte sich heraus, dass der Radreifen mit der Gummieinlage - obwohl den Vorgaben entsprechend - nicht den hohen Geschwindigkeiten gewachsen war. Der Radreifen hätte nicht zugelassen werden dürfen. Die Diagnosesysteme wurden nicht dem neuen Radsatztyp angepasst und selbst nachdem es zu Schäden an den Strombrücken in den gummigefederten Rädern kam und vermutete, dass die Konstruktion den hohen</p>	✓		✓		3, S. 16-23
------------------	------	---------	---------	-----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	--	---	--	-------------



					<p>Geschwindigkeiten nicht gewachsen war, zweifelte man die Schwingfestigkeitsversuche des Herstellers nicht an. Zudem war ein Riss an der Innenseite in der Werkstatt unentdeckt geblieben.</p>						
--	--	--	--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	2003	28. Sep.	Weimar-Kranichfeld	Zugkollision (D)	Kollision auf eingleisiger Strecke ohne Gegenzug abzuwarten						3, S. 12
Deutschland	1988	1. Mrz.	Crottendorf	Zugentgleisung (D)	Entgleisung durch eine Schneewehe			✓			3, S. 12
Deutschland	1950	10. Mrz.	Lauscha	Sonstige Kollision (D)	Eine Lok durchbricht die Rückwand des Lokschuppens und stürzt den Abgrund hinunter						3, S. 13
Deutschland	2001	28. Nov.	Offenbach	Fahrzeugbrand (D)	Durch einen Kurzschluss gerät der hintere Triebkopf eines ICE in Brand		✓				3, S. 14
Deutschland	1890	2.11.1890	Schleusingen	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Kesselzerknall bei der Lok "Werrabahn Nr. 44"						3, S. 15
Deutschland	2003	11. Jul.	Crailsheim - Lauda	Zugkollision (D)	Kollision zwischen zwei Zügen auf freier Strecke						3, S. 28
Deutschland	1997	9. Dez.	Hannover-Anderten	Zugkollision (D)	Ein Personenzug kollidiert mit Mineralölkesselwagen eines Güterzuges, die daraufhin in Brand geraten.						3, S. 29
Deutschland	1945	10. Apr.	Aystetten	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Zug fährt in einen Bombentrichter			✓			3, S. 30

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutschland	1916	8. Okt.	Zantoch	Zugkollision (D)	Ein aus dem Schlaf geweckter Wärter gibt dem D 24 freie Fahrt, obwohl im nächsten Blockabschnitt ein D 4 wegen Maschinenschaden liegen geblieben ist.	✓	(✓)				3, S. 30
Deutschland	1918	6. Feb.	Sandersleben	Sonstige Kollision (D)	Wegen eines Kupplungsrissses entläuft ein Teil eines Militärwagens und kollidiert mit einem Güterzug.		✓				3, S. 30
Deutschland	1918	5. Mai.	Bapaume	Zugkollision (D)	Auf einer niveaugleichen Kreuzung kommt es zur Kollision zwischen einer Vollbahn- und einer Feldbahnlok.						3, S. 31
Deutschland	1918	3. Sep.	Nordfrankreich	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Eine auf den Wagen einer meterspurigen Kleinbahn verladene Feldbahn stößt während der Fahrt an eine Unterführung, kommt "ins Rutschen" und tötet einen Eisenbahnpionier.	✓					3, S. 31
Deutschland	1919	24. Okt.	Oberschlesien	Zugkollision (D)	Ein Personenzug fährt in die Flanke eines Güterzuges und gerät wegen der großen Ladung an geschmuggeltem Alkohol in Brand.						3, S. 32
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutschland	1944	17. Mrz.	Bobingen	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Zug fährt in einen Bombentrichter			✓				3, S. 32
Deutschland	1945	31. Jul.	Niederwartha	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrieb (D)	Ein nicht streckenkundiger und nach 39 Dienststunden übermüdeten Lokführer fährt nachts an sieben Halt zeigenden Signalen, einem Gleisperrsignal und einer Schutzhalteplatte vorbei und auf eine beschädigte Elbbrücke und stürzt in die Elbe.	(✓)	?		✓			3, S. 33
Deutschland	1945	19. Sep.	Köpenick	Zugkollision (D)	Der Lokführer übersieht um 4 Uhr früh das unbeleuchtete Einfahrtsignal und rammt eine Rangierabteilung.	(✓)	?		?			3, S. 33
Deutschland	1945	6. Okt.	Geising	Zugentgleisung (D)	Ein Zug der Besatzungsmacht entgleist wegen Bremsversagens im Gefälle.			✓				3, S. 33
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Deutsch- land	1945	5. Aug.	Tannwald - Polaun	Zugentgleisung (D)	Das Personal erhält den Befehl, auf einer Zahnradbahn mit 53 Promille Gefälle mit einem Zug mit gewöhnlichen Lok im Reibungsbetrieb zu fahren. Der schwere Zug beschleunigt die Garnitur, sodass die Bremskraft nicht ausreicht und die Räder blockieren. Bei etwa 90 km/h kommt es zur Entgleisung.				✓		3, S. 33
Deutsch- land	1939	20. Mrz.	Greifenberg	Sonstiger Unfall im Eisenbahnbetrie b (D)	Das Personal missachtete den Wasserstand der Lokomotive. Es kam während der Fahrt zum Kesselzerknall.	✓					3, S. 34
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutsch- land	2000	6. Feb.	Brühl	Zugentgleisung (D)	Wegen einer Baustelle durchfährt ein Tf den Bf im Gleiswechselbetrieb. Nachdem er die erste Weiche und das Einfahrsignal überfahren hat, beschleunigt er auf den folgenden mehr als 2 km von den vorgeschriebenen 40 km/h auf ca. 122 km/h. In der folgenden Weiche kommt es daher zur Entgleisung. Für den Gleiswechselbetrieb waren keine Zufahrstraßen in der befahrenen Richtung projektiert. Die Betriebsanweisung enthielt einige sicherheitsrelevante Fehler. Daraus folgte ein irritierender Eintrag einer Schutz-Langsamfahrstelle von 120 km/h in das Verzeichnis der Langsamfahrstellen. Die lange Langsamfahrstelle wurde nicht durch Geschwindigkeitsprüfabschnitte o. Ä. gesichert.	✓			✓	Das Regelwerk zur Erstellung von Betriebsanweisungen und Langsamfahrstellen wurde überarbeitet und neu herausgegeben. Regelungen und Anweisungen sind jetzt eindeutig beschrieben.	3, S. 36-43
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutsch- land	1944	18. Mrz.	Memmingen	Zugentgleisung (D)	Entgleisung aufgrund eines Luftangriffs			✓				3, S. 45
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	

Deutsch-land	2003	11. Jun.	Schrozberg	Zugkollision (D)	<p>Wegen einer Störung am Vorsignalwiederholer wurde die Fahrstraße auf einer eingleisigen Strecke nicht automatisch aufgelöst. Der Fdl nimmt als Grund jedoch eine BÜ-Störung an. Da dieser in den selbsttätigen Streckenblock einbezogen ist, vereinbarte er mit dem Kollegen das Fahren auf Ersatzsignal und führte Rückmelden ein. Durch die Fahrt des nächsten Zuges auf Ersatzsignal wurde nicht automatisch vorgeblockt, was aufgrund eines Fehlers in der Konzeption des Stellwerks manuell auch nicht ausgleichbar war. Dieses Problem wurde bisher durch regelwidriges Verhalten der Fdl kompensiert. Der Fdl Schrozberg verwechselt den kurz zuvor durchgefahrenen Güterzug mit dem sich auf die Strecke begebenden RE und meldet diesen als solchen zurück. Der Fdl Niederstetten gibt die Erlaubnis ab. Der Fdl Schrozberg schickt daraufhin einen weiteren RE auf die Strecke und es kommt zur Kollision</p>	✓	✓				5
--------------	------	----------	------------	------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	--	--	--	---

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Deutsch- land	2000	29. Nov.	Haspelmoor	Sonstige Kollision (D)	Ein Tf einer Privatbahn ist (vermutlich) während der Zugfahrt eingeschlafen. Da an der Lok wegen eines Defektes sowohl die Indusi als auch die Sifa nicht aktiv wahr, überfuhr der Zug ungebremst ein Halt zeigendes Signal und durchbricht einen Prellbock.	✓	✓				3, S. 47
Deutsch- land	1983	26. Mai.	Groß-Königsdorf	Zugentgleisung (D)	Ein Schnellzug entgleist nach einem Erdbeben			✓			3, S. 48
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutsch- land	1969	28. Jul.	Meinersen	Zugentgleisung (D)	Durch Hitze erreichten die Schienen eine Temperatur von 48 Grad Celsius, was zu hohen Längsspannungen führte. Durch das Befahren durch einen Zug kam es zu einer Gleisverwerfung und damit zur Entgleisung des Zugs. Der Oberbau war von geringer Qualität, in der befahrenen Richtung waren die Schienen auf den Schwellen ohne Unterlegplatte und nur mit Schrauben befestigt. Die Bundesbahndirektion hatte die Erneuerung des Gleises immer wieder herausgezögert.			✓	(✓)		3, S. 48
Deutsch- land	2002	9. Sep.	Bad Münder	Zugkollision (D)	Zwei Güterzüge kollidieren wegen Bremsproblemen bei einem der Züge. Es kommt zum Brand von Gefahrgut, sodass mehrstündige Löscharbeiten nötig werden.		✓				3, S. 64
Deutsch- land	1997	4. Feb.	Apach	Zugentgleisung (D)	Entgleisung Castor-Transport						3, S. 64
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Deutsch-land	1970	29. Mai.	Rosenheim	Zugkollision (D)	Der Tf des einen Durchgangszuges übersieht das "Halt" zeigende Einfahrtsignal und kollidiert mit einem weiteren. Bei der Kollision wird ein Kesselwagen mit dem Gefahrgut Vinylchlorid zerrissen und löst eine Explosion und einen Großbrand aus.	✓					3, S. 69
Deutsch-land	1949	30. Aug.	Berlin-Schöneeweide	Sonstige Kollision (D)	Im Ablaufbetrieb bleiben drei Kesselwagen vorzeitig in der Gleisbremse stehen. Die folgenden Kesselwagen mit Benzin und Lösungsmitteln stoßen mit diesen zusammen und entgleisen. Dabei lief Benzin aus, welches unter anderem in die Keller der Stellwerke lief und dort explodierte.	✓					3

Anlage 3: Bewertung Anwendungsfälle

Bewertung: ++ sehr hoch, + hoch, 0 mittel, - gering, -- sehr gering / nicht relevant	Größe der Zielgruppe	Innovationsbegeisterung der Zielgruppe	Bemerkungen	Automatisierungspotential Regelbetrieb	Automatisierungspotential im Störfall	Zeitersparnis	Bemerkungen	Neuartige Erkenntnisse	Bemerkungen	Distanz zum Realsystem-Bewertung invertiert-	Bemerkungen
Ril. 408											
408A1	++	0	Fachautoren und Betriebspersonal	/	/	0	Wissen beim Fachautor bereits vorhanden, Einarbeitung neuer Mitarbeiter würde beschleunigt	+	Überprüfung des Informationsnetzes von Abhängigkeiten und Querverweisen auf Vollständigkeit	+	Nur Nutzung durch Fachautor ohne Sicherheitsverantwortung aber neues System für Betriebspersonale kann an Betriebsräten scheitern
408B1	--	++	Fachautoren	/	/	++	Ablösung heutiger halbautomatischer CSM-Anwendungen	++	Aufdeckung von nicht sicheren geregelten Zuständen	--	Nachweis der Sicherheit zu erbringen
408B2	--	++	Fachautoren	/	/	++	Ablösung von Meldewegen für aufgefundene Inkonsistenzen	++	Aufdeckung von unterspezifizierten Zuständen	0	Nur Nutzung durch Fachautor ohne Sicherheitsverantwortung

Bewertung: ++ sehr hoch, + hoch, 0 mittel, - gering, -- sehr gering / nicht relevant	Größe der Zielgruppe	Innovationsbegeisterung der Zielgruppe	Bemerkungen	Automatisierungspotential Regelbetrieb	Automatisierungspotential im Störfall	Zeitersparnis	Bemerkungen	Neuartige Erkenntnisse	Bemerkungen	Distanz zum Realsystem-Bewertung invertiert-	Bemerkungen
408B3	0	+	Fachautoren und Genehmigungsprf.	/	/	+	Prüfer muss neben der Simulation weitere Aufgaben wahr nehmen	++	abgedeckt durch Tool Sicherheitsanalyse (verpflichtende Voraussetzung)	-	nur Unterstützung des Prüfers ohne abschließende Sicherheitsverantwortung
408B4	0	++	Fachautoren und LST-Entwickler	/	/	+	Das Potential für Kapazitätssteigerungen ist vorhanden aber ohne technischen Sprung in der Ausstattung vsl. eng begrenzt	+	Optimierung auf bestehender Technik ohne Sprung in der technischen Ausstattung	++	Nutzung durch Fachautor und LST-Entwickler um Potential zur Optimierung zu identifizieren, danach Fortsetzung ohne das Tool im bestehenden Prozess
408B5	0	++	Fachautoren und LST-Entwickler	/	/	++	Technologiesprung sollte Steigerung der Kapazität ermöglichen	++	Untersuchung neuer Verfahren, die auf neuer Technologiegeneration fußen	--	sehr hoch, da zum einen neue Technologie ausgerollt werden muss und zum anderen spekulative Regelwerksänderungen mit der Entwicklung des realen Regelwerks nachgeführt werden müssen

Bewertung: ++ sehr hoch, + hoch, 0 mittel, - gering, -- sehr gering / nicht relevant	Größe der Zielgruppe	Innovationsbegeisterung der Zielgruppe	Bemerkungen	Automatisierungspotential Regelbetrieb	Automatisierungspotential im Störfall	Zeitersparnis	Bemerkungen	Neuartige Erkenntnisse	Bemerkungen	Distanz zum Realsystem-Bewertung invertiert-	Bemerkungen
408B6	0	++	Fachautoren und LST-Entwickler	/	/	+	Zeitersparnis ist nicht der oberste Fokus bei Abweichungen vom Regelbetrieb, eine Optimierung des Zeitbedarfs kann aber mit diesem Tool angegangen werden	++	Aufdeckung von nicht sicheren geregelten Zuständen oder falsch spezifizierten Zuständen bei Abweichungen vom Regelbetrieb	0	Nutzung durch Fachautor und LST-Entwickler um Potential zur Optimierung zu identifizieren, Nachweis der Sicherheit zu erbringen
408D1	0	-	Fahrdienstleiter	0	+	+	Evtl. Textbausteine Befehle automatisch auswählen und anzeigen	--	lediglich Automatisierung von Aufgaben, keine Analyse	--	Nachweis der Sicherheit zu erbringen, neues System muss durch Betriebsräte genehmigt werden
408D2	-	0	Zuglenker (Berufsgruppe noch nicht geschaffen)	++	++	++	Verringerung auftretender Verspätungsminuten	--	lediglich Automatisierung von Aufgaben, keine Analyse	--	Nachweis der Sicherheit zu erbringen
408D3	+	-	Zugpersonale	++	+	+	Bis einschl. ATO 3 müssen gewisse Aufgaben durch Zugpersonal im Störfall wahrgenommen werden	--	lediglich Automatisierung von Aufgaben, keine Analyse	--	Nachweis der Sicherheit zu erbringen

Bewertung: ++ sehr hoch, + hoch, 0 mittel, - gering, -- sehr gering / nicht relevant	Größe der Zielgruppe	Innovationsbegeisterung der Zielgruppe	Bemerkungen	Automatisierungspotential Regelbetrieb	Automatisierungspotential im Störfall	Zeitersparnis	Bemerkungen	Neuartige Erkenntnisse	Bemerkungen	Distanz zum Realsystem- Bewertung invertiert-	Bemerkungen
408E1	-	++	Fachtrainer	/	/	+	Zeitersparnis durch Aufbereitung der Daten und Variation der Aufgabenstellung nicht maximal	0	Evtl. Identifizierung von in der Ausbildung fehlenden Inhalten	+	ohne Sicherheitsverantwortung