

DISS. ETH Nr. 22597

***Generische Beschreibung von Eisenbahnbetriebs-
prozessen***

Abhandlung zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN der ETH ZÜRICH

(Dr. sc. ETH Zürich)

vorgelegt von

SILKO HÖPPNER

(Dipl.-Ing., Technische Universität Dresden)

geboren am 28.07.1981

Staatsbürger der Bundesrepublik Deutschland

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. sc. techn. Ulrich Alois Weidmann, Referent

Prof. Dr.-Ing. Jörn Pahl, Korreferent

2015

Kurzfassung

Die Regelwerke und Richtlinien der europäischen Eisenbahnen weisen eine große Heterogenität bezüglich der darin enthaltenen Regeln, der verwendeten Begriffe, der inhaltlichen Tiefe und der Struktur auf. Daraus folgt, dass die Prozesse zur Durchführung des Betriebes nicht einheitlich sind, das betriebliche Personal nicht ohne Weiteres im Ausland eingesetzt werden kann und das gegenseitige Verständnis zum Bau und Betrieb nicht durchgängig gegeben ist. Die Europäische Union verfolgt das Ziel, den grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr zu unterstützen und veröffentlicht Richtlinien zur Verbesserung der technischen und betrieblichen Übergangsfähigkeit. Diese Arbeit betrachtet die Eisenbahnsysteme, für die die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität gelten und bezieht sich hierbei auf das Teilsystem Betrieb.

Das Ziel der Arbeit ist es, Eisenbahnbetriebsprozesse generisch zu beschreiben und grundlegende Regeln, welche universell anwendbar sind, herauszuarbeiten. Auf Grundlage dieses Ansatzes soll es möglich sein, ein harmonisiertes und länderübergreifendes Betriebsverfahren zu entwerfen. Im Weiteren werden Ergebnisse angestrebt, die das gemeinsame Prozessverständnis fördern, Hilfestellung zum Abbau der fachsprachlichen Differenzen anbieten, den Wissensaustausch unterstützen, den internationalen Personaleinsatz ermöglichen sowie die Entwicklung und die Dokumentation der technischen Anlagen vereinfachen, insbesondere in der Leit- und Sicherungstechnik.

Ausgehend vom aktuellen Stand der Forschung werden wissenschaftliche Arbeiten, eisenbahnbetriebliche Veröffentlichungen und bisherige Entwicklungsergebnisse zur betrieblichen Interoperabilität analysiert und auf ihre inhaltliche Fortführung hin überprüft. Es zeigt sich, dass ein Teil der Veröffentlichungen als Grundlage herangezogen werden kann.

Eine besondere Rolle spielt die betriebliche Fachsprache. Die Beschreibung der Betriebsprozesse weist bereits in einer natürlichen Sprache eine so hohe Komplexität auf, dass die gleichzeitige Betrachtung aller Staaten der Europäischen Union ein kaum zu überschauendes Sachgebiet wäre und die Bearbeitung nur über einen langfristigen Bearbeitungszeitraum erfolgen kann. Für die Entwicklung einer Harmonisierungsmethode ist jedoch die Auswahl eines kleinen Untersuchungsraumes mit einer gemeinsamen Sprache ausreichend und die Beherrschung der sprachliche Komplexität kann angemessen veranschaulicht werden. Für die Methodenentwicklung wer-

den die Fahrdienstvorschriften der drei mitteleuropäischen Staaten Deutschland, Österreich und Schweiz sowie die Richtlinien der Europäischen Union berücksichtigt.

Das System Eisenbahn ist ein komplexes Gefüge, für dessen Prozessmodellierung entsprechend geeignete Methoden und Beschreibungsmittel benötigt werden. Dafür bieten sich Verfahren des Systems Engineering an, die auf die Analyse, die Entwicklung, den Test und die Dokumentation integrierter Produkteinheiten und Prozesse in einem Systemkontext spezialisiert sind. In dieser Arbeit werden verschiedene Beschreibungsmittel untersucht und auf ihre Eignung zur Abbildung abstrakter Prozessmodelle überprüft. Im anschließenden Auswahlverfahren zeigt sich, dass für die Modellierung die semiformale Sprache Unified Modeling Language am besten geeignet ist und mit ihr eine generische Beschreibung als handhabbar erscheint.

Für die Herleitung der betrieblichen Grundprozesse, mit denen Zugfahrten durchgeführt werden, werden generische Betriebsmittel abgeleitet und im „Generischen Referenzsystem Eisenbahn“ zusammengefasst, welches auf den Vorüberlegungen von [BOSSE 2010] basiert. Aufbauend auf einem einfachsten, anzunehmenden Eisenbahnnetz werden Fahrzeugbewegungen modelliert und die hierfür notwendigen Aktivitäten in UML-Diagrammen beschrieben. Mit der schrittweisen Erweiterung werden die Diagramme entsprechend umfangreicher, bis ein Zustand erreicht wird, in dem bei zusätzlicher Systemerweiterung keine Änderung der Verfahrensabläufe nötig ist. Ab diesem Punkt ist ein Prozesskern verfügbar, der in jeder anderen betrieblichen Situation identifiziert werden kann.

In einem Eisenbahnnetz werden komplexe Zugfahrten als auch technologisch einfache Bewegungen zur Zugbildung, für Ladeprozesse oder für besondere betriebliche Situationen durchgeführt. Dafür werden die prinzipiellen Abläufe von Zug- und Rangierfahrten in unterschiedlichen Fallbeispielen unter Zuhilfenahme der generischen Diagramme simuliert. Es wird festgestellt, dass die generischen Prozesse für die betrachteten Beispiele verwendet werden können und die unterschiedlichen Bewegungsarten nachvollziehbar sind. Zusätzlich wird die Anwendbarkeit der generischen Diagramme auf nicht konventionelle Bahnsysteme untersucht (z. B. Bergbahnen, Industriebahnen).

Für die Formulierung anwendertauglicher Regeln müssen die Prozessdiagramme in eine natürliche Sprache transferiert werden. Das bestehende Problem eines fehlenden Fachwortschatzes kann nur durch einen beständigen Harmonisierungsprozess erfolgen, der bei erfolgreicher Umsetzung auch den Einbezug weiterer Wissen-

schaftsbereiche benötigt. Die vielschichtige Komplexität der Fachsprache wird in dieser Arbeit aufgezeigt und eine Methode für die Harmonisierung betrieblicher Regeln vorgeschlagen. Eine vollständige Angleichung der Begriffe und Regeln ist aufwandsbedingt innerhalb dieser Arbeit nicht denkbar und kann folglich auch nicht vollumfänglich gelöst werden.

Es kann abschließend festgestellt werden, dass ausgehend von den fundamentalen Eigenschaften und des Generischen Referenzsystems eine Methode für die allgemeingültige Prozessbeschreibung zur Verfügung steht. Dadurch ist es möglich, unabhängig von technischen Realisierungsformen und einem historisch gewachsenen Prozessverständnis, Regeln zu definieren, mit denen Zugfahrten sicher und zuverlässig durchgeführt werden können. Die Methode ist unabhängig von der Vorherrschaft eines bestimmten Teilnetzes oder eines Systemanbieters und bildet einen unabhängigen Rahmen für die betriebliche Interoperabilität.

Abstract

The regulations and guidelines governing railway operations in Europe differ significantly between countries in terms of rules, terminology, content-related scope and structure. These differences create inefficiency by making it more difficult to harmonize operational processes, transfer staff internationally, and understand construction and production processes in other countries. Together, these factors make it difficult to achieve the European Commission's objective of supporting increased cross-border railway operations. This dissertation builds a foundation for addressing this problem by developing an approach for creating technical specifications for interoperability and demonstrates the approach with a case study focused on the railway operation and traffic management subsystem.

The research goal was to develop a methodology for describing railway operating processes in a generic fashion and to use this methodology to characterize a set of basic railway operating rules. This methodology can be used to help design harmonized and transnational operating procedures. The research results can also be used to help foster a common understanding of operating processes, to reduce misunderstandings of technical terms in different languages, and to improve documentation for technical equipment and processes. These benefits will help support knowledge sharing, encourage development of common technologies (helping increase market efficiency) and enable personnel to work internationally. The case study focused on signaling and interlocking technology, a particularly important and complex railway subsystem.

The research began with an analysis of the current scientific literature, railway operations publications and previous industrial developments in the field of interoperability. The focus was to identify approaches that could be extended in the research. Several promising approaches were found and formed the basis for developing the research methodology.

An early finding was that national specific technical language plays an especially important role in the description of railway system operational processes. The descriptions were so specific that it was not possible to apply the research method to railway operations in all European Union languages as part of this research without sacrificing quality (although the research can be extended to cover more languages in the

future). However, the harmonization method can be developed using a subset of countries with a common language and this subset can adequately illustrate the handling of language complexity. Therefore, the research used the rule books from the three German-speaking countries of Austria, Germany and Switzerland as well as the European Union guidelines.

The railway system has a very complex structure and therefore highly specific methods and notations must be used to perform any process modeling. In this research systems engineering processes were used to provide the specialized methods for analyzing, developing, testing and documenting the integrated units and procedures in a system context. As part of the research several different notations were examined and their suitability tested for describing abstract process models. As a result of this analysis the semi-formal language Unified Modeling Language (UML) was found to be the most suitable for developing a generic description of railway system operating processes.

The research developed a set of generic resources to derive a Generic Railway Reference System (Generischen Referenzsystem Eisenbahn), based on [BOSSE 2010]. These resources can be used to describe the basic operational processes that constitute train trips. The approach models and describes vehicle movements based on the simplest possible rail network in an UML activity diagram. As the modeled network gets gradually larger the UML activity diagrams get correspondingly larger, until a state is reached where additional extensions cause no changes in the UML activity diagrams. From this point, a core set of processes is available, which can be identified in any other operational situation.

Railway services combine complex high performance train trips with simpler movements (e.g., train formation, loading, operational situations, etc.). Therefore, the research also simulated basic operations of train trips and shunting in case studies with the help of the generic diagrams. The results show that the generic process diagrams can be used for the case studies and the different movements are reproducible. The research also analyzed whether the generic processes could be used on non-conventional railway systems (e.g., Swiss mountain railways, industrial railways) and found that they could satisfactorily consider the specific characteristics of these systems.

The next step towards creating a uniform set of useable railway operating rules is to translate the generic diagrams into a natural language. As outlined above this is very

difficult due to the lack of specialized technical vocabulary across countries – even in the same language. This problem can be addressed using an ongoing language harmonization process incorporating several scientific fields. This dissertation describes the multi-layered complexity of technical language and proposes a method for the harmonization of operational rules. However, given the need for language harmonization, this dissertation cannot provide a complete harmonization of railway terms and rules.

In summary, the dissertation conclusively proves that it is possible to develop a method for generically describing railway operating processes based on fundamental characteristics and the Generic Reference System. This makes it possible, to define train operating rules without consideration of technical devices or an historical established process understanding. The method is independent of the dominance of a particular subnet or system provider and forms a sovereign framework for operational interoperability.

It can be conclusively determined, that a method for generic process description is available and bases on fundamental characteristics and the Generic Railway Reference System. This makes it possible, to define train operating rules without consideration of the specific technical equipment in place or an historically established understanding of the particular processes. The method is independent of the dominance of a particular network or system provider and forms an independent framework for operational interoperability.

Dank

Diese Dissertation wurde im Rahmen meiner Tätigkeit am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich erstellt und wurde durch die fachliche und moralische Unterstützung zahlreicher Mitmenschen begleitet.

An erster Stelle danke ich Prof. Dr. sc. techn. Ulrich A. Weidmann für das Angebot, an seinem Lehrstuhl eine Dissertation anfertigen zu dürfen und für die Bereitstellung des Themas. Diese für mich hochinteressante Aufgabe wurde von ihm über die gesamte Bearbeitungszeit intensiv begleitet und er stand nicht nur mit Rat und konstruktiver Kritik zur Seite, er hat darüber hinaus die freie und kreative Problemlösung wesentlich unterstützt. Ich möchte ihm dafür außerordentlich herzlich danken. Im Weiteren möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht bedanken, welcher als ausgewiesener Experte auf dem Gebiet des Eisenbahnbetriebes gilt und für besondere fachliche Diskussionen verfügbar war.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Renate und Horst Höppner, die mir die Möglichkeit einer freien Studienwahl gegeben haben, mich von externen Zwängen freigehalten haben und mir ständig zur Seite standen. Ebenfalls möchte ich meiner Schwester Dr. Daniela Höppner danken, welche bei Bedarf zu jeder Tages- und Nachtzeit moralische Unterstützung geboten hat.

Weiterhin danke ich den ehemaligen Oberassistenten des IVT, Frau Dr.-Ing. Sonja-Lara Bepperling und Herrn Prof. Dr.-Ing. Dirk Bruckmann, für die Begleitung dieser Arbeit. Ich bedanke mich auch bei allen anderen Kollegen des IVT für die jahrelange gute Zusammenarbeit und das Verständnis, regelmäßig mit Teilaspekten der Dissertation konfrontiert worden zu sein.

Besonderer Dank gilt allen Ausbildern der SBB (Login) und der Siemens Schweiz AG, die mit ihren Ausbildungsklassen regelmäßig im Eisenbahnlabor der ETH Zürich anwesend waren und mir auch kurzfristig die Besonderheiten des schweizerischen Bahnbetriebes und der Eisenbahnsicherungstechnik erklären konnten. Stellvertretend möchte ich hier die Herren Peter Zbinden und Hans-Rudolf Bruhin nennen.

Abschließend bedanke ich mich bei meinen Korrekturlesern Kristina Schäfer, Uwe Kirsch und Robert-Alexander Schwegler, die den Bericht durchgearbeitet haben und den gelungenen Abschluss mit ermöglicht haben. Vielen Dank an alle!

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
1.1	Motivation	3
1.2	Forschungsziel.....	4
1.3	Auswahl des Untersuchungsbereiches	5
1.4	Gliederung der Arbeit.....	6
2	Einführung in den Forschungsgegenstand	8
2.1	Einführung betriebliche Interoperabilität	8
2.1.1	Regeln zur Durchführung von Transportprozessen	8
2.1.2	Allgemeine Definition der Interoperabilität	8
2.1.3	Betriebliche Interoperabilität im Verkehrswesen	9
2.1.4	Betriebliche Interoperabilität im Eisenbahnverkehr.....	19
2.1.5	Beispiele für technische Interoperabilität im Eisenbahnverkehr	21
2.1.6	Einordnung der Eisenbahnbetriebsprozesse in den rechtlichen Kontext.....	25
2.1.7	Auswirkung der technischen Interoperabilität auf die Betriebsprozesse am Beispiel von ETCS.....	33
2.2	Die Entwicklung der Eisenbahnbetriebsverfahren.....	34
2.2.1	Einordnung der Begriffe Betriebsweise, -verfahren und -form.....	34
2.2.2	Betriebsverfahren in Deutschland	37
2.2.3	Betriebsverfahren in Österreich.....	39
2.2.4	Betriebsverfahren in der Schweiz.....	39
2.2.5	Überblick Betriebsverfahren der DACH-Staaten	41
2.2.6	Beispiele weiterer Betriebsverfahren.....	42
2.3	Untersuchungsbereich der Dissertation	43
2.3.1	Geographische Abgrenzung.....	43
2.3.2	Funktionale Abgrenzung	43
2.4	Nutzen der Harmonisierung.....	44
3	Stand der Forschung	47
3.1	Einleitung	47
3.2	Ansätze zur Weiterentwicklung der Betriebsprozesse und TSI.....	47

3.2.1	Harmonisierung der FDV in Deutschland.....	47
3.2.2	Vorschlag für eine neue Systematik der Betriebsverfahren deutscher Eisenbahnen.....	48
3.2.3	Analyse von Regelwerken.....	49
3.3	Bisherige Arbeiten zur technischen Beschreibung.....	51
3.3.1	Einleitung.....	51
3.3.2	Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und -sicherungssystemen [MEYER 2004].....	51
3.3.3	Beschreibung von Betriebsregeln mittels Petri-Netzen [LAHLOU 2007]	58
3.3.4	UML-basierte Testfall- und Systemmodelle für die Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik [KNOLLMANN 2007]	60
3.3.5	Vorschlag zur Beschreibung von Systemfunktionen mit SysML [EICKMANN 2008]	62
3.3.6	Anwendung der Methode Ontological Hazard Analysis	64
3.4	Vorschläge zur generischen Beschreibung.....	65
3.4.1	Generische Betrachtung der Betriebssicherheit [MASCHEK 2009].....	65
3.4.2	Grundlagen für ein Generisches Referenzsystem für die Betriebsverfahren spurgeführter Verkehrssysteme [BOSSE 2010].....	67
3.5	Fazit zum aktuellen Stand der Forschung.....	72
4	Forschungsfragen und Hypothesen.....	74
4.1	Forschungsfrage.....	74
4.2	Fundamentale Eigenschaften des Eisenbahnverkehrs	75
4.3	Definition und Abgrenzung von Eisenbahnbetriebsprozessen.....	77
4.4	Harmonisierungsumfang.....	78
4.5	Beschreibungsform von Eisenbahnbetriebsprozessen	79
5	Forschungsmethodik	81
5.1	Einleitung	81
5.2	Auswahl des Beschreibungsmittels	81
5.3	Methoden des Systems Engineering.....	82
5.3.1	Definition Systems Engineering	82
5.3.2	Systems Engineering bei Verkehrssystemen.....	83
5.3.3	Modellierungsperspektiven.....	84
5.3.4	Verwendung des Systems Engineering	86

5.4	Methodik zur Ableitung generischer Eisenbahnbetriebs-prozesse	86
5.5	Eignung der generischen Betriebsprozesse.....	88
5.6	Sprachliche Aspekte und Methodik zum Vergleich von Regelwerkstexten.....	89
6	Prozessbeschreibung	91
6.1	Einleitung	91
6.1.1	Übersicht	91
6.1.2	Verwendete Begriffe in der Prozessmodellierung	91
6.2	Analyse der heutigen Beschreibungsmittel	93
6.3	Anforderungen an das Beschreibungsmittel	95
6.4	Evaluationsprozess Fallbeispiel „Abfahrt des Zuges“	98
6.5	Analyse formaler Beschreibungsmittel	99
6.5.1	Formale Methoden	99
6.5.2	Petri-Netze.....	100
6.6	Analyse semiformaler Beschreibungsmittel.....	103
6.6.1	Unified Modeling Language.....	103
6.6.2	Systems Modeling Language	106
6.6.3	Business Process Model and Notation.....	107
6.6.4	Programmablaufplan mit Notation nach DIN 66001.....	111
6.6.5	Ereignisgesteuerte Prozesskette.....	113
6.6.6	Wirkschartplan	115
6.7	Auswahl Beschreibungsmittel und Begründung.....	119
7	Ableitung generischer Eisenbahnbetriebsprozesse	123
7.1	Einleitung	123
7.2	Detaillierungsgrad der Betriebsprozesse.....	124
7.3	Physikalischer Ansatz.....	125
7.4	Generische Betriebsmittel.....	129
7.4.1	Generische Elemente der Eisenbahninfrastruktur	129
7.4.2	Generische Einteilung der Fahrzeuge.....	139
7.5	Herleitung betrieblicher Grundsätze für ein individuelles Eisenbahnsystem.....	144
7.5.1	Einleitung.....	144
7.5.2	Transportdurchführung bei einem hypothetischen individuellen Eisenbahnsystem	145

7.5.3	Anwendbarkeit eines individuellen Bahnsystems	147
7.5.4	Generische Funktionen der Leit- und Sicherungstechnik	149
7.6	Herleitung der Betriebsprozesse für eine generische Topologie.....	151
7.6.1	Vorschlag für die Definition eines Generischen Referenzsystems „Eisenbahn“	151
7.6.2	Vorgehen zum Herleiten generischer Betriebsprozesse.....	154
7.6.3	Herleitung und Erweiterung einer generischen Topologie	155
7.6.4	Einfachstes anzunehmendes Eisenbahnsystem.....	155
7.6.5	Erster Erweiterungsschritt Infrastruktur	161
7.6.6	Zweiter Erweiterungsschritt Infrastruktur.....	178
7.6.7	Dritter Erweiterungsschritt Infrastruktur.....	183
7.6.8	Zusammenfassung Kapitel 7.6.....	186
7.7	Erweiterung der Betriebsprozesse für mehrere Züge	187
7.7.1	Einleitung.....	187
7.7.2	Allgemeine Anforderungen an die Disposition	188
7.7.3	Zwei Züge.....	190
7.7.4	Drei Züge.....	197
7.7.5	Der Begriff Fahrdienstleiter	197
7.8	Vereinfachung der UML-Diagramme.....	199
7.8.1	Einleitung.....	199
7.8.2	Unterprozess „Zug fahren“	199
7.8.3	Unterprozess „Zughalt“	200
7.8.4	Integration der Disposition.....	201
7.8.5	Generischer Betriebsprozess „Fahrt“	206
7.9	Zusammenfassung	209
8	Ansatz für einen harmonisierten Fachwortschatz	211
8.1	Einleitung	211
8.2	Hinweise zur Harmonisierung der Termini	212
8.2.1	Sprachwissenschaftliche Aspekte.....	212
8.2.2	Empfehlungen für das Erstellen eines Fachwörterbuchs.....	215
8.2.3	Beispiele ähnlicher Termini der DACH-Staaten	217
8.2.4	Erkenntnisse.....	226

8.3	Glossar.....	227
8.3.1	Hinweis zu diesem Glossar	227
8.3.2	Liste Termini.....	227
9	Methodik zum Vergleich von Richtlinien	233
9.1	Einleitung	233
9.2	Anfangsbedingungen.....	234
9.3	Grobgliederung des Inhalts	237
9.3.1	Einleitung.....	237
9.3.2	Geographischer Geltungsbereich.....	237
9.3.3	Zeitlicher Geltungsbereich.....	237
9.3.4	Grobgliederung des Inhalts	238
9.4	Feingliederung des Inhalts	239
9.5	Vergleich und Regeländerung	241
9.5.1	Grundlegende Fragestellungen für den Vergleich	241
9.5.2	Keine Regeländerung.....	242
9.5.3	Sprachliche Formulierung anpassen.....	243
9.5.4	Inhalt anpassen	244
9.6	Prüfung auf Vollständigkeit.....	246
9.7	Beispiel für Vergleich und Regeländerung	248
10	Testanwendung.....	253
10.1	Einleitung	253
10.2	Herleitung generischer Betriebsprozesse für Rangierfahrten	253
10.2.1	Aufhebung der räumlichen Trennung.....	253
10.2.2	Herleitung der Begriffe Bahnhof und Rangierfahrt	253
10.2.3	Beispielvorgänge im Bahnhof Iggswil.....	256
10.2.4	Beispielvorgang 1: Abstellung eines S-Bahn-Triebwagens	258
10.2.5	Beispielvorgang 2: Verstärkung S-Bahnzug	267
10.2.6	Beispielvorgang 3: Bereitstellung eines Güterzuges.....	269
10.2.7	Prozessübergang	270
10.2.8	Zusammenfassung Rangierprozesse.....	271

10.3	Zugbildung	272
10.3.1	Einleitung.....	272
10.3.2	Zugvereinigung.....	273
10.3.3	Zugteilung.....	276
10.4	Nicht konventionelle Bahnsysteme.....	278
10.4.1	Einleitung.....	278
10.4.2	Schweizer Betriebsform Zugverband	279
10.4.3	Geschobene Güterzüge im Braunkohlenbergbau.....	285
10.4.4	Zugbetrieb in ETCS Level 3	294
10.5	Bereinigung der Prozessdiagramme	303
10.5.1	Einleitung.....	303
10.5.2	Makroskopische Verknüpfung der Generischen Prozesse	303
10.5.3	Mesoskopische Darstellung der Zugfahrtprozesse	306
10.5.4	Mesoskopische Darstellung der Rangierprozesse.....	310
10.6	Zusammenfassung	316
11	Synthese	318
11.1	Prüfung der Hypothesen.....	318
11.2	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	323
11.3	Fazit	324
12	Quellen- und Literaturverzeichnis	327

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Übersicht der Kollisionsverhütungsregeln der Schifffahrt [KVR 2009]	13
Tabelle 2.2 Inhalt des Anhang 2 des Internationalen Zivilluftfahrtabkommen	18
Tabelle 2.3 Übersicht Rechtsinstrumente EU	30
Tabelle 2.4 Übersicht Betriebsverfahren.....	41
Tabelle 3.1 Neuklassifizierung der Betriebsverfahren mit verschiedenen Ausrüstungsstufen nach [PACHL 2004]	49
Tabelle 3.2 Anforderungen für eine architekturunabhängige Systemdefinition.....	69
Tabelle 5.1 Matrix der Modellierungsmethoden [SPECKER 2005]	85
Tabelle 6.1 Detaillierungsgrade der Prozessbeschreibung	95
Tabelle 6.2 Matrix möglicher generischer Modellierungsmethoden nach [SPECKER 2005].....	97
Tabelle 6.3 Aktivitäten im Evaluationsprozess „Abfahrt des Zuges“.....	98
Tabelle 6.4 Petri-Netz-Symbole im Evaluationsprozess	101
Tabelle 6.5 UML-Symbole im Evaluationsprozess.....	104
Tabelle 6.6 Beispieltabelle mit Element-Differenzierung in BPMN (Auszug Tabelle Eventtypen in [BPMN 2.0])	108
Tabelle 6.7 BPMN-Symbole im Evaluationsprozess	109
Tabelle 6.8 Symbole der DIN 66001 im Evaluationsprozess	111
Tabelle 6.9 EPK-Symbole im Evaluationsprozess	113
Tabelle 6.10 Bewertungsmaßstab Beschreibungsmittel	119
Tabelle 6.11 Evaluationsmatrix Beschreibungsmittel.....	120
Tabelle 7.1 Übersicht physikalischer Bewegungszustände bezüglich a und v	127
Tabelle 7.2 Übertragung physikalischer Bewegungszustände auf Fahrzeugfahrten ..	127
Tabelle 7.3 Funktionen generischer Fahrweegelemente	138

Tabelle 7.4 Anforderungen an eine architekturunabhängige Systemdefinition nach [BOSSE 2010].....	152
Tabelle 8.1 Sprachwissenschaftliche Begriffsbestimmungen nach [DIN 2342]	213
Tabelle 8.2 Sprachwissenschaftliche Begriffsbestimmungen zu Wörterbüchern nach [DIN 2342].....	215
Tabelle 8.3 Übersicht der Bezeichnungen für Prozesse und Fahrweegelemente	220
Tabelle 8.4 Einteilung der Fahrten in den deutschsprachigen Staaten [FENDRICH 2007].....	226
Tabelle 9.1 Anforderungen für Zugschlussignale	250
Tabelle 10.1 Gleisnutzung Bahnhof Iggswil	257

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Beispiel vereinbarter Straßensignale [UN 1968b]	11
Abbildung 2.2 Auszug aus Internationalem Signalbuch für Hochseeschifffahrt [USA 2003].....	14
Abbildung 2.3 Struktur Internationales Luftfahrtrecht	17
Abbildung 2.4 International unterschiedliche Betriebsvorschriften für den Fall länger fehlender Fahrleitungsspannung [BEHMANN 1999].....	20
Abbildung 2.5 Struktur der Begriffe Betriebsweise, -verfahren und -form am Beispiel von Deutschland	36
Abbildung 3.1 Petri-Netz „Bahnübergang sichern“ [MEYER 2004]	54
Abbildung 3.2 Petri-Netz „Bahnübergang“ [MEYER 2004].....	54
Abbildung 3.3 Übersicht generischer Funktionen nach [MEYER 2004]	57
Abbildung 3.4 Zugabfahrt als Farbiges Petri-Netz [LAHLOU 2007]	58
Abbildung 3.5 Zustimmung zur Abfahrt als Farbiges Petri-Netz [LAHLOU 2007].....	59
Abbildung 3.6 Rolle betrieblicher Regeln im Eisenbahnsystem [KNOLLMANN 2007]..	61
Abbildung 3.7 „Ausfahrt eines Zuges“ als UML-Aktivitätendiagramm [KNOLLMANN 2007].....	62
Abbildung 3.8 Blockdefinitionsdiagramm mit SysML für die Teilfunktion „Fahrwegele- mente überwachen“ [EICKMANN 2008]	64
Abbildung 3.9 Pseudo-Code zur Beschreibung einer Fahanfrage im Zugleitbetrieb [SIEKER 2010].....	65
Abbildung 3.10 Schutzfunktionen und Beispiele technischer Realisierungen [MASCHEK 2009]	66
Abbildung 3.11 Beispieldarstellung einer generischen Systemdefinition.....	70
Abbildung 6.1 Evaluationsprozess als Petri-Netz-Diagramm	102
Abbildung 6.2 Evaluationsprozess als UML-Aktivitätendiagramm.....	105

Abbildung 6.3 Evaluationsprozess als BPMN-Prozessdiagramm	110
Abbildung 6.4 Evaluationsprozess als Programmablaufplan	112
Abbildung 6.5 Evaluationsprozess als Ereignisgesteuerte Prozesskette	114
Abbildung 6.6 Allgemeiner Regelkreis [TRÖSTER 2011]	116
Abbildung 6.7 Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr [MASCHEK 2012]	117
Abbildung 6.8 Evaluationsprozess als Wirk Schaltplan	118
Abbildung 7.1 Prozess „Zug bewegen“ als UML-Aktivitätendiagramm.....	128
Abbildung 7.2 Das System „Elektrische Bahn“ [BIESENACK 2006]	132
Abbildung 7.3 Grundelemente des Fahrweges.....	137
Abbildung 7.4 Auflösung einer Doppelten Kreuzungsweiche in Grundelemente.....	138
Abbildung 7.5 Einteilung Fahrzeuge nach [DIN 25003]	141
Abbildung 7.6 Generische Einteilung von Eisenbahnfahrzeugen.....	144
Abbildung 7.7 Eingleisige Strecke mit hypothetisch individuellem Ausweichen	145
Abbildung 7.8 Zweigleisige Strecke mit hypothetisch individuellem Ausweichen	146
Abbildung 7.9 Zweigleisige Strecke mit richtungsselektiven Überholungsgleisen	147
Abbildung 7.10 Elemente eines individuellen Eisenbahnsystems.....	148
Abbildung 7.11 Generische Darstellung des Systems Eisenbahn nach [BOSSE 2010]	149
Abbildung 7.12 Struktur eines funktionalen Systems Eisenbahn nach [BOSSE 2010]	153
Abbildung 7.13 Generische Elemente des Systems Eisenbahn	154
Abbildung 7.14 Ringstrecke Einrichtungsbetrieb	156
Abbildung 7.15 UML-Aktivitätendiagramm auf Ringstrecke mit einer Haltestation	157
Abbildung 7.16 Ringstrecke mit zwei Stationen	158

Abbildung 7.17 UML-Aktivitätendiagramm auf Ringstrecke mit zwei Haltepunkten....	159
Abbildung 7.18 UML-Aktivitätendiagramm auf Ringstrecke mit Fahrtrichtungswechsel	160
Abbildung 7.19 Erster Erweiterungsschritt Infrastruktur	161
Abbildung 7.20 Varianten von Ringstrecken mit zwei Weichen	162
Abbildung 7.21 Pendelstrecke ohne Zwischenstation.....	163
Abbildung 7.22 UML-Aktivitätendiagramm für eine Pendelstrecke ohne Zwischenstation	163
Abbildung 7.23 Infrastruktur Pendelstrecke mit Zwischenstation	164
Abbildung 7.24 UML-Aktivitätendiagramm für Pendelstrecke mit Zwischenstation	164
Abbildung 7.25 Ringstrecke mit Gleiskreuzung	165
Abbildung 7.26 Ringstrecke mit innerer Verbindungsstrecke.....	166
Abbildung 7.27 UML-Aktivitätendiagramm für Ringstrecke mit Selbststellbetrieb	168
Abbildung 7.28 UML-Aktivitätendiagramm für Ringstrecke mit EIU	171
Abbildung 7.29 Erste Fahrerlaubnis von A nach B (grün)	172
Abbildung 7.30 Zweite Fahrerlaubnis von B nach A (grün).....	173
Abbildung 7.31 Dritte Fahrerlaubnis von A nach Z (grün)	174
Abbildung 7.32 Beispiel für die schrittweise Verlängerung der Fahrerlaubnis	176
Abbildung 7.33 Zweiter Erweiterungsschritt Infrastruktur	178
Abbildung 7.34 Infrastrukturvariante mit Gleisabschlüssen und –kreuzung und ohne Weichen.....	179
Abbildung 7.35 Ausgewählte Infrastrukturvarianten mit Gleisendabschlüssen und Weichen.....	180
Abbildung 7.36 Fahrtverlauf für Ringstrecke mit Stichstrecke.....	181
Abbildung 7.37 Infrastrukturvariante mit Weichen, Gleiskreuzung und –abschluss ...	183

Abbildung 7.38 UML-Aktivitätendiagramm für dritte Infrastrukturerweiterung (mit EIU)	185
Abbildung 7.39 Abhängigkeiten der Betriebszustände [WEIDMANN 2013]	188
Abbildung 7.40 Dispositionsablauf im Störfall [WEIDMANN 2013]	189
Abbildung 7.41 Infrastruktur mit Stationierung	191
Abbildung 7.42 Ausgangssituation mit zwei Zügen im Netz zum Zeitpunkt 0	192
Abbildung 7.43 Fahrterlaubnis besteht für beide Züge zum Zeitpunkt 1	193
Abbildung 7.44 Fahrterlaubnisse für beide Züge zum Zeitpunkt 2	194
Abbildung 7.45 Fahrterlaubnisse für beide Züge zum Zeitpunkt 3	194
Abbildung 7.46 Schlussituation für beide Züge in Station C	195
Abbildung 7.47 UML-Aktivitätendiagramm für 2 Züge in einem Netz	196
Abbildung 7.48 UML-Aktivitätendiagramm für Unterprozess „Zug fahren“	200
Abbildung 7.49 UML-Aktivitätendiagramm für Unterprozess „Zughalt“	201
Abbildung 7.50 „Disposition“ im Regelbetrieb	203
Abbildung 7.51 Disposition im Betriebsprozess mit einem Zug	204
Abbildung 7.52 Disposition im Betriebsprozess mit zwei Zügen	205
Abbildung 7.53 Vereinfachtes UML-Aktivitätendiagramm für zwei Züge im Netz	206
Abbildung 7.54 Generischer Betriebsprozess „Fahrt“	207
Abbildung 8.1 Verständnis für Terminus	214
Abbildung 8.2 Gleissperre Gleis 52 in einem schweizerischen RSTW	219
Abbildung 8.3 Schweizerischer Sperrschuh (aufliegend/ umgeklappt)	220
Abbildung 8.4 Zwergsignal Schweiz (Signalbegriff „Halt“)	222
Abbildung 8.5 Hauptsignal in Bauform eines Zwergsignals (Bereich ehem. Deutsche Reichsbahn)	223

Abbildung 8.6 Sperrsignal Schweiz (Signalbegriff „Halt“) [FDV CH 2012].....	224
Abbildung 8.7 Österreichisches Sperrsignal (links) und Vershubsignal als Zwergsignal (rechts) an einem Sperrschuh	224
Abbildung 8.8 Deutsches Sperrsignal in Bauform eines Zwergsignals.....	225
Abbildung 9.1 Hauptarbeitsschritte Vergleichsmethodik als UML-Diagramm.....	234
Abbildung 9.2 Schritt 1 „Anfangsbedingungen“.....	235
Abbildung 9.3 Beispielskizze einer inhaltlichen Schnittmenge [HÖPPNER 2011].....	238
Abbildung 9.4 Schritt 2 „Grobgliederung“.....	239
Abbildung 9.5 Schritt 3 „Feingliederung“.....	240
Abbildung 9.6 Schritt 4 Entscheidungsbaum für Vergleich und Regeländerung.....	242
Abbildung 9.7 Gesamtübersicht Vergleichsmethodik Richtlinien.....	247
Abbildung 9.8 Zugschluss in TSI Betrieb [2011/314/EU]	249
Abbildung 9.9 Beispiel Zugschluss in FDV Schweiz [FDV CH 2012]	249
Abbildung 9.10 Rot-weiß gestreiftes Schweizer Zugschlussignal.....	252
Abbildung 10.1 Topologie Bahnhof Iggswil.....	257
Abbildung 10.2 Unterteilung des Bahnhofs Iggswil in Gleisbereiche.....	260
Abbildung 10.3 UML-Aktivitätendiagramm zur Prüfung der Verantwortung für die Fahrwegsicherung bei Rangierfahrten.....	261
Abbildung 10.4 UML-Aktivitätendiagramm „Rangierprozess Zf-Bereich“	262
Abbildung 10.5 UML-Aktivitätendiagramm „Rangierprozess Rf-Bereich“	264
Abbildung 10.6 Rangierfahrt Triebwagen nach Gleis 23 (Ausschnitt UML-Diagramm)	265
Abbildung 10.7 Fortsetzung Rangierfahrt Triebwagen von Gleis 23 nach Gleis 43 (Ausschnitt UML-Diagramm)	266

Abbildung 10.8 Abschluss Prozess Rangierfahrt Triebwagen nach Gleis 44 (Ausschnitt UML-Diagramm)	267
Abbildung 10.9 Topologie Bahnhof Ypslikon	272
Abbildung 10.10 Zugvereinigung: Zug 2 wartet auf Weiterfahrt nach Gleis 2.....	273
Abbildung 10.11 Weiterfahrt Zug 2 als Rangierfahrt	274
Abbildung 10.12 Fortsetzung der Zugfahrt nach Vereinigung beider Züge	275
Abbildung 10.13 Verkürzung des Rangierfahrweges durch ein zusätzliches Zwischensignal	276
Abbildung 10.14 Zug 2 verlässt Bahnhof nach Zugteilung	277
Abbildung 10.15 Zug 1 verlässt Bahnhof Ypslikon.....	278
Abbildung 10.16 Prinzipskizze Zugverband [FDV CH 2012]	279
Abbildung 10.17 Teilzug mit grün-weißer Signalscheibe auf der Pilatusbahn	280
Abbildung 10.18 Betriebsprozess „Fahrt im Zugverband“	282
Abbildung 10.19 Betriebsprozess „Zugverband fahren“	284
Abbildung 10.20 Darstellung des Betriebsverfahrens Zugverband nach [BOSSE 2010]	285
Abbildung 10.21 Funktionsskizze Schubsignal zu einem Hauptsignal	287
Abbildung 10.22 Hauptsignal mit Schub- und Vorsignal	288
Abbildung 10.23 Beispiel für den Verzicht eines Schubsignals.....	289
Abbildung 10.24 Technisch gesicherter Bahnübergang.....	290
Abbildung 10.25 Bahnübergang ohne technische Sicherung.....	291
Abbildung 10.26 Betriebsverfahren Braunkohlenbergbau.....	294
Abbildung 10.27 Sperrzeit eines Fahrwegabschnitts [PACHL 2011].....	295
Abbildung 10.28 Skizze einer Sperrzeitentreppe [PACHL 2011]	296

Abbildung 10.29 Skizze Sperrzeitenband (eigene Darstellung, basierend auf [BÄR 2004]).....	297
Abbildung 10.30 Sperrzeitband mit Abfolge der Aktivitäten im Prozess "Fahrt" (Skizze unmaßstäblich)	298
Abbildung 10.31 Aktivitäten im Prozess „Fahrt“ in ETCS Level 3 (Fahrt im absoluten Bremswegabstand)	300
Abbildung 10.32 Aktivitätenkette bei außerplanmäßigen Halt in ETCS Level 3	301
Abbildung 10.33 Darstellung des Betriebsverfahrens mit ETCS Level 3 nach [BOSSE 2010].....	302
Abbildung 10.34 Makroskopische Darstellung des Eisenbahnbetriebs	304
Abbildung 10.35 Beispieldarstellung beteiligter Mitarbeiter am Eisenbahnbetrieb	305
Abbildung 10.36 Generischer Betriebsprozess „Fahrt“	307
Abbildung 10.37 Mesoskopischer Unterprozess „Zug fahren“	308
Abbildung 10.38 Mesoskopischer Unterprozess „Zughalt“	309
Abbildung 10.39 Generischer Entscheidungsprozess für das Rangieren.....	310
Abbildung 10.40 Generischer Rangierprozess Rf-Bereich.....	311
Abbildung 10.41 Generischer Rangierprozess Zf-Bereich	312
Abbildung 10.42 Mesoskopischer Unterprozess Rangierfahrt	313
Abbildung 10.43 Mesoskopischer Unterprozess Rangierhalt.....	314
Abbildung 10.44 Mesoskopischer Unterprozess Rangierfahrt	315

Abkürzungen

AB-EBV	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
AG	Aktiengesellschaft
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
Art.	Artikel
BAV	Bundesamt für Verkehr, Bern
BLS	Bern-Lötschberg-Simplon (Schweizer Bahngesellschaft)
BOA	siehe EBOA
BO Strab	Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung in Deutschland
BPMN	Business Process Modeling and Notation
Bü	Bahnübergang
CSM	Common Safety Methods
DACH	Gemeinsame Bezeichnung für die Staaten Deutschland, Österreich und Schweiz
DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung in Deutschland
EBOA	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen in Deutschland (auch als BOA abgekürzt, je nach Gesetzgebung der deutschen Bundesländer)
EisbBBV	Eisenbahnbau- und Betriebsverordnung in Österreich

EisbVO	Eisenbahnverordnung in Österreich
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ERA	European Railway Agency
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
EU	Europäische Union
ESBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen in Deutschland
ESO	Eisenbahn-Signalordnung in Deutschland
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ETCS	European Traffic Control System
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
Fdl	Fahrdienstleiter
FDV	Fahrdienstvorschrift
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FV-NE	FDV für nichtbundeseigene Eisenbahnen in Deutschland
GKB	Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH (Österreich)
GSM-R	Global System for Mobil Communication – Railway
IATA	International Air Transportation Association (Internationale Luftverkehrs-Vereinigung)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrt-Organisation)
ISO	International Organisation for Standardization

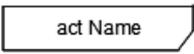
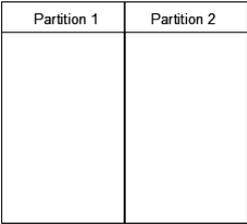
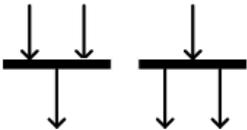
IT	Informationstechnik
LST	Leit- und Sicherungstechnik (für Bahnsysteme)
OHA	Ontological Hazard Analysis
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
PZB 90	Realisierungsform einer punktförmigen Zugbeeinflussung in Deutschland
Rf-Bereich	Rangierfahrtbereich (siehe auch Kapitel 8.3.2)
RSTW	Relaisstellwerk (elektrisches Stellwerk)
S-Bahn	Personenzug mit hohem Beschleunigungsvermögen mit vorwiegendem Einsatz in Städten und Ballungsräumen (Stadtschnellbahn)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SOB	Schweizerische Südostbahn
SysML	Systems Modeling Language
SZB	Signalisierter Zuggleitbetrieb
TEN	Transeuropäisches Eisenbahnnetz
TGV	Train à Grande Vitesse (französischer Hochgeschwindigkeitszug)
TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
UIC	Union internationale des chemins de fer (Internationaler Eisenbahnverband mit Sitz in Paris)
UML	Unified Modeling Language
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Nordamerika)
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

Vgl.	Vergleiche
v.u.n.	von und nach
XML	Extensible Markup Language
Zf-Bereich	Zug- und Rangierfahrtbereich (siehe auch Kapitel 8.3.2)
ZUB 121	Realisierungsform einer punktförmigen Zugbeeinflussung der Schweiz

Formelzeichen und Maßeinheiten

a	Beschleunigung
ft	Fuss (englisch)
Hz	Hertz (Perioden/s)
in	Zoll (englisch)
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
kV	Kilovolt
m	Meter
mm	Millimeter
m/s	Meter pro Sekunde
§	Paragraph
%	Prozent
‰	Promille
r	Weg(-länge)
Δ	Delta (Differenz)
s	Sekunde
v	Geschwindigkeit

Symbole UML

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Ablaufende	Knoten beendet einen einzelnen Kontrollfluss.
	Name des Aktivitätendiagramms	Name des modellierten Prozesses (Diagrammname)
	Aktionsknoten (Aktivität)	Elementares Modellelement zur Beschreibung einer Aktivität, kann verschachtelt sein und weitere Aktionsknoten beinhalten
	Aufruf	Aktionsknoten ruft andere Aktivität auf.
[Randbedingung]	Bedingung	Text mit Angabe einer Bedingung entlang eines Kontrollflusses
	Endknoten	Ende eines Ablaufes, mehrere Endknoten in einem Diagramm möglich
	Entscheidung	Ablauf kann sich entsprechend bestimmter Bedingungen verzweigen.
(1)	Hinweis	Begleitenden Text beachten
	Konnektor	Verbindet unterbrochenen Kontrollfluss
	Kontrollfluss	Gerichtete Verbindung zwischen zwei Knoten
	Partition	Darstellung von Knoten in verschiedenen Eigenschafts- oder Verantwortungsbereichen
	Objektfluss	Kontrollfluss zwischen zwei Pins kennzeichnet den Einbezug eines Objektes.
	Startknoten	Anfang eines Ablaufes, mehrere Startknoten in einem Diagramm möglich
	Synchronisation, Teilung	Knoten, in denen Kontrollflüsse zusammengeführt oder aufgeteilt werden.

Werden in dieser Dissertation personenbezogene Funktionen benannt, die sich in gleicher Weise auf alle Geschlechter beziehen, so wird zur Erhaltung des Leseflusses die männliche Form verwendet.

Wird im folgenden Text auf Autoren verwiesen, dann bezieht sich dies auf die Autoren der im jeweiligen Abschnitt diskutierten Quelle. Wird ein Verfasser benannt, dann wird auf den Autor dieser Dissertation verwiesen.

1 Einführung

1.1 Motivation

Das System Eisenbahn ist geeignet, um große Transportmengen über weite Strecken in engmaschigen Netzen zu bewegen. Unabhängig des Rationalisierungsgrades sind immer Akteure mit unterschiedlichen Funktionen auf dem Netz verteilt und müssen miteinander kommunizieren. Damit der Zugbetrieb sicher und zuverlässig durchgeführt werden kann, sind umfangreiche Prozessbeschreibungen in sogenannten Regelwerken erstellt worden. Diese Regelwerke gliedern sich in weitere Schriften (Richtlinien, Beschreibungen, Bedienungsanweisungen) und umfassen die gesamte Produktionstechnologie.

Prinzipiell ist eine Zugfahrt in jedem Land gleich. Züge verkehren zwischen zwei Orten und werden mittels Signalen gegenseitig geschützt und disponiert. Während unter technischen Gesichtspunkten die Übergangsfähigkeit der Züge zwischen den Eisenbahnnetzen gewährleistet werden kann (einheitliche Spurweite, Zug- und Stossvorrichtungen, Bremsanlagen, Fahrzeugumgrenzungslinien), muss nach wie vor an einer Staatsgrenze das Betriebsverfahren mit den dazugehörigen Regeln und Pflichten getauscht werden. Diese meist in Regelwerken dokumentierten Betriebsverfahren sind faktisch rein national geprägt und mit der Entwicklung des jeweiligen Eisenbahnwesens mitgewachsen. Hier spiegeln sich die unterschiedlichen Verfahrensphilosophien und dazugehörigen technischen Einrichtungen wieder. Dies geht soweit, dass innerhalb Europas nicht alle Fachausdrücke direkt übersetzbar sind. So ist beispielsweise die betriebliche Bezeichnung Bahnhof nicht eindeutig in einen englischen Begriff übertragbar, da in Großbritannien im Gegensatz zum deutschsprachigen Raum betrieblich nicht zwischen einem Bahnhof und der freien Strecke unterschieden wird.

Die Europäische Union (EU) soll zu einem Raum ohne Grenzen werden, in dem sich Personen, Güter, Dienstleistungen und Kapital frei bewegen können (die so genannten „vier Freiheiten“ der EU [AEUV 2012]). Eine Teilstrategie zur Sicherstellung dieser Freiheiten ist die technische und betriebliche Harmonisierung des Eisenbahnsystems, welche durch die Verfügung von Richtlinien für die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) unterstützt wird.

Für die Teilsysteme Betrieb/ Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung bestehen in der EU zwei TSI-Richtlinien¹, getrennt nach Hochgeschwindigkeitsverkehr und konventionellem Eisenbahnverkehr. Diese stellen jedoch kein vollständiges Regelwerk dar, werden aber als „Bezugsunterlage für die Durchführung von Zugfahrten verwendet.“² Damit bleibt allerdings weiterhin ein Regelungsdefizit für den internationalen Zugverkehr bestehen, welches bisherige betriebliche Grenzen innerhalb Europas nicht vollständig aufhebt. Dabei wird die Einführung eines neuen Systems für die Zugsteuerung, -sicherung und die Signalgebung (ETCS) von den europäischen Staaten bereits umgesetzt, das in Zukunft einen technisch einheitlichen und vernetzten Zugverkehr ermöglichen soll. Hierfür sind gemeinsame betriebliche Regeln von hoher Bedeutung, um eine einheitliche Nutzung und ein allgemeines Verständnis garantieren zu können.

1.2 Forschungsziel

Als Eisenbahnbetriebsprozesse werden nachfolgend alle Regeln und Verfahren zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Schienenfahrzeugfahrten verstanden. Es muss klar beschrieben sein, welche Voraussetzungen für eine Fahrt erfüllt sein müssen, wie die Fahrt zugelassen wird, welche Bedeutung die einzelnen Signale haben, wie sich die Beteiligten gegenseitig verständigen, wie die Prozesse in vorübergehenden besonderen Situationen abweichen und welche Regeln bei Störungen und Gefahren gelten. Dazu müssen neben den eigentlichen Fahrregelungen auch Handlungsanweisungen zum Vorbereiten der Fahrzeuge, dem Bedienen der Bremsen und über die Mitführung notwendiger Unterlagen vorhanden sein. Die dabei verwendeten technischen Mittel bzw. Realisierungsformen spielen in einer generischen³ Beschreibung eine untergeordnete Rolle.

Das Ziel der Forschungsarbeit ist die Entwicklung einer Methode, mit der Eisenbahnbetriebsprozesse generisch beschrieben werden können und grundlegende Regeln extrahierbar sind. Auf Basis dieses Ansatzes soll es möglich sein, ein harmonisiertes Betriebsverfahren zu entwerfen, welches länderübergreifend ausführbar ist.

¹ Zusammenführung ab 01.01.2014 [2012/757/EU]

² Zitiert aus TSI Betrieb konventionelle Bahn [2011/314/EU], Anhang Kapitel 2.2

³ Wortbedeutung (Sprachwissenschaft): „im allgemeinen Sinne [gebraucht]“, Zitat aus [DUDEN 2014], Band 2, Seite 811

Dafür bedarf es eines einheitlichen Fachwortschatzes, welcher übersetzt und eindeutig gleich verstanden wird. Mittels der definierten Termini kann ein länder- und technikübergreifendes Betriebsverfahren entwickelt werden. Dieses legt alle grundlegenden Regeln und Verfahren fest. Regionale Besonderheiten werden dabei nicht berücksichtigt und lassen somit Spielraum für eigene Festlegungen der jeweiligen Infrastrukturbetreiber.

1.3 Auswahl des Untersuchungsbereiches

Für die Umsetzung und Gewährleistung der Interoperabilität werden verschiedene Richtlinien der TSI zu unterschiedlichen Teilsystemen in Kraft gesetzt, welche für alle Mitgliedsstaaten gültig sind. Der Geltungsbereich der TSI umfasst aktuell 26⁴ nationale Eisenbahnsysteme sowie weitere Staaten, die mit der EU eng zusammenarbeiten, wie z. B. der Schweiz. Bei der Harmonisierung der Betriebsprozesse müssen folgende vier Dimensionen berücksichtigt werden:

- das Prozessverständnis,
- die Betriebssprache,
- die Betriebsphilosophie,
- die verwendeten Glossare.

Um die betriebliche Interoperabilität umsetzen zu können, muss eine Methode entwickelt werden, die den Weg der Harmonisierung nachvollziehbar gestaltet und sachlogisch richtig abbilden kann. Auf Grund der bisher überwiegend nationalen Entwicklungen des Eisenbahnbetriebs kann jede der vier betrieblichen Dimensionen in jedem Staat unterschiedlich ausgeprägt sein. Im Maximalfall bedeutet das, dass eine Dimension in jedem Land unterschiedlich auftritt und keine Erscheinungsform mehrfach vorhanden ist. Das würde zu einer größtmöglichen Kombinationsmöglichkeit hinsichtlich notwendiger Harmonisierungsentscheidungen führen und die Entwicklung der Methode erschweren. Aus diesem Grund ist die Eingrenzung auf ein kleineres Untersuchungsgebiet mit gleicher Betriebssprache sinnvoll.

⁴ Stand 01.07.2013; Die Republik Malta und die Republik Zypern (Südzypern) besitzen keine Eisenbahnstrecken.

Für die Methodenentwicklung werden die drei mitteleuropäischen Nachbarstaaten Deutschland, Österreich und Schweiz gewählt, welche im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei gemeinsamer Nennung als DACH-Staaten bezeichnet werden. Die deutsche Sprache wird in diesen Ländern gleichbedeutend als Eisenbahnbetriebssprache verwendet, welche die Entwicklung eines gemeinsamen Glossars fördert. Allgemein ist bereits die Komplexität einer natürlichen Sprache sehr hoch, so dass das Hinzufügen weiterer Sprachen eine deutliche Erhöhung des Schwierigkeitsgrades bedeuten würde. Methodisch stellt es keinen Unterschied dar, ob abweichende Begriffsbezeichnungen und unterschiedliche Definitionen in der gleichen oder einer anderen Sprache auftreten.

Darüber hinaus ist mit der dreisprachigen Betriebsführung in der Schweiz die Übersetzbarkeit in einem ersten Schritt innerhalb eines Landes gegeben. Weiterhin bestehen historisch gewachsene Infrastrukturverknüpfungen über die Staatsgrenzen hinaus; so im Raum Basel, Schaffhausen und im Fürstentum Liechtenstein; die Einfluss auf ein besseres gegenseitiges Verständnis der Prozessabläufe haben könnten.

1.4 Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit stellt eine Systembetrachtung dar, in der die Interoperabilität der Eisenbahn in Bezug auf die betrieblichen Regeln und die zu verwendenden Fachbegriffe untersucht wird. Beginnend mit einer Skizzierung der Interoperabilität im Allgemeinen wird auf die aktuelle Situation im Bahnwesen Bezug genommen und ein zweckmäßiger Untersuchungsraum abgegrenzt (Kapitel 2). Anschließend werden bisherige Forschungsarbeiten und Fachartikel analysiert, welche sich auf Sachverhalte der Betriebsverfahren, der Modellierung von Leit- und Sicherungstechnik sowie der funktionalen Systembeschreibung beziehen (Kapitel 3). Die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse erlauben es, die übergeordnete Forschungsfrage aufzugliedern und vorläufig mittels Hypothesen zu beantworten (Kapitel 4). Für die Bestätigung der Hypothesen bedarf es der Anwendung von Methoden, welche je nach Fragestellung unterschiedlich sein können und in Kapitel 5 vorgestellt werden. Im daran anschließenden Kapitel 6 werden Anforderungen an die Beschreibung formuliert, typische Beschreibungsmittel der technischen Systemwissenschaften vorgestellt und an Hand eines Evaluationsprozesses getestet. Die ausgewählte Sprache wird im Weiteren für die Modellierung und Beschreibung der zu entwickelnden Betriebsprozesse verwendet.

Ausgehend von allgemeingültigen Bewegungszuständen eines Zuges und einer Grundmenge an Betriebsmitteln wird eine generische Systemumgebung hergeleitet, in der die wesentlichen Verfahrensabläufe einer Eisenbahn modelliert werden. Dies erfolgt schrittweise in einem generischen Systemmodell und schließt mit einem generischen Zugfahrtmodell ab (Kapitel 7). Neben der technologischen Beschreibung werden in den danach folgenden Kapiteln 8 und 9 die Herausforderungen der natürlich-sprachlichen Beschreibung skizziert und eine Methode zum Vergleich von Richtlinien vorgeschlagen. Zur Verifizierung der gewonnenen Erkenntnisse werden verschiedene betriebliche Situationen fallweise nachvollzogen und die Richtigkeit der Modelle überprüft. Weiterhin wird auch auf nicht konventionelle Bahnen bzw. zukünftige Technologien Rücksicht genommen und die Anwendbarkeit der Diagramme diskutiert (Kapitel 10). Die Arbeit schließt mit der Zusammenfassung der Ergebnisse und der Überprüfung der Hypothesen in Kapitel 11.

Für die gezielte Einsicht der Betriebsprozesse empfiehlt sich die Durcharbeitung ab Kapitel 7.6 (Generisches Referenzsystem) bis Kapitel 7.9 sowie die Testanwendung in Kapitel 10. Zur Vermeidung eines widersprüchlichen Begriffsverständnis empfiehlt sich fallweise das Nachschlagen generischer Definitionen in Kapitel 8.3.

2 Einführung in den Forschungsgegenstand

2.1 Einführung betriebliche Interoperabilität

2.1.1 Regeln zur Durchführung von Transportprozessen

Zur Durchführung der Transportprozesse werden betriebliche Regeln verwendet, welche die Abfolge der Ortsveränderungen zwischen den Transportgefäßen festlegen. Diese existieren in erster Linie, um die Organisation und die Sicherheit der Transportdurchführung zu ermöglichen. Diese Regeln können allgemeingültig sein und überall gelten, oder es kann Vorschriften geben, welche nur in Teilnetzen gültig sind. Für regionale Besonderheiten werden im Einzelfall zusätzliche Sonderregeln erlassen.

Obwohl es sich innerhalb eines Verkehrsträgers immer um die gleichen physikalischen Regeln zur Durchführung der Ortsveränderung handelt, können in verschiedenen Teilnetzen grundlegend abweichende Verfahrensregeln gelten, die auf Grund unterschiedlicher Anforderungen und Gegebenheiten erstellt werden und teilweise völlig gegensätzlich sein können. Um dennoch grenzüberschreitenden Verkehr durchzuführen, müssen verfahrenstechnische Schnittstellen existieren, die die Teilnetze miteinander verbinden.

2.1.2 Allgemeine Definition der Interoperabilität

Verkehr ist die „Gesamtheit der [...] Mittel [...] zur Ortsveränderung (Beförderung) von Menschen, Tieren und Gütern sowie zur Übermittlung von Nachrichten mit dem Ziel, durch Überwindung räuml. Entfernungen die Bedürfnisse der arbeitsteiligen nationalen u. internationalen Wirtschaft sowie die menschl. Reise- u. Mitteilungsbedürfnisse zu befriedigen“ [ADLER 1990].

Dafür stehen verschiedene Verkehrsträger und –mittel zur Verfügung, welche Netze bilden, auf denen Verkehr weltweit stattfindet. Diese Verkehrsträger, wie bspw. Straße, Schiene, Luft- und Schifffahrt, haben eigene Netze, welche aus eigenen geographischen Teilnetzen (z. B. Schifffahrt mit den Teilnetzen Hochseeschifffahrt und Binnenschifffahrt) bestehen können und mit den Netzen der anderen Verkehrsträgern verknüpft sind (z. B. intermodaler Verkehr mit Straßenfahrzeugen auf Fährschiffen).

Ein Verkehrsnetz ist die „Gesamtheit der in einem bestimmten Raum vorhandenen Verkehrswege bzw. –linien, die zumeist durch Knotenpunkte miteinander verflochten sind.“⁵ Im Regelfall bildet jeder Verkehrsträger ein eigenes Netz, in dem viele verschiedene Verbindungen zwischen einzelnen Orten realisiert werden.

Allgemein versteht man unter Interoperabilität das Zusammenarbeiten verschiedener Systeme und damit ihre Kompatibilität zueinander. Interoperabilität ist nicht allein auf den Bereich der Verkehrssysteme beschränkt, sondern auch in anderen Gebieten anzutreffen, wie beispielsweise im Bereich Informationstechnologie. Die Möglichkeit der Vernetzung ist hier bei unterschiedlichen Kommunikationsmedien und –techniken Grundvoraussetzung für ihre Wettbewerbsfähigkeit.

Die Europäische Union versteht unter Interoperabilität „die Eignung eines Eisenbahnsystems für den sicheren und durchgehenden Zugverkehr, indem den für diese Strecken erforderlichen Leistungskennwerten entsprochen wird. Diese Eignung hängt von den gesamten ordnungsrechtlichen, technischen und betrieblichen Voraussetzungen ab, die zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen gegeben sein müssen.“⁶

2.1.3 Betriebliche Interoperabilität im Verkehrswesen

2.1.3.1 Ausgangslage

Seit Jahrtausenden prägen weite Handelswege die Kulturen und ihre Nutzung stellt eine wesentliche Grundaktivität des Menschen dar. Somit besteht seit jeher grenzüberschreitender Verkehr, der aber bis zum Beginn der Industrialisierung einfache Technologien verwendete, so dass er ohne besonderen Aufwand regelbar war. Beispiele hierfür sind historische Handelsrouten wie die Seidenstraße nach Asien, die Via Regia in Europa oder auch Christopher Columbus Suche nach einem kürzeren Seeweg nach Indien. Mit Beginn des Industriezeitalters wurden Verkehrssysteme so intensiv ausgebaut und weiterentwickelt, dass irgendwann der Zeitpunkt eintrat, ab dem Verhaltensregeln der Fahrzeuge länderübergreifend angeglichen werden mussten. In diesem Kapitel werden nachfolgend die Abstimmungsbemühungen und der Regelungsumfang für den Straßen-, Luft- und Schiffsverkehr skizziert.

⁵ Zitat aus [ADLER 1990]

⁶ Zitat aus [2008/57/EG], Seite 7 (Artikel 2, Absatz b))

2.1.3.2 Straßenverkehr

Das System Straße ist das älteste Landverkehrssystem der Welt. Es besteht grundsätzlich schon immer, wobei in den Anfängen der Transport selbstständig, mittels Reittieren oder Fuhrwerken stattfand. Der Wandel zum heutigen Straßenverkehrssystem begann ab dem 18. Jahrhundert mit dem Ausbau der Chausseen, der vor allem durch Napoleon I. in Frankreich vorangetrieben wurde [SCHNABEL 1997]. Mit der späteren Einführung des Verbrennungsmotors und der Entwicklung von Kraftfahrzeugen war es möglich, weite Strecken individuell auf dem Landweg zurückzulegen.

Im Jahr 1968 fand in Wien die Konferenz der Vereinten Nationen für das Übereinkommen über den Straßenverkehr statt, welche gemeinsame Straßenverkehrsregeln vereinbarte. Dieses Abkommen bildet die Grundlage für den Straßenverkehr und wurde original in fünf Sprachen veröffentlicht [UN 1968a]. Die DACH-Staaten haben eine gemeinsame Übersetzung aus den englischen und französischen Originaltexten erstellt [CH 2013a]. Das Übereinkommen regelt folgende Bereiche: Allgemeine Grundsätze zum Abkommen und Definitionen, Verkehrsregeln, Bedingungen für die Fahrzeugzulassung, Zulassung der Fahrzeugführer, Zulassung von normalen und motorisierten Fahrrädern, Kennzeichnung und Bestimmung von Fahrzeugen im internationalen Verkehr, grundlegende Ausstattung und Beschreibung von Fahrzeugbestandteilen sowie Inhalt und Gestalt von Führerscheinen. Es ist interessanterweise anzumerken, dass zu Beginn der deutschen Übersetzung eine zweiseitige Tabelle enthalten ist, die zwischen der deutschen und schweizerdeutschen Terminologie unterscheidet. So können gleiche Begriffe mit unterschiedlicher Bezeichnung eindeutig zugeordnet werden (z. B. Beiwagen und Seitenwagen oder Kreuzung und Verzweigung).

Gleichzeitig wurde in Wien das Übereinkommen über Straßenverkehrszeichen abgeschlossen. Es regelt die Art, Form und Bedeutung der Zeichen. Es werden alle grundlegenden Signale aufgeführt, wie Gefahrenzeichen, Vorfahrts-, Verbots-, Beschränkungs- und Gebotszeichen, Wegweiser, Hinweis- und Zusatzschilder sowie Fahrbahnmarkierungen und Zeichen mit Postenregelungen. Das Übereinkommen beinhaltet ebenfalls Zeichen und Signale, die an Fahrzeugen angebracht werden oder von diesen gegeben werden können. Neben einer verbalen Beschreibung werden die Zeichen auch graphisch skizziert und Beispiele aufgezeigt (siehe Abbildung 2.1) [UN 1968b].

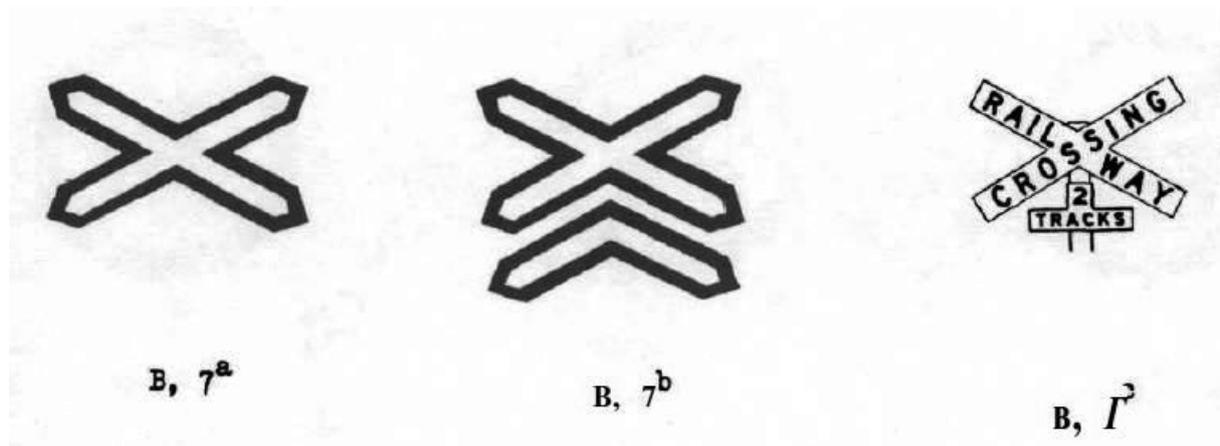


Abbildung 2.1 Beispiel vereinbarter Straßensignale [UN 1968b]

Zusätzlich zur weltweiten Vereinbarung, die für alle Teilnehmerstaaten gilt, gibt es weitere kontinentale und nationale Gesetzgebungen. So wurde auf Grundlage der Wiener Konferenz in Europa die erste Richtlinie zur Einführung eines Führerscheins in der Europäischen Gemeinschaft erlassen [80/1263/EWG]. Die Straßenverkehrsgesetze und -regeln berücksichtigen somit auch die internationalen Abkommen [SVG 2013].

Für den internationalen Straßenverkehr ist es heute nicht notwendig, dass man die Sprache eines anderen Staates oder eine gemeinsame Verkehrssprache verwendet.

2.1.3.3 Schiffsverkehr

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Benutzung von Wasserwegen ebenfalls sehr alt ist und faktisch gemeinsam mit der Entwicklung zum modernen Menschen stattfand. Es wird angenommen, dass die Besiedlung durch den Menschen in Südostasien und Australien vor 50'000 Jahren begann. Das war nur möglich, indem man Wasserfahrzeuge wie Flöße, Einbäume oder Kanus verwendete, die durchaus hochseetauglich sein konnten. Spätere Hochkulturen in Afrika, Asien und Europa wussten ebenfalls die Schifffahrt zu nutzen und betrieben damit Handel, Fischfang oder führten Kriege. Beispielsweise betrieben die Ägypter schon frühzeitig Schifffahrt auf dem Mittelmeer und bauten einen Kanal zwischen dem Nil und dem Roten Meer [CHEERS 2012].

Für Fahrten über die offene See und bei Nacht war es aber lange Zeit sehr schwierig, die genaue Position zu bestimmen und den weiteren Kurs festzulegen. Es fehlte abseits der Küsten praktisch jegliche Möglichkeit zur Orientierung an Hand von Land-

marken und es musste sich am Stand der Sterne oder der Sonne orientiert werden. Um die zurückgelegte Entfernung bestimmen zu können, wurde die Zeitmessung benötigt, die allerdings bis zum Einsatz des Chronometers im Jahr 1761 sehr ungenau war [CHEERS 2012].

Um den internationalen Seeschiffverkehrsverkehr besser zu regeln, trat im Jahr 1977 das Übereinkommen über die „Internationalen Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See“ in Kraft, das von 15 Staaten mit 65 % der damaligen Welthandelsflotte ratifiziert wurde. Das Übereinkommen löste die bisherigen Fahrvorschriften, welche sich in über hundertjähriger Praxis entwickelt hatten, durch Erweiterungen und Harmonisierungen ab. Die Weiterentwicklung der Regeln obliegt heute der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation⁷, einer Institution der UN [BERGER 1979]. Nachfolgend wird der Inhalt der aktuellen Fassung in der Übersetzung der Bundesrepublik Deutschland aufgelistet (siehe Tabelle 2.1).

⁷ Englisch: International Maritime Organization (IMO)

Tabelle 2.1 Übersicht der Kollisionsverhütungsregeln der Schifffahrt [KVR 2009]

Abschnitt	Zusammenfassung des Inhalt
Teil A Allgemeines	Anwendungsbereich, Verantwortlichkeiten und allgemeine Begriffsbestimmungen
Teil B Ausweich- und Fahrregeln	Regelt das Verhalten von Fahrzeugen bei allen Sichtverhältnissen Bestimmt und definiert den Ausguck, Geschwindigkeiten, Ausweichmanöver, Verhalten in engen Fahrwassern und in Verkehrstrennungsgebieten Weiterhin wird das Verhalten von Fahrzeugen bei verminderter Sicht geregelt.
Teil C Lichter und Signalkörper	Regelt und definiert die Anwendung von Lichtern und Signalkörpern (Tragweite, Anordnung, bei eingeschränkten Fahrzeugen, Ankern für Wasserflugzeuge)
Teil D Schall- und Lichtsignale	Regelt und definiert die Anwendung von Schall-, Manöver-, Aufmerksamkeits-, Warn- und Notsignalen
Teil E Befreiungen	Sonder- und Übergangsanwendungen
Anlage I Anordnung und technische Einzelheiten der Lichter und Signalkörper	Regelt die Ausstattung der Fahrzeuge mit Lichtern, (Anordnung, Abstände, Sichtweiten, Art, Form, Farbe von Signalkörpern und Lichtern)
Anlage II Zusatzsignale für nahe beieinander fischende Fahrzeuge	Zusatzbestimmungen für Trawler und bei Fischerei mit Ringwaden
Anlage III Technische Einzelheiten der Schallsignalanlagen	Definition von Pfeifsignalen, Gong und Glockenschlägen und deren Eigenschaften (Lautstärke, Frequenz, Reichweite, Anordnung)
Anlage IV Notzeichen	Signale, die in Not oder bei Notwendigkeit von Hilfe gegeben werden dürfen

Die aufgeführten Signale in [KVR 2009] sind zur Erkennung des Schiffes, der Ankündigung von Manövern, für Fahrten bei unsichtigem Wetter und für Notsituationen bestimmt. Weiterhin gibt es ein internationales Signalbuch, das Regelungen für die Kommunikation der Schiffe beinhaltet. Das Signalbuch soll eine einfache und effektive Verständigung ermöglichen und denkbaren sprachlichen Differenzen vorbeugen.⁸ Es beschreibt Signale für die visuelle, akustische und funkbasierte Kommunikation. Es werden Flaggen-, Licht- und Funksignale, das internationale Morsealphabet⁹, ver-

⁸ Vgl. [USA 2003], Kapitel 1, Abschnitt 1, Seite 3

⁹ Vgl. [ITU 2009]

kürzte Standardformulierungen sowie Regeln für den allgemeinen Kommunikationsprozess aufgeführt (siehe Abbildung 2.2) [BRAASCH 1994].

	MANUAL SIGNALS	LIGHT SIGNALS	OTHER SIGNALS	SIGNIFICATION
Day Signals	 Vertical motion of a white flag or of the arms	 or firing of a green star signal	 or code letter K given by light or sound-signal apparatus	This is the best place to land
Night Signals	 Vertical motion of a white light or flare	 or firing of a green star signal	 or code letter K given by light or sound-signal apparatus	
A range (indication of direction) may be given by placing a steady white light or flare at a lower level and in line with the observer				
Day Signals	 Horizontal motion of a white flag or of the arms extended horizontally	 or firing of a red star signal	 or code letter S given by light or sound-signal apparatus	Landing here highly dangerous
Night Signals	 Horizontal motion of a light or flare	 or firing of a red star signal	 or code letter S given by light or sound-signal apparatus	
Day Signals	 1 Horizontal motion of a white flag, followed by 2 the placing of the white flag in the ground and 3 by the carrying of another white flag in the direction to be indicated	 1 or firing of a red star signal vertically and 2 a white star signal in the direction towards the better landing place	1 or signalling the code letter S (...) followed by the code letter R (...) if a better landing place for the craft in distress is located more to the <i>right</i> in the direction of approach 2 or signalling the code letter S (...) followed by the code letter L (...) if a better landing place for the craft in distress is located more to the <i>left</i> in the direction of approach	Landing here highly dangerous. A more favorable location for landing is in the direction indicated
Night Signals	 1 Horizontal motion of a white light or flare 2 followed by the placing of the white light or flare on the ground and 3 the carrying of another white light or flare in the direction to be indicated	 1 or firing of a red star signal vertically and a 2 white star signal in the direction towards the better landing place	1 or signalling the code letter S (...) followed by the code letter R (...) if a better landing place for the craft in distress is located more to the <i>right</i> in the direction of approach 2 or signalling the code letter S (...) followed by the code letter L (...) if a better landing place for the craft in distress is located more to the <i>left</i> in the direction of approach	

Abbildung 2.2 Auszug aus Internationalem Signaltuch für Hochseeschifffahrt [USA 2003]

Wie auch im Straßenverkehr werden die Regelungen der internationalen Abkommen in das nationale Recht integriert. Die Seeschifffahrtsregeln des [KVR 2009] wurden für die Küstengewässer¹⁰ in die bundesdeutschen Seeschifffahrtsstraßen-Ordnung aufgenommen, welche grundsätzlich für die seeschifffahrtstauglichen Wasserwege gilt (z. B. auch für den Nord-Ostsee-Kanal) [SEE 2012]. Die Schweiz besitzt ein vergleichbares Seeschifffahrtsgesetz für Seeschiffe unter Schweizer Flagge, regelt aber

¹⁰ Ausnahme Ems- und Ledamündung; vgl. [EMS 2006], Artikel 3

auf Grund der geographischen Gegebenheiten als Binnenland keine Fahrregeln [CH 2013b].

Anders als beim Landverkehr ist es möglich, dass Binnengewässer eine Grenze zwischen Nationalstaaten bilden können (z. B. Bodensee, Rhein) und damit internationale Gewässer sind. Für diese Gewässer können internationale Abkommen bestehen, welche sich nur auf einen bestimmten Bereich beziehen. Die Mannheimer Akte von 1868 gewährleistet entlang des Rheines die Freiheit der Schifffahrt, Zollverfahren, Instandhaltung des Flusses, Gerichtsbarkeit und weiteres. Regeln für die Durchführung der Schifffahrten sind darin nicht mit enthalten [RHEIN 1963].

In Deutschland werden die Fahrregeln auf den Binnenwasserstraßen generell in der [BSO 2012] geregelt. Neben allgemeingültigen Bestimmungen, Kennzeichnung der Fahrzeuge, Signale, Fahrregeln und Besonderheiten der Fahrgastschifffahrt bestehen für einzelne Wasserstraßen oder Gebiete zusätzliche Bestimmungen. Die Flüsse Donau, Mosel und Rhein besitzen in Deutschland eigene Schifffahrtspolizeiverordnungen, deren Inhalte in internationalen Stromkommissionen vereinbart und festgelegt werden [DSO 2012][MSO 2012][RSO 2012].

In der Schweiz und in Österreich existieren eigene Verordnungen für die Fahrregeln und Signale der Binnenschifffahrt [BSV 2013][WSV 2013]. Abweichende oder zusätzliche Regelungen, z. B. auf Grund internationaler Abkommen, können auch dort in weiteren Verordnungen festgeschrieben sein [RPV 2013].

Da die Schifffahrt im Vergleich zu anderen Verkehrssystemen weniger dicht oder teilweise gar nicht vernetzt ist, ist eine Harmonisierung der Regeln für eine betriebliche Interoperabilität auch nicht überall zwingend. Ein gutes Beispiel ist der Bodensee, der als internationales Binnengewässer eine eigene Schifffahrtsverordnung besitzt [BODENSEE 2005].

In der Regel wird keine gemeinsame Verkehrssprache für die Durchführung des internationalen Schiffsverkehrs gefordert. Allerdings können nationale Gesetze bestimmte Sprachen für den Sprechfunk vorschreiben. In Deutschland muss im Seeschiffsverkehr deutsch oder englisch gesprochen werden, auf den Binnenwasserstraßen wird deutsch gefordert [SEE 2012][BSO 2012]. Österreich und die Schweiz verlangen keine bestimmte Funksprache für das Befahren, allerdings müssen diverse Dokumente in den jeweiligen Amtssprachen oder in Englisch auf dem Fahrzeug vorhanden sein [BODENSEE 2005][BSV 2013][WSV 2013].

2.1.3.4 Luftverkehr

Nach einer Experimentierphase mit Ballons und anderen Fluggeräten begann ab Anfang des 20. Jahrhunderts die zivile Luftfahrt mit Luftschiffen und Flugzeugen. 1909 wurde der erste kommerzielle Flugverkehrsdienst in Deutschland eröffnet und ab 1912 bestanden die ersten Passagierverbindungen mit Luftschiffen in Europa. Der öffentliche Verkehr mit Flugzeugen begann in den USA mit einer Verbindung zwischen St. Petersburg (Florida) und Tampa. Es konnte vorerst nur ein Fluggast oder eine kleine Menge Fracht mitgenommen werden. Der Verlauf des ersten Weltkrieges behinderte jedoch die Weiterentwicklung des zivilen Flugverkehrs, so dass erst ab 1919 wieder öffentliche Linienflugverbindungen in Europa und ab 1920 in Nordamerika eingerichtet wurden.

Mit der Weiterentwicklung der Flugzeugtechnik konnten neue und längere Flugverbindungen in Betrieb gehen, die bis in die 1940er Jahre weiter nach Australien und Südamerika verlängert wurden. Folglich nahm der Flugverkehr immer weiter zu, auch wenn während des Zweiten Weltkrieges der militärische Zweck fast ausschließlich dominierte [WINCHESTER 2007]. Im Jahr 1944 wurde mit dem Chicagoer Abkommen die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation ICAO gegründet und das vorherige Abkommen von Paris außer Kraft gesetzt. Bisher sind über 190 Staaten diesem Abkommen beigetreten und haben die vereinbarten Regeln in der nationalen Gesetzgebung berücksichtigt. Das Abkommen ist das wichtigste Instrument des öffentlichen, internationalen Flugrechts und ist Basis der Flugverkehrsregeln und Zulassungsvorschriften. Angelegenheiten, die unter das private internationale Flugrecht fallen, werden von den Fluggesellschaften geregelt.

Die Fluggesellschaften sind in der Internationalen Flug-Transport-Vereinigung IATA organisiert und haben Festlegungen im gemeinsamen Umgang mit Passagieren, Gepäck, Fracht sowie bei möglichen Schadensersatzforderungen getroffen (Abkommen von Warschau, Montreal und Kapstadt) [BARTSCH 2012]. Zum besseren Verständnis wird die allgemeine Struktur des Luftfahrtrechts in der nachfolgenden Abbildung 2.3 skizziert.

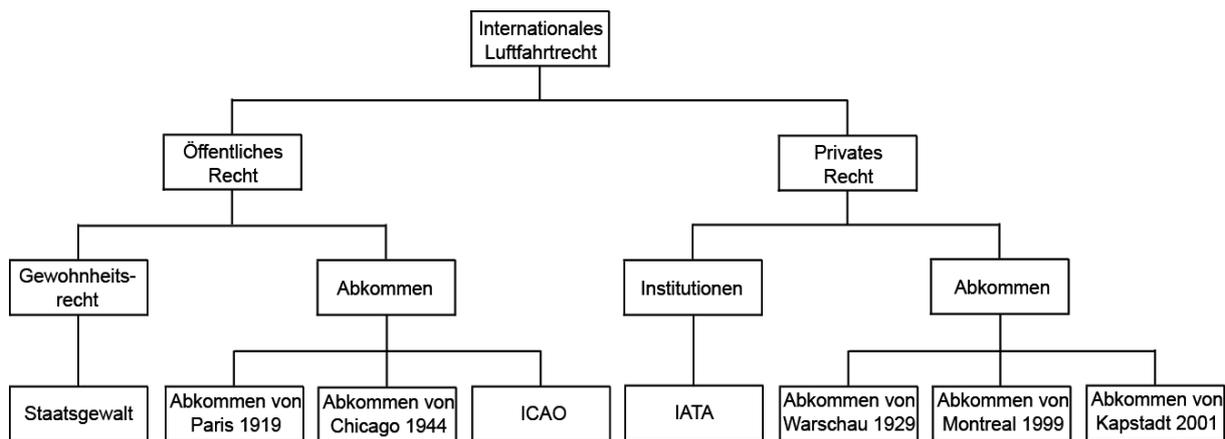


Abbildung 2.3 Struktur Internationales Luftfahrtrecht¹¹

Den Mitgliedsstaaten der ICAO obliegt die Pflicht, die Regelungen in nationales Recht zu überführen, wobei die Art und Weise je nach nationaler Auffassung variieren kann.¹² Beispielsweise wurden in Deutschland das Luftverkehrsgesetz und die Luftverkehrsverordnung [MENSEN 2004], in der Schweiz das Luftfahrtgesetz [CH 1948] und die Luftfahrtverordnung [CH 1973] und in Österreich ein Luftfahrtgesetz erlassen [LFG A 2013].

Die ICAO regelt in ihrem Abkommen international gültige Spezifikationen, die ähnlich den TSI in 18 Anhängen technische Standards festlegen. Darunter fallen die Zulassung des Personals, der Betrieb und die Tauglichkeit von Luftfahrzeugen, Kommunikationsanlagen und –verfahren, Flugverkehrsdienste, Unfalluntersuchungen, Flughafen-gestaltung und –betrieb, Umweltschutz, Sicherheit u. a. [BARTSCH 2012]. Die Durchführung des Flugverkehrs wird im Abkommen in Anhang 2, Rules of the Air (Luftverkehrsregeln), beschrieben und nachfolgend als Inhaltsübersicht dargestellt (Tabelle 2.2).

¹¹ Übernahme aus [BARTSCH 2012] Seite 26, eigene Übersetzung

¹² Vgl. [BARTSCH 2012] Seite 27: „... there is no universally accepted definition of what constitutes ‘a law’ or ‘the law’. The terms are quite broad and vary in their application in the various types of legal systems throughout the world.“

Tabelle 2.2 Inhalt des Anhang 2 des Internationalen Zivilluftfahrtabkommen¹³

Kapitel englisch	Übersetzung deutsch
Definitions	Definitionen
Applicability of the rules of the air	Anwendbarkeit der Luftverkehrsregeln
General rules	Allgemeine Regeln
Visual flight rules	Sichtflugregeln
Instrument flight rules	Instrumentenflugregeln
Signals	Signale
Interception of civil aircraft	Abfangen ziviler Luftfahrzeuge
Tables of cruising levels	Tabellen der Fluglevel / -höhen
Remotely piloted aircraft systems	Ferngesteuerte Luftfahrzeugsysteme
Unmanned free balloons	Unbemannte freie Ballons
Unlawful interference	Unrechtmäßige Störung

Darüber hinaus bestehen weitere Empfehlungen in anderen Anhängen, die die Durchführung des Flugverkehrs betreffen, funktional aber anders eingeordnet sind. Z. B. beinhaltet Anhang 6 des Abkommens (Betrieb von Luftfahrzeugen) auch Regeln, die während eines Fluges im Zusammenhang mit dem Flugzeug zu beachten sind.¹⁴

Die Sprache hat im Flugverkehr eine besonders sicherheitsrelevante Bedeutung. Um die Kommunikation zwischen Flugzeug und Bodenstation bzw. zwischen den Flugzeugen zu ermöglichen, wird seitens der ICAO empfohlen, dass die Sprache der Bodenstation oder Englisch verwendet wird.¹⁵ Um die Sicherheit ausreichend zu gewährleisten, hat die ICAO sechs Sprachlevel definiert. Für den internationalen Flugverkehr ist als Minimum Level 4 gefordert (Level 6 = Experte).¹⁶ Für besondere oder regionale Flugbewegungen (z. B. Heißluftballon, Sportflugverkehr) werden die lokal verwendeten Sprachen in den AIP (Aeronautical Information Publication) veröffentlicht. In der Schweiz dürfen zum Beispiel im Segelflugverkehr Deutsch, Französisch, Italienisch und Schweizerdeutsch verwendet werden [VFR 2013].

¹³ Vgl. [ICAO 2005], Annex 2

¹⁴ Vgl. [ICAO 2005], Annex 6

¹⁵ Vgl. [ICAO 2005], Annex 10, Chapter 5.2.1.2.1

¹⁶ Vgl. [ICAO 2005], Annex 1, Attachment A

2.1.3.5 Schlussfolgerungen

Es kann festgestellt werden, dass für den Straßen-, See- und Luftverkehr gemeinsame Regeln existieren, die die interoperable Durchführung von Fahrten ermöglichen. Alle drei Verkehrssysteme haben gemeinsam, dass für sie internationale Abkommen gelten, die die wichtigsten Verkehrsregeln und –signale beschreiben. Darüber hinaus sind nationale Gesetze und Verordnungen möglich, die betriebliche Abläufe und die technische Ausgestaltung der Verkehrsträger ergänzend regeln. Mit Ausnahme des Straßenverkehrs können auch bestimmte Verkehrssprachen vorgeschrieben sein, für die eine bestimmte Sprachkompetenz gefordert wird.

2.1.4 Betriebliche Interoperabilität im Eisenbahnverkehr

Interoperabilität im Eisenbahnverkehr umfasst die technische und betriebliche Übergangsfähigkeit von Schienenfahrzeugen von einem Eisenbahnnetz auf ein anderes.¹⁷ Die Vernetzung von Eisenbahnstrecken über Staatsgrenzen hinaus war bisher mit Problemen an den System- und Grenzübergangsstellen behaftet, so dass kostenintensive Wartezeiten an den Übergangsbahnhöfen auftraten. Neben der Zollabfertigung der Züge wurden fast immer die Lokomotiven mit ihrem Personal getauscht, bei Spurwechselbahnhöfen die Fahrzeuge angepasst (z. B. Drehgestelltausch zwischen Normalspur und russischer Breitspur) oder die Güter komplett umgeladen.

Während die technische Interoperabilität bei der Eisenbahn soweit fortgeschritten ist, dass ohne Änderung der Zugreihung international gefahren werden kann (siehe Kapitel 2.1.5), benötigt die betriebliche Übergangsfähigkeit noch deutlich mehr Unterstützung. Der Tausch der Triebfahrzeuge kann heutzutage vielfach entfallen (z. B. TGV-Züge Zürich – Paris oder Güterzüge mit elektrischen Mehrsystemlokomotiven) und mit der Einführung von ETCS soll es in Zukunft möglich sein, einheitliche Fahrzeugausrüstungen für den sicheren und hochwertigen Zugverkehr einsetzen zu können. Aber im Gegensatz zu den Betriebsmitteln ist der europaweite Einsatz der mobilen Personale nur eingeschränkt möglich. Neben unterschiedlichen Landessprachen sind die länderspezifischen Regelwerke für den Fahrbetrieb und abweichende Begriffe und Definitionen wesentliche Hemmnisse für die betriebliche Interoperabilität [BREINL 2007][HEIDL 2007].

Als Beispiel soll die Vielfalt an Handlungsanweisungen für Lokführer bei fehlender Fahrleitungsspannung genannt werden (siehe Abbildung 2.4).

¹⁷ Vgl. Kapitel 2.1.2

Japan Railway Group (Central, East and West Japan Railways – JR –)

Auf Shinkansen (Schnellfahrstrecken) sofort Schnellbremsung ausführen, sonst weiterfahren.

Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF)

Bei mehr als 160 km/h oder in starkem Gefälle sofort Bremsung einleiten, sonst weiterfahren; nach 20 Sekunden Schnellbremsung ausführen.

Chemins de Fer de l'État Bulgare (BDŽ)

Sofort bremsen bis zum Halt.

Hrvatske Željeznice (Kroatische Eisenbahnen, HŽ)

Sofort Bremsung einleiten; wenn innerhalb 10 Sekunden die Spannung kurz ein- und wieder ausgeschaltet wird, Bremsung aufheben und weiterfahren bis zum nächsten Telefon, wenn nicht, sofort Schnellbremsung ausführen.

Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL)

Auf eingleisigen Strecken, auf Strecken mit Gleiswechselbetrieb und in Bahnhöfen sofort bremsen bis zum Halt, sonst zum Weiterrollen auf Sicht bis zu einem Alarmtelefon, jedoch höchstens 1 Minute lang.

Railtrack (Großbritannien)

Mit Steuerwagen voraus oder mehr als einem gehobenen Stromabnehmer im Zug sofort bremsen bis zum Halt, sonst weiterfahren möglichst bis zur bestgeeigneten Stelle.

Statens Järnvägar (Schwedische Staatsbahnen, SJ)

Vor einer beweglichen Brücke sofort bremsen bis zum Halt, sonst zum Weiterrollen so, daß auf weniger als der halben einsehbaren Strecke angehalten werden kann, jedoch höchstens 40 km/h schnell.

Organisme des Chemins de Fer Helléniques (OSE)

Bei mehr als 160 km/h oder in starkem Gefälle nach 10 Sekunden, sonst nach 30 Sekunden Schnellbremsung ausführen.

Banestyrelsen (Dänemark, BS)

Nach 45 Sekunden Stromabnehmer senken und bremsen bis zum Halt.

Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)

Bremsen zum Weiterrollen auf Sicht bis zum nächsten Telefon.

Caminhos de Ferro Portugueses (CP)

Auf ständig oder zeitweise eingleisigen Strecken sofort Bremsung einleiten und 1 Minute, auf zweigleisigen Strecken höchstens 3 Minuten lang weiterfahren; danach sofort bremsen zum Weiterrollen auf Sicht bis zu einem Telefon.

BLS Lötschbergbahn

Sofort Stromabnehmer senken und bremsen zum Weiterrollen auf Sicht, bei zwei Steinschlagüberwachungsanlagen nur bis zur letzten Nachspannung davor.

Norges Statsbaner (NSB)

Bremsen zum Weiterrollen auf Sicht, spätestens nach 2 Minuten Stromabnehmer senken.

Polskie Koleje Państwowe (PKP)

Sofort Stromabnehmer senken und bremsen zum Weiterrollen höchstens 60 km/h schnell.

Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen (NMBS/SNCB)

Nach 15 Sekunden bremsen zum Weiterrollen auf Sicht, nach 1 Minute Stromabnehmer senken.

Rhätische Bahn (RhB)

Nach $\frac{1}{2}$ Minute Stromabnehmer senken und nach etwa 1 Minute bremsen zum Weiterrollen auf Sicht bis höchstens zum nächsten Bahnhof.

Schweizerische Bundesbahnen (SBB/CFF/FSS)

Nach etwa 30 Sekunden bremsen zum Weiterrollen auf Sicht bis zum nächsten Bahnhof.

Deutsche Bahn (DB)

Weiterfahren möglichst bis zum nächsten Bahnhof mit Überholungsgleis, sonst zu einem Streckentelefon.

Ferrovie dello Stato (Italienische Staatsbahnen, FS)

Weiterfahren, in Gefälle über 15‰ bis zum nächsten Bahnhof.

Nederlandse Spoorwegen (NS)

Stromabnehmer senken, weiterfahren.

*České dráhy (ČD)**Magyar Államvasutak (Ungarische Staatsbahnen, MÁV)**VR-Yhtymä (Finnische Bahn-Gruppe)**Železnice Slovenskej republiky (ŽSR)*

Weiterfahren.

Abbildung 2.4 International unterschiedliche Betriebsvorschriften für den Fall länger fehlender Fahrleitungsspannung [BEHMANN 1999]

2.1.5 Beispiele für technische Interoperabilität im Eisenbahnverkehr

2.1.5.1 Das erste Interoperabilitätshemmnis

Ein frühes Interoperabilitätshemmnis war eine fehlende einheitliche Spurweite. Die Entwicklung der Eisenbahn begann in England und von dort breitete sich der Schienenabstand von 1435 mm weltweit aus. Staaten, welche in ihrer frühen Entwicklung eine andere Spurweite wählten, mussten schnell erkennen, dass dies hinderlich für den Aufbau eines Schienenverkehrsnetzes war. Der Netzübergang wird an den Verknüpfungspunkten behindert und verursacht zusätzliche Wartezeiten sowie den Gebrauch von Umlade- oder Spurwechseleinrichtungen. So musste das Grossherzogtum Baden sein Streckennetz im 19. Jahrhundert von 1600 mm auf 1435 mm umspuren [BRANDT 1985].

2.1.5.2 Die Entwicklung der Stephensonschen Spurweite

Anfang des 19. Jahrhunderts wurden in den Bergbaugebieten Englands viele verschiedene Spurweiten für Schienenbahnen verwendet. So war die Spurweite von 4 ft 8 in (1422 mm) im Raum Newcastle gebräuchlich, um die Kohle von den Bergwerken zum Fluss Tyne zu transportieren. Die von George Stephenson entwickelten Lokomotiven besaßen eine breitere Spurweite von 4 ft 8 1/2 in (1435 mm) und wurden auf der ersten öffentlichen Eisenbahnlinie von Stockton nach Darlington eingesetzt. Das neue Maß wurde damit begründet, dass es technisch als auch wirtschaftlich geeigneter erschien und die zusätzlichen 13 mm mehr Raum zwischen Schiene und Spurkranz zuliessen [PUFFERT 2009].

Im Gegensatz dazu schlugen andere Ingenieurteams abweichende Spurweiten vor, bspw. sollte die Strecke Liverpool – Manchester mit 5 ft 6 in (1676 mm) realisiert werden. Nach dem bekannten Lokomotivenwettrennen von 1829 wurde die Strecke Liverpool – Manchester jedoch mit der Stephensonschen Spurweite von 1435 mm realisiert. Da zu diesem Zeitpunkt das System Eisenbahn erst im Entstehen war und noch keine großen, zusammenhängenden Netze bestanden, waren abweichende Spurweiten vorerst von untergeordneter Bedeutung. Mit der Eröffnung der Great Western Railway von London nach Bristol zeichneten sich erste Konflikte ab, die zum sogenannten „Battle of the Gauges“ (Spurweitenkampf) führten. Die Great Western Railway wurde mit der von Isambard Kingdom Brunel vorgeschlagenen Spurweite von 7 ft (2140 mm) errichtet, mit der Begründung, dass die Reibung geringer sei. Um weitere Spurweitenkonflikte, die mehrheitlich wirtschaftliche Konsequenzen zur Folge hatten, zu beenden, wurde eine Kommission im britischen Parlament gebildet. Auf

Grund ihrer Empfehlung wurde 1846 der „Regulation of Railways (Gauge) Act“ verabschiedet, der zukünftig die Spurweite von 1435 mm für Großbritannien und von 1600 mm für Irland vorsah [PUFFERT 2009].

2.1.5.3 Technische Einheit im Eisenbahnwesen

Der frühe Erfolg von Stephensons Lokomotiven führte dazu, dass sein System und seine Fahrzeuge in andere Länder Europas exportiert werden konnten. Die ersten Eisenbahnstrecken in Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien und Norwegen wurden in der Stephensonschen Spurweite errichtet [PUFFERT 2009].

Die Festlegung der Spurweite von 1435 mm als gemeinsame Spurweite erfolgte im Jahr 1886 mit dem internationalen Übereinkommen zur Technischen Einheit im Eisenbahnwesen (Berner Abkommen). Die bereits damals zunehmende Bedeutung der Schweiz als Transitland führte dazu, dass auf ihr Bestreben hin mit den Nachbarstaaten Frankreich, Deutschland, Österreich-Ungarn und Italien ein Abkommen unterzeichnet wurde, das den Austausch der Güterwagen im internationalen Verkehr verbessern sollte [FRAULOB 1982].

Weitere Festlegungen für den Eisenbahnbetrieb, welche mehrheitlich technischer Art waren, waren Bestimmungen für einheitliche Fahrzeugabmessungen, Lichtraumprofile, die Anordnung der Zug- und Stosseinrichtungen, die Bremsanlagen in den Fahrzeugen und weitere technische Details. Diesem Abkommen traten in den nachfolgenden Jahren weitere Staaten bei, so dass sich bis 1939 alle europäischen Eisenbahnländer nach den vereinbarten Regeln richteten (außer den Staaten mit Breitspurstrecken und Großbritannien) [CH 742.141.3].

Der damals überwiegende Einsatz von Dampflokomotiven mit geringer Reichweite und die noch wenig ausgeprägte Verknüpfung zwischen LST und Zugverband (Zugbeeinflussung, Funk) machte es noch nicht notwendig, umfassende Vereinheitlichungen durchzuführen.

2.1.5.4 Lösungsansätze bei der Zugförderung

Die Bestrebungen zur Nutzung der Elektroenergie führte um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert zu zahlreichen Versuchen mit Gleich- und Wechselstrom. Dabei zeigte sich, dass eine Bahnstrecke mit Wechselstromspeisung mit höherer Nennspannung bei niedrigerer Stromstärke gegenüber Gleichstromspeisung betrieben werden kann (mit kleineren Spannungsfällen, geringeren Verlusten, kleine-

ren Leitungsquerschnitten) [BIESENACK 2006]. „1912 schlossen die deutschen Länderbahnen von Preußen, Hessen,¹⁸ Bayern und Baden ein ‚Übereinkommen betreffend die Ausführung elektrischer Zugförderung‘, in dem die Höhe der Einphasenwechselspannung für die Traktion 15 kV und die Frequenz 16 2/3 Hz festgelegt wurden. Die niedrige Sonderfrequenz war notwendig, um die funkenfreie Kommutierung des Motors zu ermöglichen.“¹⁹

Besonders die Schweiz hatte frühzeitig Interesse an elektrifizierten Eisenbahnstrecken und versprach sich eine bessere Betriebsabwicklung auf den zahlreichen Steigungsstrecken und Bergbahnen sowie eine Unabhängigkeit von Steinkohleimporten. Nach der Eröffnung der ersten elektrischen Bahn (1888, Straßenbahn Vevey – Montreaux – Chillon [WALDIS 2003]) dauerte es nicht lange, bis 1899 die 40 km lange Strecke von Burgdorf nach Thun (heute Bestandteil des BLS-Netzes) als erste elektrische Vollbahnstrecke Europas in Betrieb ging (noch abweichend mit Drehstrom unter 750 V und 40 Hz elektrifiziert) [BAUR 2005]. Im weiteren Verlauf wurden weitere Strecken elektrifiziert und teilweise auch mit Einphasenwechselstrom unter 15 kV und 50 Hz [BAUR 2005] betrieben. Damals war eine Frequenz von 50 Hz in der elektrischen Zugförderung noch nicht dauerhaft beherrschbar, so dass im Jahr 1916²⁰ endgültig festgelegt wurde, auf den Strecken der SBB das Einphasenwechselstromsystem unter 15 kV und 16 2/3 Hz einzuführen. Die gleichzeitig in Bau befindliche private Lötschbergbahn (BLS-Strecke Frutigen – Kandersteg – Brig) wurde bereits ab der Eröffnung 1913 voll elektrifiziert und vorausschauend mit der Sonderfrequenz 16 2/3 Hz betrieben [ELSASSER 2013]. Etwa zur gleichen Zeit wurde dieses Stromsystem auch in den Ländern Österreich, Schweden und Norwegen zum Standard [BIESENACK 2006].

Mit der netzweiten Einführung der elektrischen Zugförderung in anderen Staaten und der Überwachung der Lokführer entstanden wieder neue Hindernisse für den netzübergreifenden Zugverkehr. Die Lösung dieser technischen Hindernisse wurde mit der Mehrfachausrüstung der Triebfahrzeuge geregelt. So gibt es Lokomotiven, die

¹⁸ Die Eisenbahn des Großherzogtums Hessen wurde zu diesem Zeitpunkt durch die Königlich Preussische und Großherzogliche Staatseisenbahn betrieben, so dass Hessen dieses Übereinkommen nicht mit unterzeichnet hat. Siehe auch [ROSSBERG 2012], Seite 145

¹⁹ Zitat aus [STEIMEL 2006], Seite 5

²⁰ Eine seit 1907 von den SBB unterstützte Studienkommission stellte im Mai 1912 ihren Abschlussbericht vor, in dem empfohlen wurde, die Eisenbahnstrecken mit Einphasenwechselspannung unter 15 kV und mit 16 2/3 Hz zu elektrifizieren. In den nachfolgenden Jahren wurden weitere entscheidende Beschlüsse gefasst und die Schlusssitzung der Studienkommission fand am 8.5.1916 in Brig statt. [WALDIS 2003]

alle vier wesentlichen europäischen Bahnstromsysteme befahren können [BIESEN-ACK 2006]. Die Probleme mit verschiedenen Zugsicherungssystemen werden ebenfalls auf den Fahrzeugen gelöst, indem man Mehrfachausrüstung für verschiedene Teilnetze integriert. Da der Platz auf einer Maschine begrenzt ist, werden meist nur Länderpakete installiert, mit welchen zwar nicht ganz Europa, dafür aber eine Gruppe von Staaten befahren werden können [THEEG 2009]. Bei diesen Lösungsansätzen wurde die Infrastruktur belassen und nur die Fahrzeuge angepasst. Eine vollständige Migration hin zu einer einheitlichen Infrastruktur ist sehr kostenintensiv und würde neben vielen Einschränkungen im Verkehrsablauf zusätzliche Jahre oder Generationen andauern.

Umfangreiche Änderungsprozesse an der Infrastruktur sind aber allgemein nicht auszuschließen. Von Vorteil ist hierbei eine frühzeitige Einigung bei Etablierung neuer technischer Systeme. So haben sich die in der Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahn (OSShD) zusammengeschlossenen osteuropäischen und asiatischen Bahnen für ein gemeinsames Lichtsignalsystem entschieden. Es wurden ab den 1960er Jahren die neuen Lichtsignale mit einheitlichen Signalbildern und –begriffen schrittweise aneinander angeglichen [ADLER 1990]. Ein ähnlich großer Harmonisierungs- und Veränderungsprozess fand in Nordamerika statt. Mit der Übernahme und Fusion verschiedener Bahngesellschaften mussten hier ebenfalls Signalbegriffe angepasst werden. Eine Umstellung auf einheitliche Signalbilder wurde aber nicht gefordert, so dass lediglich die Bedeutung harmonisiert wurde und die Signale selbst nicht ausgetauscht werden mussten [THEEG 2009].

Für den internationalen Zugverkehr, insbesondere auf den TEN-Korridoren²¹, wurde das European Rail Traffic Management System (ERTMS) entwickelt. Dieses System soll in Zukunft die verschiedenen Signal-, Zugbeeinflussungs- und Funksysteme miteinander vereinheitlichen und länderübergreifend verknüpfen. Sukzessive kann die Migration über verschiedene Level parallel zu bestehenden Systemen erfolgen oder vollständig ersetzt²² werden [WINTER 2009]. In der Schweiz wurde nach einer Testphase auf der Strecke Zofingen – Sempach der kommerzielle Einsatz von ETCS, Teil von ERTMS, auf der Strecke Mattstetten – Rothrist [BRUX 2007] und dem Lötschberg-Basistunnel erfolgreich eingeführt [VOUILLAMOZ 2008].

²¹ Transeuropäische Netze (TEN) für die Verkehrs-, Telekommunikations- und Energieinfrastruktur, vgl. Art. 170 in [AEUV 2012]

²² In Dänemark wird die landesweite Umstellung auf ETCS bis zum Jahr 2021 geplant [SØNDERGAARD 2012].

2.1.6 Einordnung der Eisenbahnbetriebsprozesse in den rechtlichen Kontext

2.1.6.1 Einleitung

Maßgebend für die Vorschriften und Anweisungen zur Durchführung des Eisenbahnbetriebs ist die jeweilige nationale Gesetzgebung. Diese wird in den DACH-Staaten²³ durch internationale Richtlinien (z. B. TSI) mit beeinflusst. Da wesentliche Grundlagen, wie Begriffsbestimmungen, bereits in den Gesetzen verankert sind, müssen weitere Gesetze und Verordnungen bei der Harmonisierung beachtet werden. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die wichtigsten Rechtsnormen, die Einfluss auf die Eisenbahnbetriebsprozesse haben. Die zur Durchführung des Bahnbetriebs gültigen Richtlinien und Vorschriften mit den ausformulierten Prozessbeschreibungen werden nachfolgend in Kapitel 2.2 aufgeführt.

2.1.6.2 Deutschland

Die Verfassung der Bundesrepublik Deutschland ist im Grundgesetz verankert. Die darin enthaltene Gesetzgebung bestimmt den Bundesstaat als ausschließlichen Gesetzgeber für die Bahnen des Bundes, welche ganz oder mehrheitlich in dessen Eigentum stehen (Art. 73 Nr. 6 a in [D GG 2012]). Für Schienenbahnen, die nicht Bahnen des Bundes sind (außer Bergbahnen), besteht eine konkurrierende Gesetzgebung. Das bedeutet, wenn der Bundesstaat auf die Gesetzgebung verzichtet, dürfen die Bundesländer eigene Gesetze erlassen (Art. 74 Nr. 23). Andere Artikel des Grundgesetzes behandeln die Form der weiteren Eisenbahngesetzgebung, den grundsätzlichen Umgang sowie die Verwaltung der Eisenbahnen des Bundes (Art. 80, Art. 87 e, Art. 143 a). Konkrete Regelungen zur Betriebsdurchführung der Bahnen sind nicht enthalten [D GG 2012].

Das Allgemeine Eisenbahngesetz bildet in Deutschland die Grundlage für die Planung, den Bau, den Betrieb und die Stilllegung von Eisenbahnen [D AEG 2013]. Es gilt für bundeseigene als auch nichtbundeseigene Eisenbahnen, es trifft aber nicht auf Magnetschwebbahnen, Straßenbahnen, Bergbahnen und ähnliche Bahnen zu. Inhaltlich werden alle grundlegenden Anforderungen an Eisenbahnen geregelt, beginnend bei allgemeinen Begriffsbestimmungen über Sicherheitspflichten, Aufsichtsbehörden, Erteilung von Genehmigungen, Tarifregelungen, Zugang zur Infrastruktur bis hin zur Handhabung von Rechtsangelegenheiten. Im Allgemeinen Eisenbahngesetz sind keine Regelungen enthalten, die die Eisenbahnbetriebsprozesse direkt be-

²³ Abgrenzung des geographischen Untersuchungsbereichs in Kapitel 2.3.1

handeln. Auf Grund dieses Gesetzes besteht die Möglichkeit, Rechtsverordnungen „über die notwendigen Vorschriften einschließlich des Verfahrens zum Schutz der Anlagen und des Betriebes der Eisenbahnen gegen Störungen und Schäden“²⁴ zu erlassen. Weiterhin muss dem mit sicherheitsrelevanten Aufgaben betrauten Bahnpersonal das nötige Wissen über die Fahrzeuge, Infrastruktur und Betriebsvorschriften (-verfahren) bekannt sein bzw. vermittelt werden.²⁵

Ausgehend vom Allgemeinen Eisenbahngesetz wurde die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) für regelspurigen Eisenbahnen erlassen [D EBO 2012]. Der Regelungsbereich umfasst allgemeine Begriffsbestimmungen, die Gestaltung von Bahnanlagen, die Fahrzeuge, den Bahnbetrieb, das Personal als auch Bestimmungen zur Sicherheit und Ordnung auf Bahnanlagen. Im vierten Abschnitt der EBO werden die allgemeinen Grundsätze für die Durchführung des Fahrbetriebes vorgeschrieben. Dazu gehören die Definition der grundlegenden Zugarten, das Festlegen von Rahmenbedingungen für das Bremsen, die Zugzusammenstellung, Grundsätze der Fahrordnung und Zugfolge, Geschwindigkeitsregelungen, Rangierfahrten sowie das Abstellen und die Besetzung von Fahrzeugen und Zügen. Weiterhin besteht die Notwendigkeit, den Bahnmitarbeitern „die Kenntnisse und Fertigkeiten zu vermitteln, die sie zur ordnungsgemäßen Ausübung ihres Dienstes befähigen.“²⁶ Die in der EBO geforderten Signale werden in einer weiteren Rechtsverordnung, der Eisenbahn-Signalordnung (ESO), geregelt.²⁷

Die ESO ist eine Rechtsverordnung, die für alle regelspurigen und schmalspurigen öffentlichen Eisenbahnen gilt und im geforderten Umfang der EBO und ESBO²⁸ verwendet werden muss. Abweichungen von dieser Rechtsverordnung müssen durch die jeweilige Aufsichtsbehörde genehmigt werden. Die ESO definiert die zur Verfügung stehenden Signale und beschreibt diese sowohl verbal als auch graphisch [D ESO 2006].

²⁴ Zitat aus [D AEG 2013], § 26 Absatz 1b

²⁵ Vgl. [D AEG 2013], §§ 7 d und 7 e

²⁶ Zitat aus [D EBO 2012], § 54 Absatz 1

²⁷ Vgl. [D EBO 2012], § 14 Absatz 1

²⁸ EBO für Schmalspurbahnen [D ESBO 2012]

2.1.6.3 Österreich

Die Verfassung der Republik Österreich ermächtigt den Bundesstaat in Artikel 10, Absatz 1, Punkt 9 zur Gesetzgebung und dem Vollzug für die Eisenbahnen [A BVG 2014].

Die allgemeine Gesetzgebung für Eisenbahnen wird im Eisenbahngesetz geregelt [A EISBG 2006]. Das Gesetz bildet die rechtliche Grundlage der Eisenbahnen, Straßenbahnen und anderer Schienenbahnen in Österreich. Es beinhaltet grundlegende Definitionen, regelt Zuständigkeiten der Aufsichtsbehörden, Konzessionserteilung, Genehmigungsverfahren, klärt Bestimmungen zum Bau und Betrieb der Infrastruktur und Fahrzeuge, Zugangsbedingungen, Interoperabilitätsbestimmungen, Wettbewerb und andere essentielle Bereiche. Auf Regelungen zur Betriebsdurchführung oder zur Fahrdienstvorschrift (FDV) wird in diesem Gesetz nicht explizit verwiesen. Es wird in § 21 ein Betriebsleiter gefordert, „der für die Sicherheit und Ordnung des Betriebes der Eisenbahnanlagen [...] und des Betriebes von Schienenfahrzeugen [...] verantwortlich ist.“²⁹ Weiterhin muss auf Grund von § 21a gewährleistet sein, dass Eisenbahnbedienstete durch das Eisenbahnunternehmen Anordnungen für den sicheren und ordentlichen Betrieb einschließlich Ausbildung erhalten. Das bedeutet, dass die Bahnunternehmen verpflichtet sind, Vorschriften für die Betriebsdurchführung zu erstellen. Es kann zusätzlich festgestellt werden, dass das Eisenbahngesetz einen eigenen Abschnitt zur Sicherstellung der Interoperabilität des Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der konventionellen Bahnen hat [A EISBG 2006].

Für die Gestaltung und den Betrieb von Eisenbahnen und Schienenfahrzeugen auf normalspurigen Haupt- und Nebenbahnen gilt die Eisenbahnbau- und -betriebsverordnung (EisbBBV). Sie ist in sechs Abschnitte untergliedert, die neben allgemeinen Bestimmungen auch Sachverhalte zu Betriebsanlagen, Schienenfahrzeugen, Eisenbahnbetrieb und Betriebsbediensteten regelt. Die EisbBBV enthält organisatorische als auch technische Vorgaben zur Gestaltung der Eisenbahnen. Weiterhin werden wichtige bahnbetriebliche Begriffe zu Bahnanlagen, Fahrzeugen und Vorgängen definiert sowie zu erfüllende Anforderungen an Mitarbeiter benannt. Konkrete Beschreibungen von Bahnbetriebsprozessen werden keine gemacht, es sind jedoch grundlegende Anforderungen für die Betriebsdurchführung enthalten (z. B. Grundsätze der Zugfolgeregelung in § 31 EisbBBV) und Prinzipien der sicherungstechnischen Ausstattung angegeben (§ 14 Signale und Weichen; § 15 technische Sicherung der Zugfolge) [A EISBBBV 2008].

²⁹ Zitat aus [A EISBG 2006], § 21 Absatz (1) und (2)

Eine weitere österreichische Verordnung zum Eisenbahngesetz ist die Eisenbahnverordnung (EisbVO), die allgemeine Pflichten der Eisenbahnunternehmen und die Betriebsaufsicht enthält. Allgemein wird in der EisbVO von den Eisenbahnunternehmen verlangt, dass sie einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb durchführen. Der Betriebsleiter und dessen Stellvertreter werden ermächtigt, Weisungen für den Eisenbahnbetrieb und –verkehr zu erteilen.³⁰ Bei Entscheidungen, „die die Sicherheit und Ordnung des Eisenbahnbetriebs und Eisenbahnverkehrs beeinflussen können, ist der verantwortliche Betriebsleiter anzuhören. Dies gilt insbesondere [...] bei Erstellung oder Änderung von Dienstvorschriften und Dienstanweisungen.“³¹ Die Eisenbahnunternehmen sind dafür verantwortlich, dass allgemeine Anforderungen an den Betrieb in als „Dienstvorschriften“ bezeichneten genehmigungspflichtigen Vorschriften aufgeführt sind. Nach der EisbVO hat ein Eisenbahnunternehmen die Pflicht, Dienstvorschriften für die Ausbildung der Betriebsbediensteten zu erlassen, den Betriebsablauf, das Signalwesen, Umgang mit außergewöhnlichen Ereignissen als auch Aufgaben und Befugnisse des Betriebspersonals zu regeln.³² Müssen allgemeine Anweisungen aus Dienstvorschriften spezifiziert werden, so sind hierfür zusätzliche Dienstanweisungen zu erstellen.³³

2.1.6.4 Schweiz

Nach Artikel 87 der Schweizer Verfassung obliegt dem Bund die Gesetzgebung über den Eisenbahnverkehr, Seilbahnen, Schifffahrt sowie über die Luft- und Raumfahrt [CH 101].

Auf Grundlage der Bundesverfassung regelt das Eisenbahngesetz die allgemeinen Bestimmungen für Eisenbahnen. In diesem Gesetz werden allgemeine Angelegenheiten beginnend bei der Konzessionierung der Unternehmen, über Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, staatliche Aufsicht bis hin zu Haftungsansprüchen und Finanzierungsverfahren geregelt. Bezüglich des Eisenbahnbetriebs werden bereits in diesem Gesetz Vorgaben gemacht. Das Eisenbahngesetz legt in Artikel 17 Absatz 3 fest, dass das Bundesamt für Verkehr (BAV) die FDV erlässt. Weiterhin gibt es einen eigenen Abschnitt für die Umsetzung der Interoperabilität mit dem europäischen Eisenbahnsystem. Nach Artikel 23a Eisenbahngesetz sind alle normalspurigen Bahnen

³⁰ Vgl. [A EISBVO 2008], § 6 Absatz 2 Punkt 2

³¹ Zitat aus [A EISBVO 2008], § 6 Absatz 4

³² Vgl. [A EISBVO 2008], § 7 Absatz 4

³³ Vgl. [A EISBVO 2008], § 8

dazu verpflichtet, die technischen und betrieblichen Voraussetzungen für den sicheren und durchgehenden Zugverkehr zu erfüllen. Das Eisenbahngesetz behandelt für alle Spurweiten die Aspekte des freien Netzzugangs, indem es die Zusammenarbeit der Bahnen regelt (Artikel 33 bis 36) und die Trennung zwischen Betrieb und Infrastruktur (Artikel 62 bis 65) vorsieht [CH 742].

Gestützt auf die Artikel 17 Absatz 2 und Artikel 97 des Eisenbahngesetzes (sowie dem Elektrizitäts- und Trolleybus-Gesetz) wird die Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen erlassen. Sie regelt die Sachverhalte zur Planung, den Bau, den Betrieb, die Sicherheit, die Instandhaltung sowie den Rückbau von Bahnanlagen als auch Trolleybus-Systemen. Bezüglich des Fahrbetriebs wird in Artikel 11a erneut die Zuständigkeit des BAV für die FDV benannt sowie die Möglichkeit, Ausnahmeregelungen für kurze, grenznahe Strecken zu erlassen. Darüber hinaus werden in Artikel 12 die Bahnunternehmen ermächtigt, weitergehende Betriebsvorschriften für den Betrieb und die Instandhaltung zu erlassen. Diese Betriebsvorschriften müssen dem BAV zur Genehmigung vorgelegt werden [CH 742.141].

Ähnlich zur deutschen EBO oder österreichischen EisbBBV gibt es in der Schweiz die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV), welche technische Rahmenbedingungen für die Gestaltung von Eisen- und Straßenbahnen beinhaltet [BAV 2013]. In der Schweiz besteht keine volle juristische Trennung zwischen Eisen- und Straßenbahn. Nach Ansicht des Autors kann dies damit begründet werden, dass viele Bahnen in oder direkt neben einer Straße trassiert wurden.³⁴ In Straßenbahnbereichen gelten besondere Regeln und diese werden mit entsprechenden Signalen gegenüber dem Eisenbahnbereich abgegrenzt.

2.1.6.5 Europäische Union

Die Europäische Union ist ein auf völkerrechtlichen Verträgen basierender Zusammenschluss europäischer Staaten. Auf die Geschichte der EU soll im Einzelnen in diesem Kapitel verzichtet und lediglich die Einflüsse auf die Entwicklung der Eisenbahnsysteme berücksichtigt werden. Für die Mitgliedstaaten der EU gelten verschiedene Rechtsinstrumente, deren Bedeutung hinsichtlich der Verbindlichkeiten kurz benannt werden.

³⁴ Zum Beispiel die meterspurige Strecke Chur – Arosa oder die regelspurige Seetallinie zwischen Emmenbrücke und Lenzburg

Tabelle 2.3 Übersicht Rechtsinstrumente EU

Rechtsinstrumente	Bedeutung ³⁵
Empfehlungen und Stellungnahmen	„[...] sind nicht verbindliche, rechtsfeststellende Instrumente.“
Entscheidungen	„[...] sind uneingeschränkt verbindlich für diejenigen, an die sie gerichtet sind.“
Mitteilungen	„Politische Papiere, die nicht rechtlich verbindlich sind.“
Richtlinien	„[...] sind für die Mitgliedstaaten nur hinsichtlich der zu erreichenden Ergebnisse verbindlich. Sie müssen in den nationalen Rechtsrahmen umgesetzt werden und lassen somit Spielraum hinsichtlich der Form und Mittel der Umsetzung.“
Verordnungen	„[...] sind in allen Teilen verbindlich und gelten unmittelbar in jedem Mitgliedstaat.“

Mit Abschluss der Römischen Verträge von 1957 entstand die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft, die ein verbessertes, gemeinsames Handeln und Wirtschaften für die damaligen Unterzeichnerstaaten ermöglichte. Das betraf fast alle Bereiche der Wirtschaft, wobei bereits festgestellt wurde, dass für die Agrarwirtschaft und den Verkehr gesonderte ordnungspolitische Maßnahmen zu treffen sind. Die Europäische Verkehrsministerkonferenz (CEMT³⁶) hatte zwar Anforderungen bezüglich europäischer Verkehrsthemen ausgearbeitet (Schienenschnellverkehrsnetz, Rollmaterialbereitstellung, Straßenverkehrssicherheit), es erfolgte jedoch keine Überwindung der einzelstaatlichen Interessen und damit auch keine positive Entwicklung der Verkehrsmärkte [BERGER 2009]. „So sah sich das Europäische Parlament wiederholt zu verkehrspolitischen Vorschlägen und Ermahnungen und 1983 schließlich zu einer Untätigkeitsklage gegen den Verkehrsministerrat veranlasst. In deren Folge entschied der Europäische Gerichtshof 1985, die internationalen Verkehrsdienstleistungen und der Durchgangsverkehr durch die Mitgliedstaaten seien gemeinsamen Regeln zu unterziehen.“³⁷

Doch erst die sich zunehmend verschlechternde ökonomische Entwicklung der Staatsbahngesellschaften machte ein Eingreifen notwendig, so dass 1991 die Richtlinie 91/440/EWG in Kraft trat. Mit dieser Richtlinie wurde die Schaffung eines europäischen Eisenbahnmarktes bewirkt. Der Inhalt der Richtlinie fordert im Wesentlichen

³⁵ Zitate aus [CER 2008], Seite 80

³⁶ Conférence Européenne des Ministres des Transports

³⁷ Zitat aus [BERGER 2009], Seite 75

eine Führung der Bahnunternehmen als Privatunternehmen, eine getrennte Rechnungsführung zwischen Zugverkehr und Infrastruktur und erzwingt einen diskriminierungsfreien Netzzugang unter Anrechnung von Nutzungsentgelten [CER 2008].

Es folgten daraufhin die Richtlinien 95/18/EG über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und die Richtlinie 95/19/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazitäten der Eisenbahnen und die Berechnung von Wegeentgelten. Der Begriff „Interoperabilität“ wurde im Zusammenhang mit der Schaffung von vereinheitlichten europäischen Standards und Zulassungsverfahren in der Richtlinie 96/48/EG³⁸ über das transeuropäische Hochgeschwindigkeitsbahnsystem verwendet. Ziel dieser Richtlinie ist es, einen Binnenmarkt für den Bau, den Betrieb und die Erhaltung der Infrastruktur und Fahrzeuge zu schaffen. Neben größerem Wettbewerb bei der Komponentenbeschaffung sollte natürlich auch die Erbringung von Transportleistungen in anderen Mitgliedsstaaten ermöglicht werden. Da der Anteil an grenzüberschreitenden Hochgeschwindigkeitstrecken verhältnismäßig gering war, wurde eine weitere Richtlinie 2001/16/EG³⁹ erlassen, die das Interoperabilitätsprinzip auch auf die konventionellen Eisenbahnstrecken ausweitet. Beide Interoperabilitätsrichtlinien untergliedern ihr Eisenbahnsystem jeweils in (die gleichen) Teilsysteme. Für jedes Teilsystem werden TSI-Richtlinien erlassen und aktualisiert, um die Festlegung und Umsetzung einheitlicher Standards und Spezifikationen zu ermöglichen [CER 2008]. Die für die Eisenbahnbetriebsprozesse relevanten Inhalte sind mehrheitlich im Teilbereich „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ wiederzufinden [2008/231/EG][2011/314/EU].⁴⁰

2.1.6.6 Bilaterale Verträge zwischen der Schweiz und der EU

Die schweizerische Stimmbevölkerung hatte im Jahr 1992 einen Beitritt zum Europäischen Wirtschaftsraum abgelehnt. Die ökonomische Entwicklung der Schweiz ist jedoch durch eine starke wirtschaftliche Verknüpfung mit den EU-Staaten gekennzeichnet. Um negativen Auswirkungen des Nichtbeitritts entgegenzuwirken, wurden bilaterale Verhandlungen auf Initiative der Schweiz eröffnet. Als Ergebnis wurde in zwei Schritten die „Bilateralen Verträge I + II“ in den Jahren 1999 und 2004 vereinbart, welche aus insgesamt 16 Abkommen bestehen. Eines davon ist das Abkom-

³⁸ Vgl. [96/48/EG]

³⁹ Vgl. [2001/16/EG]

⁴⁰ Ab 01.01.2014 in einer gemeinsamen TSI, vgl. [2012/757/EU]

men über den Güter- und Personenverkehr auf Schiene und Straße (Landverkehrsabkommen) [THÜRER 2007].

Das Landverkehrsabkommen gliedert sich in fünf Hauptabschnitte mit allgemeinen Bestimmungen, Angelegenheiten zum grenzüberschreitenden Straßenverkehr, zum grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr, Bestimmungen für eine koordinierte Verkehrspolitik sowie Schlussbestimmungen. Die Ziele der koordinierten Verkehrspolitik sollen „ein effizientes Verkehrssystem mit den Anforderungen des Umweltschutzes in Einklang [...] bringen und so eine auf Dauer tragbare Mobilität [...] gewährleisten. [...] Die Vertragsparteien bemühen sich darum, eine weitgehende Vergleichbarkeit der Bedingungen im Verkehrsbereich [...] in ihrem jeweiligen Gebiet zu schaffen, insbesondere um Umwegverkehr im Alpenraum zu vermeiden oder dort eine bessere Verkehrsverteilung zu erzielen.“⁴¹ Um diese Ziele zu erreichen, „verpflichten sich die Vertragsparteien, den Verbund und die Interoperabilität ihrer Eisenbahnnetze und des kombinierten Verkehrs zu entwickeln. Sie stellen die erforderliche Zusammenarbeit mit den internationalen Organisationen und den betroffenen Stellen [...]“⁴² sicher.

„Mit dem Abschluss des bilateralen Landverkehrsabkommens mit der EU hat sich die Schweiz verpflichtet, im Bereich des Eisenbahnverkehrs die Interoperabilität der Eisenbahnnetze zu entwickeln und im Rahmen einer koordinierten Verkehrspolitik wettbewerbsfähige Verkehrsdienste im Eisenbahnverkehr u. a. durch die Öffnung des Zugangs zum Eisenbahnfahrtweg bereitzustellen. Daraus kann sich für die Schweiz das Bedürfnis der Rechtsangleichung ergeben.“⁴³ Die von der EU bis zum Jahr 2008 erlassenen Richtlinien und die ersten beiden EU-Eisenbahnpakete wurden im Rahmen der schweizerischen Bahnreformen 1 und 2 (aufgegliedert in 2 Teilpakete) in nationales Recht überführt. Dabei wurden technische Änderungen relativ schnell berücksichtigt, wohingegen Forderungen zur Marktöffnung sowie zur Behörden- und Unternehmensstruktur sich als weniger übernahmefreundlich erwiesen.⁴⁴ Es wird festgestellt, dass die Übernahme insgesamt erfolgt, dass bei der nationalen Umsetzung jedoch gewisse Differenzen bestehen.

⁴¹ Zitat aus [CH 0.740.72], Artikel 30

⁴² Zitat aus [CH 0.740.72], Artikel 33

⁴³ Zitat aus [UVEK 2013], Seite 34

⁴⁴ Vgl. [UVEK 2013], Kapitel 3.1.2, Seite 35

Mit der Umsetzung der Bahnreform 2.2 sind seit dem 01. Juli 2013 neue Bestimmungen zur Interoperabilität und zur Sicherheit im Eisenbahnverkehr in der Schweiz in Kraft.⁴⁵

2.1.7 Auswirkung der technischen Interoperabilität auf die Betriebsprozesse am Beispiel von ETCS

ERTMS ist ein System zur Echtzeitüberwachung und –kontrolle von Zügen inklusive fahrzeug-, gleis- und streckenseitiger Ausrüstung, das den Zugbetrieb entsprechend der aktuellen Betriebsbedingung auf einer bestimmten Anwendungsstufe kontrolliert.⁴⁶ Es soll im Wesentlichen die vier Systembereiche Verkehrsführung, Signalisierung (INESS⁴⁷), Zugbeeinflussung (ETCS) und Funkkommunikation (GSM-R) umfassen [WINTER 2009]. Insgesamt befindet sich ERTMS noch im Entwicklungsstadium, bei dem jedoch einzelne Teilsysteme bereits im Betrieb eingesetzt werden.

Die Einführung von ETCS erfolgte in den verschiedenen Ländern bisher unter der Anpassung der eigenen Regelwerke. Es bestehen noch keine zusammenhängenden ETCS-Netze und der Einsatz ist auf einzelne Strecken begrenzt. Trotz normierter technischer Geräte von unterschiedlichen Herstellern (Euro-Balise, Fahrzeugantennen etc.) ist der Einsatz noch nicht vollständig interoperabel. Meist handelt es sich dabei um Probleme bei der Interaktion der Fahrzeuge mit der Streckenausrüstung. Abweichende oder nicht ausreichend spezifizierte Anforderungen lassen Spielraum für differenzierte Lösungen und begrenzen dadurch die technische Kompatibilität [PORE 2009]. Ausgehend von der Idee der Open-Source-Software versucht man Lösungen zu finden, die auch hier einen einheitlichen Gebrauch und eine dauerhafte Anwendung ermöglichen [HASE 2009].

Sollte ERTMS mit seinem Teilsystem ETCS langfristig flächendeckend angewendet werden, dann ist es von Vorteil, wenn die Eisenbahnbetriebsprozesse und ihre Regeln einheitlich definiert, beschrieben und umgesetzt werden. Die von der EU erlassene Richtlinie „TSI Betrieb“ deckt die Aufgaben eines Regelwerkes nicht ab. Sie stellt eher eine übergeordnete Handlungsrichtlinie dar, beinhaltet aber keine konkrete Prozessbeschreibung zur Durchführung von Fahrten. Der Regelungsgehalt ist allgemein gehalten und umfasst deutlich mehr als nur die Fahrdienstregeln [2012/757/EU].

⁴⁵ Siehe Anhang A 4

⁴⁶ Sinngemäße Übersetzung aus [WINTER 2009], Seite 249

⁴⁷ Integrated European Signalling System; Forschungsprojekt im 7. Rahmenprogramm Forschung der EU, koordiniert durch die UIC [UIC 2009].

Die Vielzahl verschiedener Regelwerke (deutlich mehr Betriebsverfahren als EU-Staaten), die unterschiedliche Regelungstiefe, Beschreibung und Bedeutung der Fachtermini sowie der erhebliche Aufwand zur Einführung eines einheitlichen Verfahrens könnten bisher zum Zurückhalten bewogen haben. Zur Zeit ist es unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten wesentlich günstiger, einzelne Mitarbeiter teuer für den interoperablen Verkehr auszubilden anstatt das gesamte Personal zu schulen und die damit verbundene Neueinführung an Unterlagen und Dokumentationsmitteln anzuschaffen [HEIDL 2007]. Ein Migrationsprozess würde über viele Jahre anhalten, auch wenn die Infrastrukturanlagen dabei bestehen bleiben und nicht gesondert dafür angepasst werden.

Aktuell werden in zwei europäischen Staaten die Zugsicherungssysteme in großem Umfang durch ETCS ersetzt. Die Schweiz möchte ihre bisherigen Zugsicherungssysteme Signum und ZUB 121 durch ETCS ersetzen. In einem ersten Schritt sollen ab 2018 alle Züge mit ETCS Level 1 Limited Supervision verkehren. In einem zweiten Schritt ist geplant, die gesamte Stellwerks- und Signaltechnik netzweit auf ETCS Level 2 umzurüsten, um dadurch die Sicherheit weiter zu erhöhen und Defizite der optischen Signalisierung reduzieren zu können [SOMMER 2013].

Der dänische Infrastrukturbetreiber Banedanmark plant ebenfalls die Umstellung seiner gesamten bisherigen Leit- und Sicherungstechnik auf ERTMS. Im Zuge anstehender Modernisierungsmaßnahmen will man das ganze Bahnnetz bis zum Jahr 2021 vollständig angepasst haben. Gleichzeitig wird ein neues betriebliches Regelwerk erlassen, das sich an den Vorgaben der TSI Betrieb orientiert [BARROW 2010].

2.2 Die Entwicklung der Eisenbahnbetriebsverfahren

2.2.1 Einordnung der Begriffe Betriebsweise, -verfahren und -form

Eisenbahnbetriebsprozesse können in einer ersten Stufe in verschiedene Betriebsweisen unterschieden werden, welche auf Grund der historischen Entwicklung gemeinsamen Grundsätzen folgen. Hierzu werden drei wesentliche Betriebsweisen charakterisiert, die nach ihrer geographischen Herkunft in britisch, deutsch und nordamerikanisch unterschieden werden. Die deutsche Betriebsweise ist neben den DACH-Staaten auch in ähnlicher Form in Osteuropa, Skandinavien und auf dem Balkan anzutreffen.⁴⁸ Es konnte bisher nicht nachgewiesen werden, dass innerhalb ei-

⁴⁸ Vgl. [PACHL 2011], Seiten 18 – 21

nes Staates mehrere Betriebsweisen für öffentliche Bahnen existieren, da sich nicht nur die allgemeine Betriebsführung daran orientieren muss, sondern auch das Systemverständnis der jeweiligen Bahngesellschaften und Aufsichtsbehörden.

Bedingt durch unterschiedliche Leistungsanforderungen an Infrastrukturabschnitte und verschiedene technische Realisierungen im Bereich der Signal- und Sicherungstechnik können in einer zweiten Stufe verschiedene Betriebsverfahren innerhalb eines Staates existieren. Ein Betriebsverfahren ist in [NAUMANN 2004] ein „System betrieblicher Regeln und technischer Mittel zur Durchführung von Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen auf einer Eisenbahninfrastruktur. Hinsichtlich der Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt lassen sich Betriebsverfahren in zwei grundsätzlich zu unterscheidende Kategorien einteilen:

- Betriebsverfahren mit Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt durch Signaleinrichtungen
- Betriebsverfahren mit Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt durch mündliche [...] Aufträge.“⁴⁹

Die Abgrenzung der einzelnen Betriebsverfahren orientiert sich dabei an der regulären Durchführung der Fahrten und nicht an alternativen Prozessabläufen bei Störungen und Abweichungen. Weiterhin muss festgelegt und allen EVU bekannt gegeben werden, welches Betriebsverfahren auf einer Strecke angewendet wird.

Als eine dritte, aber nicht einheitlich gebräuchliche Abstufung tritt der Begriff Betriebsform auf. Dieser wird sowohl in der Betriebsvorschrift V3 der ÖBB als auch in der Schweizer FDV verwendet. Die Abgrenzung ist dabei nicht ganz einheitlich und könnte auch ein Betriebsverfahren bezeichnen. Beispiele dafür sind die Bezeichnung eines Zugleitbetriebes als Betriebsform neben Fernbedienung und Nahverkehr.⁵⁰ In der Schweizer FDV werden die besonderen Betriebsformen „Strecke ohne Block“ und „Zugverband“ geregelt.⁵¹ Zum besseren Verständnis wird für diese Arbeit unter Betriebsform folgende Begriffsbestimmung verstanden:

Die Betriebsform ist die Art der Durchführung des Eisenbahnbetriebs innerhalb eines Betriebsverfahrens, bei dem die örtlichen Bedingungen hinsichtlich funktionaler An-

⁴⁹ Zitat aus [NAUMANN 2004], Seite 33

⁵⁰ Vgl. [FDV A 2012], Abschnitt I, § 1 (1)

⁵¹ Vgl. [FDV CH 2012], Abschnitt R300.15

forderungen und technischer Ausstattung berücksichtigt werden.⁵² Von der regulären Betriebsform kann abgewichen werden, wenn vorübergehende Änderungen des Betriebsablaufes dies erfordern. Dabei wird das Betriebsverfahren beibehalten (siehe Abbildung 2.5). Die Betriebsform kann sich an Eigenschaften wie bspw. der bevorzugten Gleisbenutzung (Rechtsverkehr, Linksverkehr), Art der Traktion (Schiebelokomotiven, mit gesenktem Stromabnehmer fahren), Art der Zugbeeinflussung (punktuelle oder durchgehende Überwachung) oder Zustand der Infrastruktur (Bahnanlage mit örtlichem Personal, Fernsteuerung von Stellwerken) orientieren. Die Betriebsform nimmt somit immer Bezug auf eine konkrete Realisierung in einem bestimmten Teilnetz (bzw. Strecke/ Bahnhof).

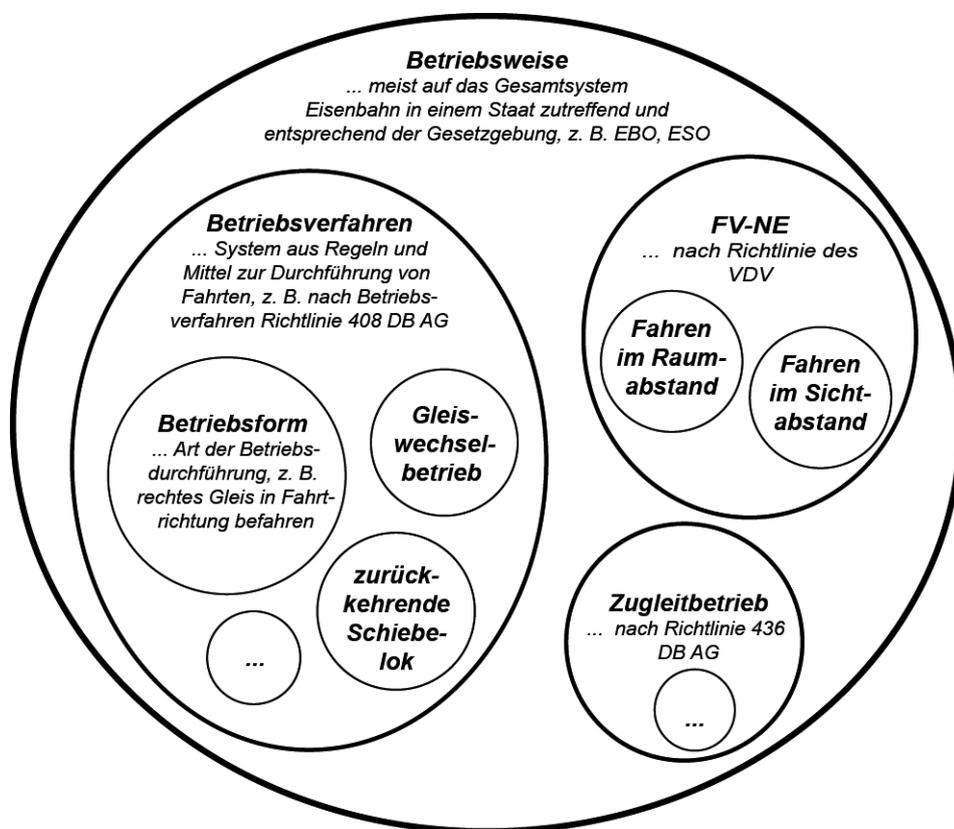


Abbildung 2.5 Struktur der Begriffe Betriebsweise, -verfahren und -form am Beispiel von Deutschland

Im Folgenden werden die Betriebsverfahren der DACH-Staaten näher beschrieben.

⁵² Die DB AG verwendet unternehmensintern den Begriff Betriebsweise an Stelle von Betriebsform, der in der Richtlinie 406 beschrieben wird [ENDERS 2014].

2.2.2 Betriebsverfahren in Deutschland

Mit der Inbetriebnahme der ersten Eisenbahnstrecken war es auch notwendig, Verfahren für die Durchführung des Fahrbetriebs festzulegen und zu beschreiben. Da das System Eisenbahn noch relativ unbekannt und die technische Ausstattung der Betriebsmittel verhältnismäßig bescheiden war, fiel der Umfang der ersten FDV noch sehr gering aus [BAYER 1989][NORDBAHN 1976].

Die Entwicklung der Eisenbahnbetriebsverfahren der DACH-Länder hat sich historisch ähnlich entwickelt. Bedingt war dies neben der geographischen Lage auch durch den gegenseitigen Bezug von Eisenbahnsicherungstechnik [HAGER 1984][OEHLER 1981].

Ausschlaggebend war die Entwicklung des Wechselstromblockfeldes für die Belegung eines Streckengleises durch Carl Frischen und dessen Einführung ab 1871. Etwa zur gleichen Zeit wurde von William Robinson im Jahr 1872 der Gleisstromkreis in den USA entwickelt [PACHL 2002].

Das Wechselstromblockfeld ist so konstruiert, dass es die Mitwirkung an einer zweiten Stelle zur Auflösung von Verschlüssen für die Fahrweg- und Zugfolgesicherung erzwingt. Damit wird das Prinzip verfolgt, dass ein Zug einen Streckenabschnitt (Blockabschnitt⁵³) durchfahren und am Ende wieder verlassen muss. Es ist somit regulär nicht möglich, dass Züge in diesem Blockabschnitt beginnen oder enden können (Ausnahme z. B. Stichstreckenblock⁵⁴). Der deutsche Streckenblock wird regulär nicht durch Bahnhöfe geführt, woraus die betriebliche Unterscheidung zwischen Bahnhof und freier Strecke resultiert. Die britische Betriebsweise kennt diese betriebliche Trennung nicht und definiert auch keinen Fachbegriff „Bahnhof“ [PACHL 2002] als Bahnanlage „wo Züge beginnen, enden, halten, kreuzen, überholen oder wenden dürfen.“⁵⁵

Die Regeln zur Durchführung der Fahrten orientierten sich an der eingesetzten technischen Sicherungsanlagen. Diese waren allerdings auf Grund der kleinstaatlichen deutschen Gliederung nicht einheitlich und wurden durch die jeweiligen Behörden

⁵³ Ein Blockabschnitt ist eine „in der Leit- und Sicherungstechnik übliche Bezeichnung für eine Blockstrecke bzw. einen Zugfolgeabschnitt. Die Einteilung der Strecke in Blockabschnitte dient dem Fahren im Raumabstand als übliches Verfahren des Folgefahrerschutzes.“ Definition zitiert aus [NAUMANN 2004], Seite 36

⁵⁴ Definition in [NAUMANN 2004]

⁵⁵ Zitat aus [DB408 2012], Abschnitt 408.0102

und Länderbahngesellschaften geprägt. Das führte zu der Erkenntnis, dass eine einheitliche FDV erlassen werden sollte, welche ab 1907 bei allen bedeutenden deutschen Bahngesellschaften in Kraft trat. Diese wurde laufend durch die Länderbahnen und den nachfolgenden nationalen Bahngesellschaften weiterentwickelt und überarbeitet [FUCHS 2007]. Die FDV beschreibt heute als Richtlinie 408 das Standardbetriebsverfahren für den Hauptteil des öffentlichen Bahnnetzes [DB408 2012]. Die Bezeichnung Zugmeldeverfahren ist mittlerweile nicht mehr gebräuchlich, da nicht mehr jede Betriebsstelle örtlich besetzt ist und Zugmeldungen vielfach bereits durch andere technische Lösungen ersetzt wurden [NAUMANN 2004].

Für Nebenbahnen der DB AG mit geringem Verkehrsaufkommen und deutlich vereinfachter sicherungstechnischer Ausstattung wurde das Betriebsverfahren Vereinfachter Nebenbahndienst entwickelt, das aktuell als Zugleitbetrieb bezeichnet wird und in [DB436 2003] geregelt wird.⁵⁶

Weiterhin gibt der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen eine eigene FDV (FV-NE) heraus, die für den Gebrauch bei nichtbundeseigenen Eisenbahnen (nicht DB AG) vorgesehen ist. Sie beruht auf der deutschen Gesetzgebung für öffentliche Eisenbahnen und darf nur auf Nebenstrecken angewendet werden. Eine Besonderheit ist, dass die FV-NE ebenfalls die zwei Betriebsverfahren Zugmeldebetrieb und Zugleitbetrieb kennt und diese in einer gemeinsamen Richtlinie beschreibt [FVNE 2008].

Grundsätzlich darf jedes EIU eine eigene FDV erlassen und bekannt geben, sofern diese der Gesetzgebung für öffentliche Bahnen entspricht. Die FDV bzw. Richtlinien mit vergleichbarem Inhalt sind folglich unternehmensintern, müssen aber den befahrenden EVU bekannt gegeben werden. Meist wird aus Aufwandsgründen und zur Vermeidung von Missverständnissen eine der vorangehend genannten FDV angewendet.

Die Beschreibung der Signale wird in eigenen Richtlinien dokumentiert, welche von der Aufsichtsbehörde genehmigt und auf Grundlage der Eisenbahn-Signalordnung erstellt werden.⁵⁷

⁵⁶ Es bestehen weitere ähnliche Verfahren mit den Bezeichnungen Signalisierter Zugleitbetrieb (SZB) und SZB mit ESTW [DB437 2009].

⁵⁷ Die Signale der DB AG sind in [DB301 2012] beschrieben.

2.2.3 Betriebsverfahren in Österreich

Die Gestaltung der österreichischen FDV wird ähnlich dem deutschen Prinzip gehandhabt. Die EIU erlassen auf Grund der nationalen Gesetzgebung eine FDV (in Österreich als Betriebsvorschrift bezeichnet), die von der Aufsichtsbehörde genehmigt wird.

Die ÖBB dokumentieren ihr obligatorisches Betriebsverfahren in der Betriebsvorschrift V3, die für alle ÖBB-Strecken gilt [FDV A 2012]. Zusätzlich gibt es weitere Betriebsverfahren, wie den Zugleitbetrieb, oder Zusatzvorschriften für besondere Betriebsverhältnisse (Fernbedienbereiche) [ÖBB ZSB 2012]. Grundsätzlich darf jedes öffentliche Bahnunternehmen eigene FDV auf Grundlage der nationalen Gesetzgebung entwerfen und sich diese von den Aufsichtsbehörden genehmigen lassen. Beispielsweise verwendet die Graz-Köflacher-Eisenbahn eine eigene Betriebsvorschrift V3, welche sich stark an der Vorschrift der ÖBB orientiert, zusätzlich aber unternehmensspezifische Besonderheiten mit berücksichtigt [GKB V3 2002].

Die Beschreibung der Signale auf ÖBB-Strecken wird in der Signalvorschrift V2 dokumentiert, welche ebenfalls von der Aufsichtsbehörde genehmigt wird [ÖBB V2 2012].

2.2.4 Betriebsverfahren in der Schweiz

Anders als in Deutschland oder Österreich wird die FDV in der Schweiz nicht von den EIU, sondern hoheitlich vom BAV erlassen und veröffentlicht. Sie hat somit den Charakter eines Gesetzestextes und gilt für alle Schweizerischen Eisenbahnen inklusive Straßenbahnen⁵⁸ [FDV CH 2012]. Die Schweizer FDV wird in den drei Landessprachen Deutsch, Französisch und Italienisch herausgegeben. Wichtige Begriffe des Eisenbahnbetriebes sind in einer Übersetzungstabelle aufgelistet. Die FDV umfasst die Bestimmung von Begriffen und regelt allgemein die Prozesse der Zugvorbereitung, das Fahren von Zügen und das Rangieren, die zulässigen Kommunikationsverfahren, die Arbeitssicherheit, den Umgang mit Störungen sowie die Signalisierung.

Generell gibt es in der Schweiz nur ein Betriebsverfahren. Besondere Betriebsweisen werden innerhalb der FDV mit berücksichtigt, wie z. B. die als Betriebsverfahren bezeichnete Betriebsdurchführung Strecke ohne Block, um eine vereinfachte Betriebs-

⁵⁸ Der Straßenbahnbereich wird mit besonderen Signalen gegenüber dem Eisenbahnbereich abgegrenzt (siehe [FDV CH 2012], Seite 87). Zum Beispiel verkehren die Züge der Forchbahn (Zürich – Esslingen) auch im Straßenbahnbereich der Stadt Zürich. Vgl. Kapitel 2.1.6.4

führung für lokale Nebenstrecken zu ermöglichen. Da die Schweizer FDV bei allen Bahnen gilt, ist sie in ihrer Regelungstiefe relativ allgemein formuliert und in ihrem Umfang im Vergleich zur Richtlinie 408 oder Betriebsvorschrift V3 verhältnismäßig geringer. Aus diesem Grund können die EIU zusätzliche Ausführungsbestimmungen zur FDV erlassen, wie bspw. die gemeinsamen Zusatzbestimmungen der SBB, BLS und SOB [SBB 2012].

2.2.5 Überblick Betriebsverfahren der DACH-Staaten

Die in den Kapiteln 2.2.2 bis 2.2.4 aufgeführten Betriebsverfahren werden in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet und in Geltungsbereiche eingeordnet.

Tabelle 2.4 Übersicht Betriebsverfahren

Betriebsverfahren	TEN-Korridore & Hauptverkehrsstrecken	Regionale Verkehrsstrecken	Schmalspurbahnen	Straßenbahnen
Deutschland				
Züge fahren und Rangieren, DB AG, Richtlinie 408	X	X		
Zugleitbetrieb, DB AG, Richtlinie 436		X ⁵⁹		
FV-NE, Richtlinie des VDV		X	X	
Österreich				
Dienstvorschrift V3, Betriebsvorschrift der ÖBB	X	X	X	
Dienstvorschrift V3, Betriebsvorschrift der GKB		X		
Schweiz				
Schweizerische Fahrdienstvorschriften FDV	X	X	X	X
Zusatzbestimmungen der SBB, BLS und SOB	X	X		

⁵⁹ Richtlinie wird nur auf regionalen Strecken mit besonders geringer LST-Ausstattung und bei geringer Zugdichte verwendet.

2.2.6 Beispiele weiterer Betriebsverfahren

2.2.6.1 Großbritannien

Eine historisch gewachsene Besonderheit der britischen Betriebsweise ist die fehlende betriebliche Bezeichnung eines Bahnhofs (vgl. Kapitel 2.2.2). Ein „deutscher“ Bahnhof mit mehreren Stellwerken, die hierarchisch in Fahrdienstleiter-, Wärter- oder Rangierstellwerke eingeteilt sein können, würde nach britischer Betriebsweise mehrere gleichrangige Stellwerke besitzen. Ein britisches Stellwerk kontrolliert einen als „Station Limit“ bezeichneten Bereich, ähnlich einem Stellwerks- oder Fahrwegprüfbezirk (vgl. [NAUMANN 2004]), der alle Weichen und Signale in der Nähe umfasst und vom Stellwerk aus einsehbar ist. Gleise, die nicht mehr einsehbar sind, müssen ausserhalb der „Station Limits“ liegen. In diesem Fall wird die Zugfolge kommunikativ zwischen den Stellwerken geregelt. Mit der Einführung selbsttätiger Gleisfreimeldeanlagen konnte auf die „Station Limits“ zusammen mit entsprechenden Signalen verzichtet werden [PACHL 2002][PACHL 2011].

2.2.6.2 USA

In den USA wurde auf Grund der großen Entfernungen und der teilweise sehr dünn besiedelten Regionen das Betriebsverfahren „Timetable & Train Order“ entwickelt. Es hatte die zwei wesentlichen Besonderheiten, dass der Faktor Zeit eine Sicherheitsverantwortung besaß und dass es eine gewisse Selbstorganisation der Züge bei Zugkreuzungen gab, welche mittels eines Systems aus Vorrangregeln und Anweisungen organisiert war. Bei großen Abweichungen und Unregelmäßigkeiten war die Arbeit eines Dispatchers, der mit neuen Anweisungen die Zugreihenfolge aktiv beeinflusste, weiterhin notwendig [PACHL 2001].

Das Betriebsverfahren „Timetable & Train Order“ wird mittlerweile nicht mehr angewendet und wurde durch neue Verfahren ersetzt (Direct Train Control, Track Warrant Control), welche dem deutschen Zugleitbetrieb ähnlich sind. Die Anweisungen werden direkt vom Dispatcher mittels Funkkommunikation und schriftlichen Befehlen an die Züge übermittelt [GWYER 2006]. In Teilnetzen mit hoher Zugdichte (Ballungsräume, Nordosten der USA) bestehen Betriebsverfahren mit signalgeführten Zügen (Centralised Train Control) [THEEG 2009].

2.3 Untersuchungsbereich der Dissertation

2.3.1 Geographische Abgrenzung

Die generische Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen erfolgt für die Bahnen, welche unter den Regelungsbereich der TSI fallen. Das betrifft in erster Linie die von der Europäischen Union festgelegten Eisenbahnstrecken des Transeuropäischen Netzes (TEN). Dieses Netz wurde in der Entscheidung [1692/96/EG] benannt und in den folgenden Jahren sukzessive entsprechend der Neumitglieder erweitert.

Der Bereich des TEN wird in [2008/57/EG] beschrieben und in technische Teilsysteme untergliedert. Die Eisenbahnbetriebsprozesse entfallen innerhalb der TSI auf das Teilsystem „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ und umfassen Verfahren und Ausrüstungen, die den normalen und gestörten Betrieb einschließlich Planung und Durchführung der Fahrten sowie Zugbildung und –führung beinhalten.

Alle TEN-Korridore sind in Deutschland und Österreich Hauptverkehrsachsen und werden vom jeweiligen größten EIU des Landes betrieben. Diese EIU besitzen je eigene Vorschriften zur Durchführung des Eisenbahnbetriebes, die nicht allein auf die TEN-Strecken beschränkt sind, sondern für die Mehrheit aller Strecken im jeweiligen Land zutreffen. Ähnliches gilt auch für die Schweiz, in der eine gemeinsame FDV für alle regelspurigen Strecken, die betrieblich das TEN-Netz bilden, existiert.⁶⁰

Es ist daher ausreichend, wenn für die generische Beschreibung die FDV berücksichtigt werden, welche auf dem Kernnetz gültig sind und keine technischen oder regionalen Sonderlösungen einen überdurchschnittlich Einfluss haben. Ausgeschlossen werden damit besondere Prozesse bei Güter-, Industrie- und Hafenbahnen, Straßen-, Tram-, Untergrund- und Stadtschnellbahnen, Stand- und Luftseilbahnen, besondere Bahnen ohne Beförderungsaufgabe als auch schienengebundene Geräte (Tagebaugeräte, Kranbahnen).

2.3.2 Funktionale Abgrenzung

Eisenbahnbetriebsprozesse sind alle sozio-technischen Verfahrensabläufe, die direkte Auswirkung auf die Fahrzeugfahrten haben. Hierzu zählen Prozesse zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der Fahrzeuge und der Infrastruktur.

⁶⁰ Laufende Gesetzgebung zur Übernahme der TSI in der Schweiz [BAV 2012]

Unter die Vorbereitung von Fahrten fallen z. B. das Kuppeln der Fahrzeuge oder die Bestätigung der Funktionsfähigkeit der Fahrzeugbremsen. Die Durchführung der Fahrten beinhaltet Prozesse, die während einer Fahrt ablaufen müssen (z. B. Beobachtung der Gleise und Fahrzeuge, Überwachung der Stellwerke), und die Nachbereitung betrifft den Abschluss von Fahrten (z. B. Abstellung der Fahrzeuge). Grundsätzlich finden die Betriebsprozesse im allgemein zugänglichen Netz statt und setzen betriebsfähige Fahrzeuge voraus.

Nicht zu den Eisenbahnbetriebsprozessen werden alle Prozesse gezählt, die keine direkte Auswirkung auf den Bahnbetrieb haben. Hierzu gehören beispielsweise die Instandhaltung der Infrastruktur, die Unterhaltung der Fahrzeuge oder der Betrieb von Verkehrsleit- und Informationssystemen. Diese Prozesse sind aus Sicht des Bahnbetriebes wichtige unterstützende Verfahren in umgebenden Teilsystemen, gefährden aber bei einem plötzlichen Ausfall nicht den aktuellen Betrieb.

2.4 Nutzen der Harmonisierung

Die Eisenbahnbetriebsprozesse und deren Handlungsrichtlinien sind im Lauf der eisenbahntechnischen Entwicklung mitgewachsen, wurden sukzessive angepasst und erweitert. Die Regeln der Betriebsdurchführung sind bisher stark national geprägt und beziehen sich auf die jeweilige staatliche Gesetzgebung, die historisch gewachsene Betriebsweise und das allgemeine Verständnis des Betriebspersonals. Neben unterschiedlichen Regeln bestehen zusätzlich Differenzen in der Bezeichnung und Definition von Fachbegriffen. Die Anwender dieser Regeln sind mehrheitlich betriebliche Mitarbeiter von Eisenbahnunternehmen, welche die Zusammenhänge und das Verständnis über die Berufsausbildung und die langjährige Praxis erworben haben. Da Regelwerke keine Lehrbücher sind, ihr struktureller Aufbau nicht einheitlich ist und notwendige Definitionen und Erklärungen fehlen können, wird das allgemeine Verständnis wesentlich erschwert.

Für die Verwirklichung der Interoperabilitätsanforderungen ist es jedoch wichtig, dass ein einheitliches Verständnis für die Betriebsdurchführung besteht, die betrieblichen Grundsätze gemeinsamen Regeln folgen, die Bezeichnung von Fachbegriffen harmonisiert ist und die dazugehörigen Definitionen sauber formuliert und abgegrenzt sind. Die Richtlinien der TSI werden auch in Zukunft angepasst und ergänzt werden, so dass eine eindeutige Übersetzung auch eine richtige Interpretation ermöglichen

soll, um danach die Anforderungen in nationale Rechtsnormen und Regelwerke zu integrieren.

Das Fehlen einer gemeinsamen Eisenbahnfachsprache erschwert die Interpretation anderer nationaler Richtlinien sowie technischer Dokumentationen und macht es nahezu unmöglich, sich ohne fremde Hilfe in ein Fachgebiet einarbeiten zu können. Bereits in einer natürlichen Sprache können völlig verschiedene Bezeichnungen für ein und denselben Begriff verwendet werden, was ohne ausreichendes Vorwissen schnell zu Missverständnissen führen kann. Weiterhin ist nicht davon auszugehen, dass die dazugehörigen Definitionen deckungsgleich sind und denselben Sachverhalt exakt bestimmen.

Könnte man innerhalb einer Sprache auf einen gemeinsamen Fachwortschatz zurückgreifen, dann bestünde die Möglichkeit, die Aussagen verständlich in eine andere Sprache zu übersetzen. Ist dies nicht möglich, dann ist darauf hinzuweisen, für welches Land die Übersetzung gültig ist und je nach Situation ergänzende Angaben zu machen. Zum Beispiel ist die Übersetzung der englischen Bezeichnung „Derailleur“ ins Deutsche nur möglich, wenn man hierzu das Land angibt oder ergänzende Angaben macht (siehe Bsp. in Kapitel 8.2.3.1).

Auf Grund der vielfältigen sprachlichen Differenzen und Variationsmöglichkeiten ist anzunehmen, dass die Formulierung gemeinsamer betrieblicher Regeln sehr aufwändig oder nahezu unmöglich ist. Die Eisenbahn folgt jedoch ähnlichen technischen Grundsätzen (Spurführung, langer Bremsweg) sowie weiteren Gemeinsamkeiten, die sie gegenüber anderen Bahnsystemen abgrenzt. Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaften sollte es möglich sein, ein Basisbetriebsverfahren zu entwerfen, welches die betriebliche Grundlage für alle Fahrzeugbewegungen bildet. Zu diesem Basisbetriebsverfahren können dann weitere Regeln hinzugefügt werden, welche den genauen Ablauf detaillierter beschreiben oder besondere Situationen berücksichtigen. Eine dadurch entstehende harmonisierte Regelbeschreibung vereinheitlicht die Kommunikation zwischen den Betriebspersonalen und ermöglicht auch einen sicheren Betrieb in einer anderen Landessprache bzw. fördert den grenzüberschreitenden Austausch von Personal. Auch wenn zukünftig die mobilen Personal nicht über tausende Kilometer eingesetzt werden, so vereinfacht es den Betrieb im internationalen Verkehr. Das ist vor allem dann von Vorteil, wenn Nahverkehrszüge in grenzüberschreitenden Agglomerationen verkehren oder Güterzüge eine mittlere Distanz über eine Grenzstation hinausfahren können und direkt ihr Ziel erreichen.

Ein weiterer Vorteil harmonisierter Betriebsprozesse ist das gemeinsame Verständnis für die Funktionen und Anforderungen bei der Transportdurchführung. Betriebliche Regeln besitzen je nach technischem Ausstattungsgrad einer Strecke Einfluss auf die eingesetzten Anlagen. Mit harmonisierten Betriebsprozessen und –regeln können einheitliche Funktionsweisen realisiert werden. Damit sollte es möglich sein, die Entwicklungskosten für die Betriebsmittel (insbesondere LST-Anlagen) zu senken und damit treten länderspezifische Lösungen in den Hintergrund. Das reduziert die Markteintrittshürden für neue Anbieter, ermöglicht die Produktion größerer Stückzahlen und führt letztendlich zu einer Senkung der Anschaffungskosten. Es ist durchaus denkbar, dass bei harmonisierten Prozessen auch einheitliche Stellwerke zum Einsatz kommen, deren Arbeitsweise gleich ist, die gemeinsame Schnittstellen zu anderen Systemen haben und deren individuelle Ausführung mehrheitlich von der örtlichen Gestaltung der Gleisanlagen abhängig ist.

Harmonisierte Betriebsabläufe, die auf einem gemeinsamen Prozessverständnis beruhen und mit einem einheitlichen Fachwortschatz beschrieben werden können, fördern auch den betrieblichen und technologischen Wissensaustausch. Davon profitiert neben der direkten Berufsausbildung, welche sich dann nicht mehr nur auf einen Staat bezieht, auch der Austausch von wissenschaftlichen Beiträgen und die universitäre Ausbildung. Der Nutzen harmonisierter Betriebsprozesse wird abschließend zusammengefasst:

- Einheitliches Prozessverständnis
- Gemeinsame Grundsätze und Verkehrsregeln für die Betriebsabwicklung
- Ermöglichung eines internationalen Personaleinsatzes
- Gemeinsamer Fachwortschatz mit einheitlichen Definitionen
- Verbesserter Wissensaustausch und vereinfachte Übersetzbarkeit in andere Sprachen
- Senkung der Anschaffungskosten der Betriebsmittel durch Reduktion des Entwicklungsaufwandes

3 Stand der Forschung

3.1 Einleitung

Mit der Umsetzung der Interoperabilitätsbestrebungen treten betriebliche Probleme in den Vordergrund, die die Ausprägung, Beschreibung und Darstellung in Regelwerken betreffen. Bisherige Arbeiten und Anpassungsvorschläge werden nachfolgend in Kapitel 3.2 vorgestellt. Die Beschreibung des Systems Eisenbahn wurde bisher überwiegend unter Berücksichtigung technischer Schwerpunkte erörtert und damit die Realisierung technischer Innovationen unterstützt, wie bspw. in Risikoanalysen und Anforderungsbeschreibungen für Zugsicherungssysteme oder anderen sicherungstechnischen Anlagen (siehe Kapitel 3.3). Ansätze zur allgemeingültigen und somit generischen Beschreibung des Systems Eisenbahn sind bisher selten, können aber dennoch als Ausgangspunkte für die weitere Bearbeitung berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.4).

3.2 Ansätze zur Weiterentwicklung der Betriebsprozesse und TSI

3.2.1 Harmonisierung der FDV in Deutschland

Die Folgen des Zweiten Weltkrieges führten zur politischen und gesellschaftlichen Trennung Deutschlands. Damit verbunden war auch die unabhängige Weiterentwicklung der beiden Staatsbahnunternehmen Deutsche Reichsbahn und Deutsche Bundesbahn. Nach der politischen Wiedervereinigung wurden die beiden Gesellschaften wieder zusammengeführt und gingen 1994 in der Deutschen Bahn AG auf. Die vierzigjährige Trennung hat auf Grund unterschiedlicher Erfahrungen als auch abweichender technischer Entwicklungstendenzen zu deutlichen Unterschieden geführt.

Obwohl die Harmonisierung bereits 1990 begann, war diese erst neun Jahre später soweit fortgeschritten, dass man eine gemeinsame FDV erlassen konnte. Diese beinhaltete unterschiedlich farbige Seiten, da immer noch nicht alle Regeln vereinheitlicht waren. Weiße Seiten galten deutschlandweit, rote Seiten beinhalteten Regeln nur für das Gebiet der ehemaligen Deutschen Bundesbahn und grüne Seiten galten nur im Bereich der ehemaligen Deutschen Reichsbahn. Bei der Vereinheitlichung

wurden neben Pünktlichkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit folgende sicherheitsrelevante Kriterien berücksichtigt:

- Netzweite Einheitlichkeit
- Anwendbarkeit und Übersichtlichkeit
- Beschreibung eindeutiger Handlungsaufträge mit wenig subjektiven Ermessensspielraum
- Klare Aufgaben- und Verantwortungsabgrenzung
- Volle Ausnutzung der Technik
- Gewährleistung redundanter Betriebsprozesse

Neben der Harmonisierung musste auch die zwischenzeitliche technische als auch gesetzliche Weiterentwicklung berücksichtigt werden und in die FDV mit einfließen [DÖLP 2002]. Im Jahr 2003 wurde die Harmonisierung offiziell abgeschlossen und die FDV für die Infrastruktur der DB AG wurde als Richtlinie 408 „Züge fahren und Rangieren“ bezeichnet [PACHL 2008].

3.2.2 Vorschlag für eine neue Systematik der Betriebsverfahren deutscher Eisenbahnen

Die technische Entwicklung bewirkt durch die Verwendung von Rechentchnik eine zunehmende Zentralisierung der Betriebsführung. Neben dem Einsatz von Leittechnik zur Disposition und Zuglaufverfolgung wird die Sicherungstechnik zukünftig von elektronischen Stellwerken geprägt sein, was eine Zentralisierung über die Möglichkeiten konventioneller Relaisstellwerke und Fernsteuerstrecken hinaus ermöglicht. Die bisherigen Betriebsverfahren und Prozessregeln sind aber fast ausschließlich für örtlich besetzte Betriebsstellen ausgelegt, so dass eine Angleichung der Regeln an eine neue Betriebsführung als logisch erscheint. Gleichzeitig existiert das „herkömmliche“ Zugleitverfahren, das grundsätzlich eine zentrale Betriebsführung hat, sowie Sonderformen mit technischer Unterstützung. Dadurch kommt es zu einer Vermischung von betrieblichen Funktionalitäten, insbesondere bei der Anwendung von Verfahren in der Rückfallebene.

In [PACHL 2004] wird der Vorschlag unterbreitet, dass die Betriebsverfahren in Deutschland vereinheitlicht werden und man eine Neuklassifizierung nach Art der

Fahrdienstleitung (zentral, dezentral) einführt (siehe Tabelle 3.1). Abhängig von der sicherungstechnischen Ausstattung könnten verschiedene Level definiert werden. Das würde bedeuten, dass die Betriebsverfahren des heutigen Zugleitbetriebs und die Betriebsführung aus einer Betriebszentrale mit ferngesteuerten Stellwerken ein Betriebsverfahren bilden. Der Zugleitbetrieb würde damit automatisch zum Rückfallkonzept bei Ausfällen.

Tabelle 3.1 Neuklassifizierung der Betriebsverfahren mit verschiedenen Ausrüstungsstufen nach [PACHL 2004]

	Betrieb mit dezentraler Fahrdienstleitung	Betrieb mit zentraler Fahrdienstleitung
Level 0	Sicherung der Zugfolge durch Zugmeldungen	Sicherung der Zugfolge durch Zuglaufmeldungen
	Zustimmung zur Zugfahrt auf nicht technischem Wege	Zustimmung zur Zugfahrt durch Fahrerlaubnis
Level 1a	Sicherung der Zugfolge durch Zugmeldungen	
	signalisierte Zustimmung zur Zugfahrt	
Level 1b		technische Sicherung der Zugfolge (Streckenblock)
		Zustimmung zur Fahrt durch Fahrerlaubnis mit ergänzter Signalisierung
Level 2	technische Sicherung der Zugfolge (Streckenblock)	technische Sicherung der Zugfolge (Streckenblock)
	signalisierte Zustimmung zur Zugfahrt	signalisierte Zustimmung zur Zugfahrt

Zur Vermeidung von Unklarheiten wird vorgeschlagen das neue zentrale Betriebsverfahren als „Auftragsverfahren“ zu bezeichnen (Verwechslungsvermeidung mit bisherigem Zugleitbetrieb) und die Fahrdienstleitung von einem Zugleiter übernehmen zu lassen [PACHL 2004].

3.2.3 Analyse von Regelwerken

3.2.3.1 Bedeutung betrieblicher Regelwerke für die Leit- und Sicherungstechnik

Die Bedeutung betrieblicher Regelwerke untersucht [PACHL 2008] unter Berücksichtigung der technischen Weiterentwicklung (Automatisierung, Zentralisierung, Prozessverfolgung) mit Auswirkung auf die Leit- und Sicherungstechnik. Die Inhalte der

Regelwerke umfassen im Wesentlichen die Definitionen der Fahrmodi, die Funktionen der Betriebsstellen, die Beschreibung der Betriebsverfahren und die Durchführung der Fahrten. Bei der Analyse der Verfahrensbeschreibungen wird festgestellt, dass ein Teil des Fachwissens nicht dokumentiert ist und über die Ausbildung und praktische Anwendung weitergegeben wird. Daraus folgt, dass für Außenstehende die Interpretation des Inhalts mit Schwierigkeiten verbunden ist, besonders im internationalen Kontext. Mit Verweis auf frühere Harmonisierungen in Nordamerika und Osteuropa werden für die Umsetzung der betrieblichen Interoperabilität in Europa Entwicklungsansätze vorgeschlagen. Diese gehen von einer Art Basisbetriebsverfahren aus, das einheitliche Verfahrensgrundsätze besitzt. Die Weiterentwicklung der nationalen Regelwerke sollte sich an dem Basisverfahren orientieren. Ziel wäre es, dass nicht nur technische Weiterentwicklungen kompatibel wären, sondern auch das Wissen und Prozessverständnis einfacher austauschbar würde [PACHL 2008].

3.2.3.2 Vergleich betrieblicher Regelwerke

Die Gestaltung der betriebssicherheitlichen Regelwerke im internationalen Vergleich wird in [PACHL 2012] aufgegriffen. Mit Berücksichtigung der zunehmenden Anzahl interagierender EVU und EIU erscheint die Verwendung von großen Regelwerken für verschiedene Akteure nicht mehr vorteilhaft. Es wird vorgeschlagen, dass die bisher meist funktionsorientiert dargestellten Regeln in eine prozessorientierte Darstellung überführt werden. Weiterhin sollte es für jeden Funktionsbereich eigene Regelbeschreibungen im Handbuch-Prinzip geben, was u. a. in Großbritannien bereits praktiziert wird [PACHL 2012].

3.2.3.3 Harmonisierung des Regelwerks für Bahnübergänge

Die Problematik des abweichenden Regelverständnisses tritt auch an anderen Stellen auf, wie am Beispiel der besonderen Thematik des Bahnübergangs (Bü) aufgezeigt werden kann. Das notwendige Zusammenwirken zweier unterschiedlicher Verkehrssysteme wird nicht nur durch unterschiedliches Prozessverständnis erschwert, sondern teilweise auch durch stark differenzierte Gliederung der Regelwerke bis hin zu widersprüchlichen Aussagen. Für die deutschen Regelbeschreibungen werden in [SCHÖNE 2011] Ziele für eine Harmonisierung benannt, auf die sich Eisenbahn und Straße gleichermaßen berufen können. Dafür sind Konsistenz und Aktualität der Regelwerke zu prüfen, Festlegungen am zu erwartenden Gefährdungsrisiko zu orientieren, Einflüsse der Besitzverhältnisse zu minimieren sowie noch ungeklärte Praxisprobleme neu aufzunehmen. Das harmonisierte Regelwerk sollte nach dem Lebens-

zyklus des Bü gegliedert werden. Vorgaben für Planungs-, Betriebs- und Instandhaltungsprozesse sollen kompakt und übersichtlich gestaltet sein sowie Anforderungen an Schnittstellen zu technischen Prozessen definieren [SCHÖNE 2011].

3.3 Bisherige Arbeiten zur technischen Beschreibung

3.3.1 Einleitung

Im Folgenden werden Arbeiten und Veröffentlichungen vorgestellt, die die Beschreibung sicherungstechnischer Systeme und betrieblicher Prozesse des Eisenbahnverkehrs umfassen. Diese werden zusätzlich auf eine mögliche Fortführung der Erkenntnisse hin überprüft.

3.3.2 Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und -sicherungssystemen [MEYER 2004]

3.3.2.1 Ausgangspunkt und Ziel

Die Einführung von ETCS als Bestandteil von ERTMS ist mit hohen Kosten und möglichen Änderungen bei den betrieblichen Anforderungen verbunden. Um bei der Ablösung der bisher sehr heterogenen Sicherungstechniksysteme den Funktionsumfang in technischer und betrieblicher Hinsicht vergleichen zu können, wurde in [MEYER 2004] ein Ansatz zum Vergleich von LST-Systemen entwickelt. Dieser soll unabhängig von der jeweiligen Implementierung sein und ein entsprechendes Referenzmodell verwenden. Das heißt, dass die Systemfunktionen generisch modelliert werden und die Anwendbarkeit auf die LST überprüft wird. Als Beschreibungsmittel werden in [MEYER 2004] Petri-Netze⁶¹, UML-Klassendiagramme und Entscheidungstabellen verwendet.

3.3.2.2 Liste generischer Funktionen

Es wird eine grundsätzliche Sammlung generischer Funktionen aufgelistet und skizziert, welche auf der Identifikation und Klassifizierung von Aufgaben eines Eisenbahnsystems basieren.⁶² Die Klassifizierung der generischen Funktionen⁶³ orientiert

⁶¹ Siehe auch Kapitel 6.5.2

⁶² Vgl. [MEYER 2004], Kapitel 4.1 – 4.3, Seiten 63 – 83

⁶³ Siehe übertragene Funktionsliste in Anhang A 1

sich an der Einteilung der Aufgaben und umfasst die Funktionsbereiche zur Sicherung, Betriebsführung und Disposition des Eisenbahnbetriebs. Eine Überprüfung auf Vollständigkeit der Funktionenliste ist in [MEYER 2004] nicht enthalten.

3.3.2.3 Modellierung des Referenzmodells als Petri-Netz

Anschließend wird ein generisches Referenzmodell mit Hilfe eines hierarchischen Petri-Netzes erstellt. In diesem Modell werden „einige essentielle Funktionen“⁶⁴ modelliert, die Zustände und Vorgänge des Fahrweges, der LST, der Fahrzeuge bis hin zur Disposition nachbilden.

Die Modellierung selbst erfolgt nicht einheitlich nach einem funktionsorientierten Ansatz, sondern bezieht auch andere Ansätze mit ein, die system- oder prozessorientiert sind. Nach dem Verständnis des Autors besteht bei [MEYER 2004] die Hierarchie des Gesamtmodells in vertikaler Richtung aus der Kontext-, der Prozess-, der Szenario- und der Funktionsebene (mit zunehmendem Detaillierungsgrad).⁶⁵ Andererseits wird beschrieben, dass die Modellierung des Systemkontextes ereignisorientiert erfolgt, die Systeme funktionsorientiert, Subsysteme ereignisorientiert und Szenarien (betriebliche Abläufe) prozessorientiert modelliert sind.⁶⁶ Zudem besteht eine horizontale Abgrenzung in die Teilbereiche Infrastruktur⁶⁷, Fahrzeugdynamik, Verhalten des Fahrzeugführers und das Leit- und Sicherungssystem, die faktisch parallel modelliert werden und miteinander interagieren. Das hat zur Folge, dass die aufgeführten generischen Funktionen in den Petri-Netzen für den Leser nicht ausreichend transparent sind.

3.3.2.4 Nachvollziehbarkeit des Referenzmodells

Die schwierige Nachvollziehbarkeit der enthaltenen generischen Funktionen im generischen Referenzmodell soll am Beispiel für Bahnübergänge kurz dargelegt werden.

⁶⁴ Zitat aus [MEYER 2004] Seite 92

⁶⁵ Vgl. [MEYER 2004], Kapitel 3.3.1, Tabelle 3.5

⁶⁶ Vgl. [MEYER 2004], Kapitel 3.5, Seite 48

⁶⁷ Gemeint sind Elemente des Fahrweges wie bspw. Gleis, Weiche, Kreuzung u.a.

Es werden von [MEYER 2004] folgende Funktionen für Bahnübergänge benannt:

- Sicherung anfordern
- Bahnübergänge sichern
- Verletzung erkennen
- Bündelung mehrerer Fahrten
- Bündelung paralleler Gleise
- Aufheben der Sicherung

Für die Modellierung der Prozesse eines Bü werden zwei Teilnetze modelliert, welche zum einen den Bü als Teil der LST darstellen und zum anderen die notwendigen Eisenbahngleise als Teil des Fahrweges enthalten.

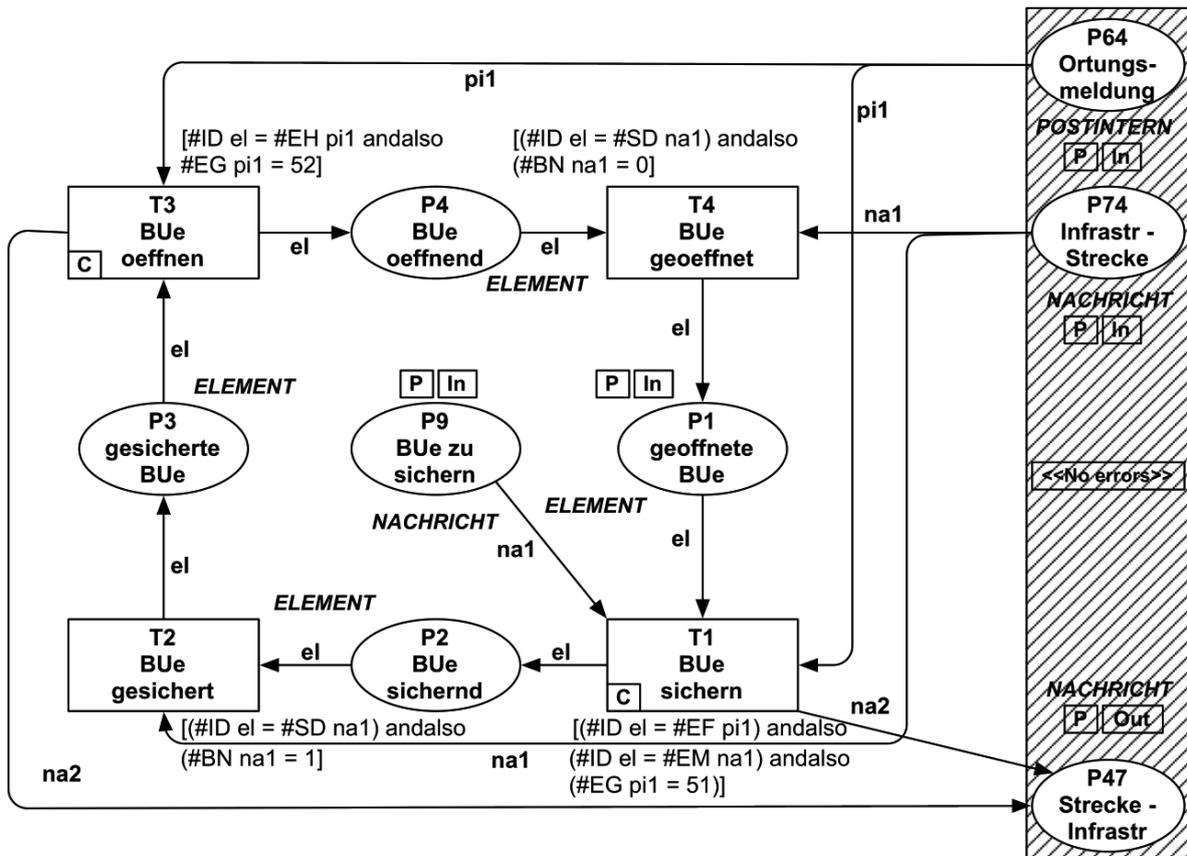


Abbildung 3.1 Petri-Netz „Bahnübergang sichern“ [MEYER 2004]

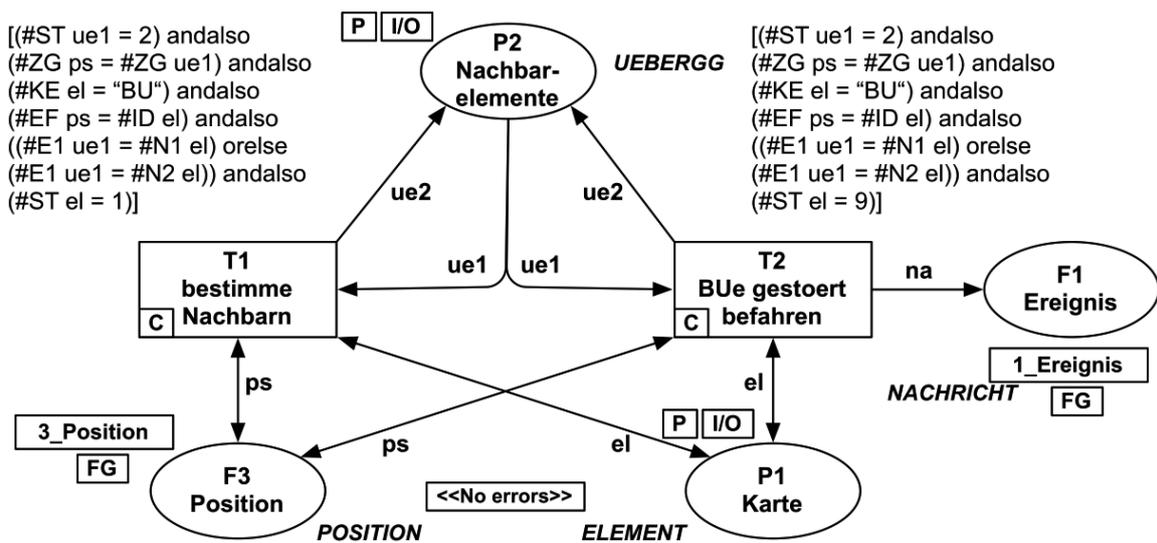


Abbildung 3.2 Petri-Netz „Bahnübergang“ [MEYER 2004]

Es wird angenommen, dass die beiden vorangehenden Abbildungen der gleichen Hierarchieebene (Szenario-Ebene) zugeordnet werden können. Die Modellierung von zwei Teilnetzen für Bahnübergänge wird als Folge der Unterscheidung in Teilbereiche⁶⁸ innerhalb des Gesamtmodells aufgefasst (Abbildung 3.1 – Infrastruktur; Abbildung 3.2 – LST).

Grundsätzlich besteht ein Petri-Netz-Modell aus Systemzuständen und Aktivitäten, welche alternierend über Kanten vernetzt sind.⁶⁹ An Hand der beiden Bü-Teilnetze kann nicht eindeutig nachvollzogen werden, wie die sechs generischen Funktionen für Bahnübergänge modelliert sind. Es wird nicht näher beschrieben, ob die Funktion „Bahnübergang sichern“ durch die Transition „T1 Bue sichern“ realisiert wird, aus mehreren Transitionen und Stellen besteht oder das gesamte Teilnetz betrifft.

Ein anderes Beispiel ist das Nachvollziehen der Funktion „Verletzung erkennen“, die das fehlerhafte Eindringen in einen gesicherten oder zu sichernden Bü erkennen soll. Das Petri-Netz in Abbildung 3.2 enthält u. a. eine Stelle „F1 Ereignis“, die aber innerhalb des Teilnetzes keine weiterführende Kante besitzt. Es ist nicht zu erkennen, ob mit dieser Stelle eine Funktion „Verletzung erkennen“ in Anspruch genommen werden kann. Die Stelle besitzt zwar die Eigenschaft, Verbindungen zu anderen Teilnetzen herzustellen (Markierung „FG“), sagt aber nicht aus, zu welchem Teilnetz die Verknüpfung besteht. In anderen Teilnetzen werden gleichfalls Stellen mit der Bezeichnung „F1 Ereignis“ verwendet, diese sind aber nicht zwingend weiterführend oder mit Transitionen verbunden, die eindeutig auf eine Aktivität an einem Bahnübergang schließen lassen.

Weiterhin ist die Abbildung 3.2 nur eine vereinfachte Darstellung und es wird in [MEYER 2004] darauf verwiesen, dass es auch möglich sein sollte, dieses durch ein komplexeres Petri-Netz⁷⁰ zu ersetzen. Es ist anzunehmen, dass ein alternatives Netz aus [SCHNIEDER 2000] in das Modell integriert werden kann, allerdings handelt es sich dabei um eine konkrete Modellierung einer typisch deutschen Bü-Anlage. Es werden darin detaillierte Steuerungsprozesse modelliert, die u. a. rote und gelbe Straßenverkehrslichtzeichen enthalten und somit einen gegenständlichen Realisierungsbezug haben. Das würde in diesem Falle den methodischen Anspruch eines

⁶⁸ Vgl. Kapitel 3.3.2.3

⁶⁹ Vgl. Kapitel 6.5.2

⁷⁰ Vgl. [SCHNIEDER 2000], Seite 57 – 84

generischen Referenzmodells – ausgehend von generischen Funktionen – verletzen und wäre somit unzulässig.

Allgemein ist festzustellen, dass im Referenzmodell nicht nur die Leit- und Sicherungssysteme modelliert werden, sondern auch die Fahrdynamik des Zuges und das Verhalten des Fahrzeugführers. Dies wird benötigt, um die Petri-Netz-Simulation verschiedener Betriebsabläufe durchführen zu können, und weist große Ähnlichkeiten mit einer Betriebssimulation auf. Das hat zur Folge, dass ein vollständiges Bahnsystem modelliert wird, in dem alle automatisierbaren Funktionen enthalten sind und das zum Schluss eine sehr große Komplexität aufweist.

3.3.2.5 Anwendung des Referenzmodells und Vergleich

Neben der Simulation dreier Betriebsabläufe (Folgefahrt zweier Züge, Zugkreuzung auf eingleisiger Strecke, Befahren eines Bü) werden weitere Anwendungsmöglichkeiten des Modells aufgeführt. Dabei wird aber deren Nutzung nur im Ansatz benannt und auf andere Quellen verwiesen.

Eines der Ziele in [MEYER 2004] war es, Systeme unabhängig von ihrer Implementierung an Hand eines Referenzmodells zu vergleichen.⁷¹ Leider behandelt das Vergleichskapitel eine erneute Klassifikation von LST-Systemen, eine Beschreibung ausgewählter Beispiele sowie einen abschließenden Vergleich.

⁷¹ Vgl. [MEYER 2004] Kapitel 1.3

Bezeichnung	Stellwerk	MCDS/EOW	INDUSI	LZB	EVM	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L3	FFB	VZV
4 Steuerung u. Sicherung des Fahrwegs										
4.1 Bilden und Sichern der Fahrstraße	Sd	Sd	-	-	-	-	-	-	Sd	Sd
4.2 Aufrechterhaltung der Fahrstraße	Sz	Sd	-	-	-	-	-	-	Sd	Sd
4.3 Sicherung der Fahrstraße	Sz	Sd	-	-	-	-	-	-	Sd	-
4.4 Ermitteln der Fahrerlaubnis	Sz	Sd	-	-	-	-	-	-	Sd	-
4.5 Erteilung der Fahrerlaubnis	Sz	Sd	-	-	-	-	-	-	Sd	-
4.6 Auflösung der Fahrstraße	Sz	Sd	-	-	-	-	-	-	Sd	-
4.7 Sichern der Bahnübergänge	Sz	-	-	-	-	-	-	-	Sd	Fd
5 Steuerung u. Sicherung des Fahrzeugs										
5.1 Steuerung des Fahrzeugs	-	-	-	Fz	-	-	-	-	-	Fd
5.2 Sicherung des Fahrzeugs	-	-	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fd
6 Ortung										
6.1 Ermittlung des (diskreten) Zugorts	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Fz	Fz	Fz	Fz	Fd
6.2 Best. der Bewegungsparameter	-	-	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fd
7 Datenerhebung										
7.1 Datenspeicherung	Sz	Sd	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fz	Fd

Sz: Strecke zentral Sd: Strecke dezentral Fz: Fahrzeug zentral Fd: Fahrzeug dezentral

Abbildung 3.3 Übersicht generischer Funktionen nach [MEYER 2004]

Es ist zu erkennen, dass in Abbildung 3.3 keine vollständigen LST-Systeme verglichen wurden, sondern nur Teilsysteme, die nicht unbedingt den gleichen Funktionsumfang haben. Somit ist der Vergleich eines (möglicherweise mechanischen) Stellwerks mit einem Zugbeeinflussungssystem eigentlich nicht möglich, da sie nicht den gleichen Funktionsbereich abdecken. Der Vergleich findet außerdem auf Grundlage der generischen Funktionen statt ohne Inanspruchnahme des Referenzmodells. Als hilfreich wäre bspw. die Gegenüberstellung von Zugbeeinflussungssystemen (PZB 90, ZUB 121, ETCS Level 1) einzuschätzen, die die Systeme auf generische Funktionen der Steuerung, Sicherung und Ortung der Fahrzeuge hin überprüft unter Einbezug der entsprechenden Subnetze des Referenzmodells.

3.3.2.6 Eignung als Referenz

Die LST-Systeme bilden grundlegend die Eisenbahnbetriebsprozesse ab und sind abhängig von ihrem Automatisierungsgrad in ihrem Funktionsumfang bemessen. Automatische Bahnsysteme müssen weitestgehend alle Betriebsprozesse abdecken, während beispielsweise bei einfachen Verhältnissen und niedriger Zugdichte eine geringere technische Ausstattung nötig ist, um eine gleichbleibende Sicherheits- und Betriebsqualität zu garantieren.

Die Auflistung generischer Funktionen in [MEYER 2004] kann gleichbleibend für sozio-technische Prozesse verwendet werden, wobei noch eine Überprüfung auf Voll-

ständigkei t erfolgen sollte. Die Weiterverwendung des Referenzmodells erscheint jedoch auf Grund seiner hohen Komplexität und der schwierigen Wiedererkennung der generischen Funktionen als eher ungeeignet.

3.3.3 Beschreibung von Betriebsregeln mittels Petri-Netzen [LAHLOU 2007]

In [LAHLOU 2007] werden Ansätze einer Methode zur Überführung eines Regeltextes in ein Petri-Netz-Modell⁷² entwickelt und anschließend das Verhalten als auch die Vollständigkeit überprüft. Unter dem Gesichtspunkt, dass Eisenbahnbetriebsprozesse aus Ereignissen, Konjunktionen, Disjunktionen, Sequenzen und parallelen Aktivitäten bestehen, können diese ereignisorientierte Prozessketten bilden, welche bspw. als Farbige Petri-Netze modelliert werden können.

Die Abfahrt eines Zuges wurde als Beispielprozess ausgewählt (vgl. Abbildung 3.4). Dieser Prozess beinhaltet mehrere Bedingungen, die von einem Stellwerksbediener und einem Lokführer exklusiv erfüllt werden. Die Zusammenführung dieser Bedingungen erfolgt mit Konjunktion und hierarchischer Transformation.

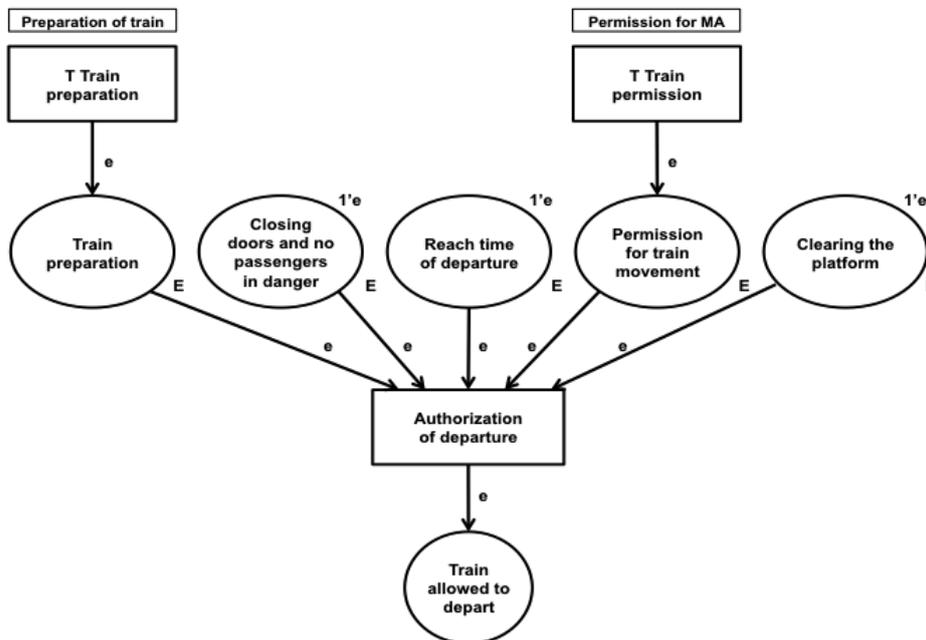


Abbildung 3.4 Zugabfahrt als Farbiges Petri-Netz [LAHLOU 2007]

⁷² Siehe auch Kapitel 6.5.2

Als besonderes Problem tritt dabei die Zustimmung zur Abfahrt (Permission for train movement) auf. Diese kann auch bei ERTMS auf unterschiedlichen Wegen realisiert werden, z. B. als Führerstandsanzeige (MA), als Außensignal (Main signal) oder per schriftlichem Befehl (Written order).

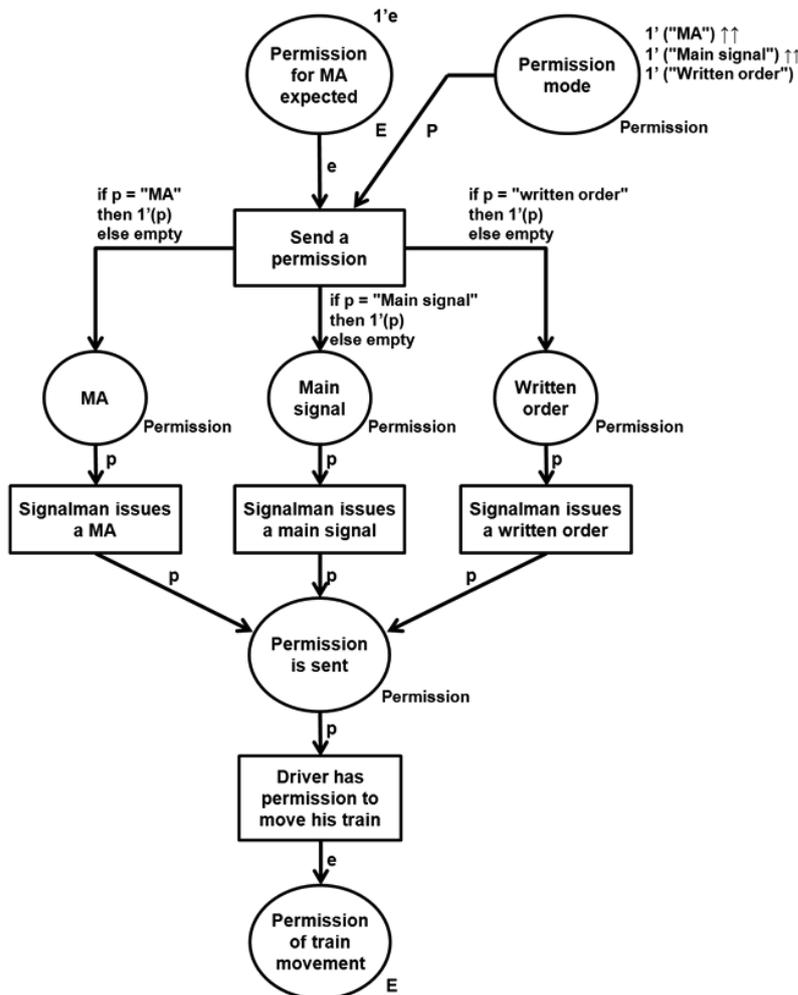


Abbildung 3.5 Zustimmung zur Abfahrt als Farbiges Petri-Netz [LAHLOU 2007]

Zu beachten ist dabei, dass es generell verschiedene Möglichkeiten der Informationsübermittlung vom Stellwerksbediener an den Lokführer gibt, diese im konkreten Anwendungsfall aber nicht frei gewählt werden dürfen. Aus diesem Grund wird eine zusätzliche Stelle „Zustimmungsmodus“ (Permission mode in Abbildung 3.5) in das Petri-Netz integriert, welche das richtige Verfahren auswählen soll. Das Modell Zustimmung zur Abfahrt kann damit aber noch nicht deterministisch dargestellt werden.

Deshalb wird von den Autoren angenommen, dass die Regel hierfür entweder unvollständig oder nicht ausreichend präzise beschrieben ist.

Die Autoren geben einen Einblick in die Möglichkeit zur Beschreibung mit dem formalen Beschreibungsmittel Farbiges Petri-Netz und zeigen auf, dass die Verwendung als Beschreibungsmittel möglich erscheint. Weiterhin nehmen sie an, dass Betriebsregeln mit einer standardisierten Methode besser übersetzt und Fehler schneller erkannt werden können.

3.3.4 UML-basierte Testfall- und Systemmodelle für die Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik [KNOLLMANN 2007]

Die Entwicklung komplexer elektronischer Systeme und Komponenten ermöglicht es, dass die Sicherheitsverantwortung zunehmend vom Menschen auf die Technik verlagert werden kann. Das stellt besonders hohe Anforderungen an die Planung, Umsetzung und den Test solcher technischen Systeme. In [KNOLLMANN 2007] wird diese Thematik aufgegriffen, mit dem Ziel, ein Vorgehen zur Verbesserung der Entwurfsmethoden zu entwickeln. Ausgehend vom Umfeld der Modellierungssprache UML wird ein durchgängiger Entwicklungsprozess für die System- und Testfallbeschreibung in einem Modell dokumentiert.

Beginnend mit der allgemeinen Modellierung in der Verkehrstechnik und in der LST, werden mögliche zur Verfügung stehende Beschreibungsmittel erörtert, von denen die Entscheidung auf UML fällt. Knollmann diskutiert verschiedene Methoden des Systems Engineering, welche für die Systementwicklung verwendet werden können. Anschließend soll ein System mit einer passenden Testumgebung verknüpft und geprüft werden. Die vorgeschlagene Methodik wird abschließend in einer Fallstudie verifiziert [KNOLLMANN 2007].

Die Arbeit kann in den Bereich der technischen Systementwicklung eingeordnet werden und greift funktionale und technische Zusammenhänge im Eisenbahnverkehr auf. Allgemein wird keine generische Systembeschreibung verwendet, da Bezug auf die Anwendung und die Verknüpfung konkreter Entwicklungs- und Testwerkzeuge genommen wird. Interessanterweise kann angemerkt werden, dass der betrieblichen Modellierung zusätzliche Beachtung geschenkt wird. Knollmann betrachtet LST-Systeme als „technische Hilfsmittel zur Umsetzung betrieblicher Regeln.“⁷³ Es wird als sinnvoll und hilfreich angesehen, wenn der Systementwicklung eine formale Be-

⁷³ Zitat aus [KNOLLMANN 2007], Seite 19

schreibung der Betriebsprozesse voran geht. Auf Grund der teilweise erheblichen Abweichungen in den jeweiligen nationalen Betriebsregeln können nach Ansicht Knollmanns folgende Probleme für die Systementwicklung auftreten:

- „Die Regeln werden zu Beginn der Entwicklung falsch interpretiert, so dass eine Validierung des Systems durch Dritte fehlschlägt.
- Die Regeln werden bei der Entwicklung nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt, so dass das System bei der Validierung funktionale Lücken aufweist.
- Die Regeln werden beim Systemtest falsch interpretiert, so dass Tests möglicherweise als „falsch positiv“ oder „falsch negativ“ gewertet werden.
- Die Regeln wurden beim Systemtest nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt, so dass keine ausreichende Testabdeckung gegeben ist.“⁷⁴

Es wird weiterhin festgehalten, dass den Betriebsregeln eine zentrale Bedeutung zukommt, da diese in Wechselwirkung mit Personal und Technik stehen (vgl. Abbildung 3.6). Damit sollen die Schwierigkeiten bei der Einführung einheitlicher Sicherheitstechnik im Umfeld heterogener Betriebsprozesse verdeutlicht werden.

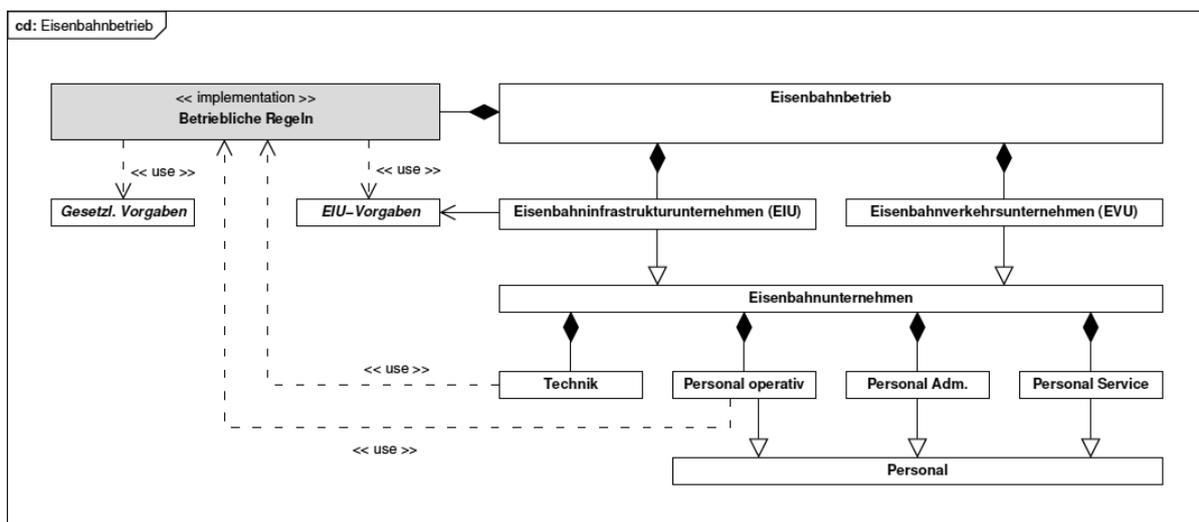


Abbildung 3.6 Rolle betrieblicher Regeln im Eisenbahnsystem [KNOLLMANN 2007]

Zusätzlich werden in [KNOLLMANN 2007] zwei Betriebsprozesse als UML-Aktivitätendiagramm modelliert, welche aber keinen generischen Anspruch verfolgen und als Beispiele für eine (semi-) formale Beschreibung dienen. Im Hinblick auf Kapi-

⁷⁴ Zitat aus [KNOLLMANN 2007], Seite 21

tel 6.4 (Evaluationsprozess „Abfahrt des Zuges“) wird der Prozess „Ausfahrt eines Zuges“ als Vergleich in Abbildung 3.7 dargestellt.

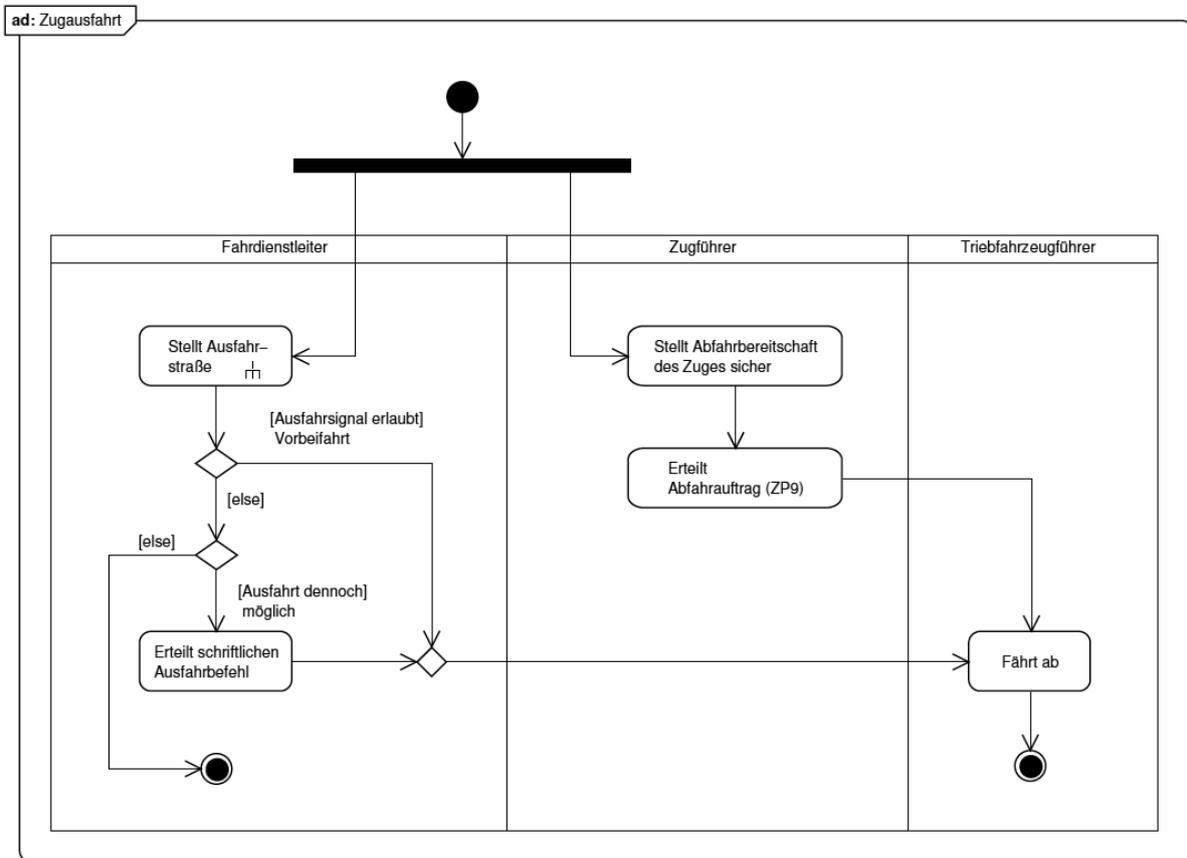


Abbildung 3.7 „Ausfahrt eines Zuges“ als UML-Aktivitätendiagramm [KNOLLMANN 2007]

Knollmann zeigt mit der Modellierung, dass UML als Beschreibungsmittel geeignet erscheint. Das Modell an sich ist nicht generisch und auch nicht vollständig, was aber auch nicht Anspruch des Autors ist.

Es kann zusammengefasst werden, dass Probleme auf Grund abweichender Betriebsregeln und Prozessbeschreibungen in der technischen Weiterentwicklung auftreten können. Dafür wird eine Lösungsmethodik vorgeschlagen, welche durchgehend auf UML basiert und bereits bei der Modellierung der Betriebsprozesse beginnt.

3.3.5 Vorschlag zur Beschreibung von Systemfunktionen mit SysML [EICKMANN 2008]

Im Regelfall liegen die Systembeschreibungen für Bahnsysteme im Prosatext vor, die eine schnelle Identifikation von Systemfunktionen, -verhalten und deren Zusammen-

hänge häufig erschweren. Um die Verständlichkeit zu verbessern, insbesondere bei Neuentwicklungen mit Auswirkung auf Technologie und Betrieb, wird in [EICKMANN 2008] eine Lösung mit formaler und strukturierter Betrachtung des Systems vorgeschlagen.

Zur Beschreibung des Systems Eisenbahn wird hier die Top-Down-Methode gewählt, die die Funktionen, ausgehend von den Anforderungen an das System, ableitet und diese wiederum in Unterfunktionen gliedert. Grundsätzlich können die Unterfunktionen je nach gefordertem Detaillierungsgrad weiter verfeinert werden, das zu einem entsprechend komplexen Funktionsbaum führt.

Für die effiziente Darstellung der Systembeschreibung wird ein leistungsfähiges Beschreibungsmittel gewählt, das unterschiedliche Beziehungsklassen, komplexe Topologien und zeitlich wirkende Bestandteile abbilden kann. Als optimal wird die Sprache SysML angesehen, welche ausreichend viele Symbole und Diagrammtypen bereitstellt. Für die Systembeschreibung wurden Anwendungsfall-, Anforderungs- und Blockdefinitionsdiagramme verwendet. Blockdefinitionsdiagramme werden zur detaillierten Darstellung der Funktionen und für die Zuordnung von Funktionen zu Akteuren verwendet. Um eine bessere Übersicht zu erhalten, werden die Funktionen in mehreren Diagrammen modelliert, welche jeweils eigene Teilfunktionen abbilden (Bsp. siehe Abbildung 3.8).

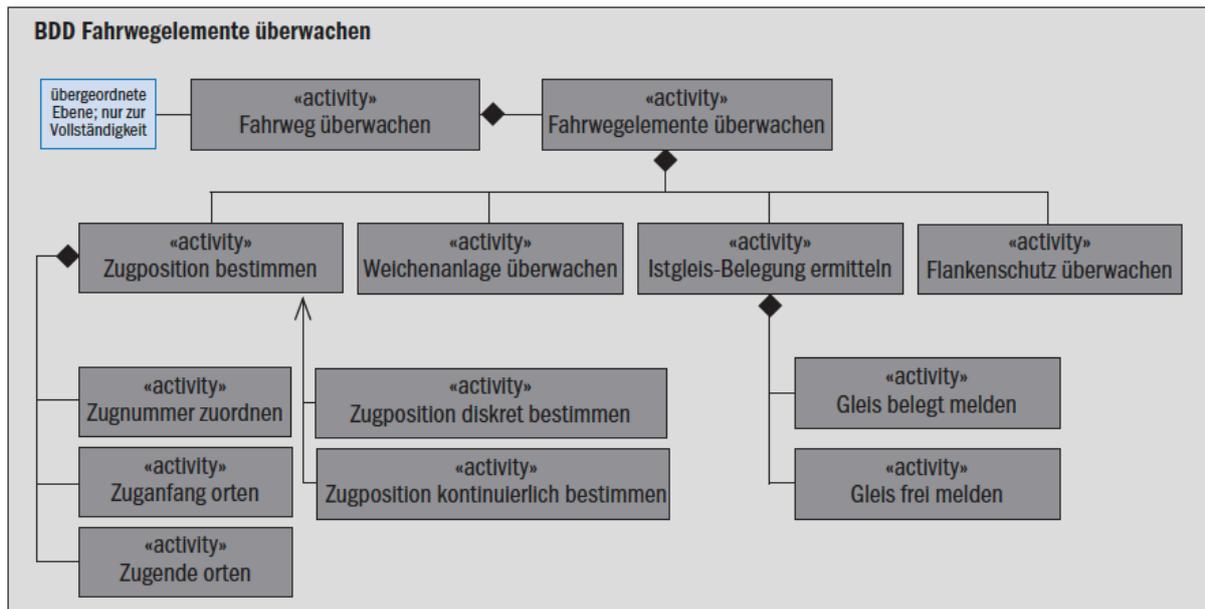


Abbildung 3.8 Blockdefinitionsdiagramm mit SysML für die Teilfunktion „Fahrwegelemente überwachen“ [EICKMANN 2008]

Nach Ansicht der Autoren eignet sich die vorgeschlagene Methode nicht nur bei der unterstützenden Entwicklung neuer Technologien (Projekt Positron [EICKMANN 2007]), sondern auch bei Innovationen mit Funktionsverlagerung, bei der Erstellung von Spezifikationen, bei der Analyse von Komponenten oder bei der Erkennung überzähliger Funktionen in einem System. Interessanterweise wird weiterhin auf die Möglichkeit zur Untersuchung betrieblicher Regeln verwiesen. Auf Basis der vorgeschlagenen Methode können Regeln verschiedener Länder systematisch verglichen werden, welche bspw. bei der Einführung von ETCS zur Anwendung kommen könnte.

3.3.6 Anwendung der Methode Ontological Hazard Analysis

Die Methode „Ontological Hazard Analysis“ (OHA) eignet sich durch formale Verfeinerung zur Erstellung vollständiger Spezifikationen von Sicherheitsanforderungen. In [SIEKER 2010] wird die Eignung dieser Methode zur Beschreibung des deutschen Zugleitbetriebs untersucht. Die OHA-Methode verwendet Verfahren der Logik und Informatik, die zu einer formalen und sehr abstrakten Beschreibung des Betriebsverfahrens führen.

Die Betriebsführungsprozesse werden auf unterschiedliche Art modelliert, z. B. mit Relationen und Axiomen unter Verwendung mathematischer Notation, als Pseudo-Code (vgl. Abbildung 3.9) oder auch als Zustandsautomat.

```
FOR (  $i = 1$  TO  $N$  )
* Zug  $F$  in  $A_{i-1}$ 
  Fähranfrage- $F-A_i$ 
Bed: IF ( Kein-Hindernis( $A_{i-1}, A_i$ ) ) THEN
  Fahrerlaubnis- $F-A_i$ 
   $F$  fährt von  $A_{i-1}$  nach  $A_i$ 
ELSE
  Verweigerung-Fahrerlaubnis- $F-A_i$ 
  GOTO Bed
ENDIF
ENDFOR
* bedeutet, dass diese Bedingung bei jedem Schleifendurchlauf voraus-
gesetzt wird.
```

Abbildung 3.9 Pseudo-Code zur Beschreibung einer Fähranfrage im Zugleitbetrieb [SIEKER 2010]

Bei der Modellierung des geschriebenen Textes des Regelwerkes sind Lücken aufgetreten, die eine vollständige formale Beschreibung verhindern. Um die Methode weiter zu prüfen, wurde das Modell mit Kommunikationsmethoden (Protokolle) erweitert und anschließend unter Annahme verschiedener Gefahrensituationen virtuell getestet.

Die Eignung der Methode konnte für ein reales Betriebsverfahren nachgewiesen und die einzelnen Prozessschritte wurden in einem sehr hohen Abstraktionsgrad nachvollzogen. Für die Praxis schlägt der Autor die Entwicklung einer neuen technischen Sicherung in Form einer kommunikationsbasierten Wegfahrsperrung vor. Da Zugleitstrecken einen geringen sicherungstechnischen Ausstattungsgrad besitzen, könnte hierfür ein verteiltes Computernetz (Fahrzeuge, Zugleiterarbeitsplatz) eingesetzt werden.

3.4 Vorschläge zur generischen Beschreibung

3.4.1 Generische Betrachtung der Betriebssicherheit [MASCHEK 2009]

Die sich verkürzenden Innovationszyklen für Bahnsysteme erfordern nach Ansicht von [MASCHEK 2009] eine Betrachtung grundlegender Prinzipien des Betriebs spurgeführter Verkehrssysteme. Beginnend mit den maßgebenden Systemeigenschaften werden erforderliche Schutzfunktionen abgeleitet, die für alle Bahnen gleich und so-

mit generisch sind. Die Umsetzung der Schutzfunktionen kann mit gewissen Technologien (z. B. Fahrstraßen-, Bahnübergangssicherung) erfolgen, die international verschieden realisiert werden können.

Die benötigten Schutzfunktionen müssen bei der Umsetzung konkreter technologischer Ausprägungen berücksichtigt werden (siehe Abbildung 3.10). Bedingt durch die Systemeigenschaften bestehen wichtige Sicherheitsziele, die unter Einbezug verschiedener systemeigener und –fremder Beteiligter eingehalten werden müssen. Dafür werden Funktionen benannt, die mögliche Gefährdungen ausschließen sollen und an Hand technischer Realisierungsbeispiele umgesetzt werden müssen.

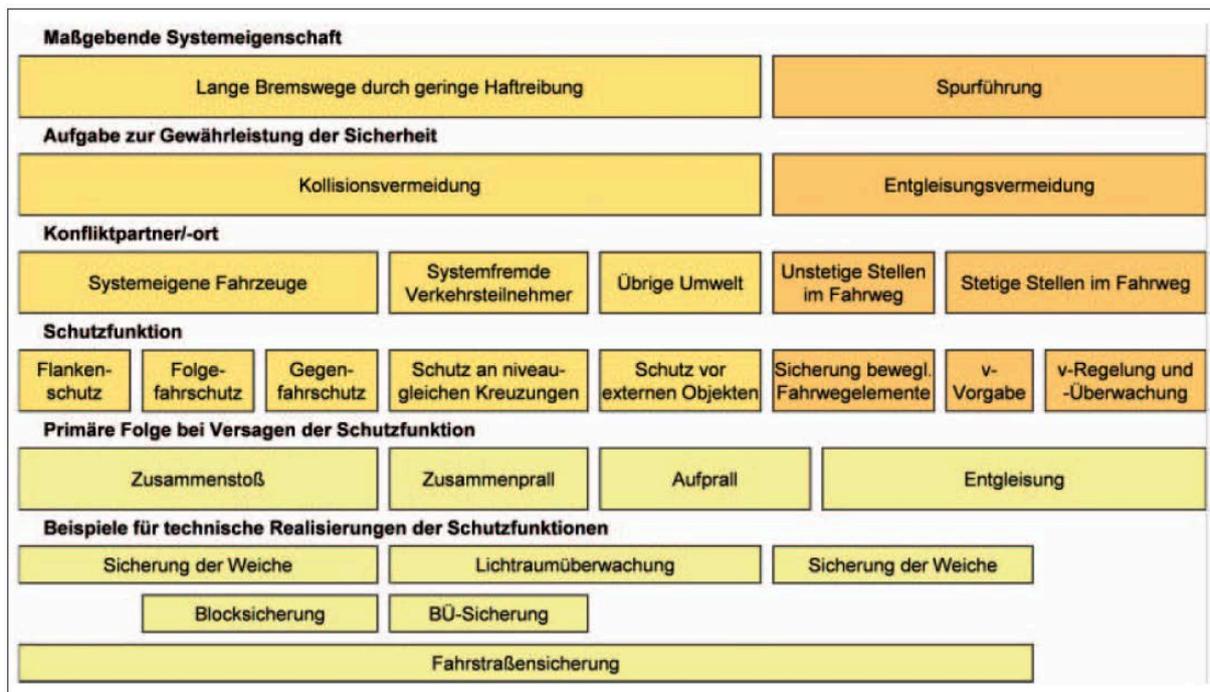


Abbildung 3.10 Schutzfunktionen und Beispiele technischer Realisierungen [MASCHEK 2009]

Das vorgestellte Modell dient der Beschreibung der Betriebssicherheit, das die Optimierung technischer Anlagen unterstützen soll. Das Modell ist erweiterbar, zum Beispiel könnten Anlagen zur Fahrzeug- oder Umweltüberwachung sowie die Leittechnik mit integriert werden.

3.4.2 Grundlagen für ein Generisches Referenzsystem für die Betriebsverfahren spurgeführter Verkehrssysteme [BOSSE 2010]

3.4.2.1 Ausgangslage und Definition

Das bisherige Fehlen einer vollständigen und zusammenhängenden generischen Definition, Auflistung und Beschreibung der Betriebsverfahren und ihrer betrieblichen Funktionen wird in [BOSSE 2010] aufgegriffen. Dabei werden vier wesentliche Gründe angeführt, warum die Notwendigkeit zur Definition eines umfassenden Referenzsystems besteht. Im Folgenden sind das

- die europaweite Angleichung der Betriebsverfahren (betriebliche Interoperabilität),
- die Vorgabe einheitlicher Sicherheitsziele mit einer gemeinsamen Definitions- und Bezugsbasis,
- die Internationalisierung des wissenschaftlichen Austauschs mit einem allgemeingültigen Grundverständnis, und daran anschließend die bisher fehlende
- Möglichkeit der Übersetzbarkeit von Fachbegriffen im sprachgrenzüberschreitenden Verkehr.

Es wird davon ausgegangen, dass die Definition und Beschreibung eines Generischen Referenzsystems mit seinen generischen Funktionen und Gefährdungen ein sehr hohes Abstraktionsniveau erfordert. Dadurch soll das gedankliche Loslösen von den bisher national, unternehmerisch und technisch geprägten Denkweisen und Betriebsverfahren möglich sein. Es werden in [BOSSE 2010] die Grundlagen für die Bestimmung der betrieblichen Funktionen entwickelt, mit denen ein Generisches Referenzsystem erstellt werden kann.

„Unter dem Begriff Generisches Referenzsystem wird [...] ein imaginäres System generischer Funktionen verstanden. Die darin enthaltenen Funktionen werden unabhängig von technischen oder regelbasierten Realisierungen und Architekturen beschrieben.“⁷⁵

⁷⁵ Zitiert aus [BOSSE 2010], Seite 15

3.4.2.2 Eignung bisheriger Systembeschreibungen

Die notwendigen Anforderungen zur Identifikation und Beschreibung generischer Funktionen sollen ausgehend von bisherigen Funktions- und Risikoanalysen bezüglich technischer (Sub-) Systeme im Eisenbahnwesen erarbeitet werden. Diese Risikoanalysen beinhalten Gefährdungen, die nach Ansicht von Bosse auf einer generisch identifizierten Basis beruhen und in Gefährdungslisten aufgeführt sind. Es werden sowohl generische Risiko- und Gefährdungslisten als auch projektspezifische Listen analysiert. Bei den allgemeinen Listen werden die Generic Hazard List for Railway Signalling der UIC, die Rail Optimisation Safety Analysis (ROSA) einer deutsch-französischen Forschungs Kooperation, die Fahrzeug-Vornorm prEN 15380-4 und die EU-Interoperabilitätsrichtlinien TSI⁷⁶ untersucht.

Weiterhin werden Risikoanalysen des bisher nicht realisierten deutschen Funkfahrbetriebes, eine Risikoanalyse für elektronische Stellwerke sowie eine Liste für ETCS verwendet. Es wird allerdings festgestellt, dass diese Listen nur teilweise oder gar nicht für die Beschreibung eines Generischen Referenzsystems geeignet sind. Sie sind teilweise systemspezifisch geprägt, decken nur bedingt den für Betriebsverfahren nötigen Funktionsumfang ab, entstammen ursprünglich anderen Anwendungsbereichen oder sind für die Erstellung einer generischen Referenz nicht entsprechend strukturiert. Daraus schlussfolgernd wird vom Autor ein Vorgehen erarbeitet, mit dessen Hilfe ein spurgeführtes Verkehrssystem definiert, seine funktionalen Strukturen abgegrenzt sind sowie notwendige Funktionen identifiziert und hierarchisch gegliedert werden können.

3.4.2.3 Anforderungen an ein Generisches Referenzsystem

Für die Beschreibung eines Generischen Referenzsystems ist es notwendig, dass eine architekturunabhängige generische Systemdefinition besteht. Das definierte System wiederum beinhaltet generische Funktionen, von denen ausgehend generische Gefährdungen identifiziert werden könnten.

Der Autor leitet ausgehend von der CSM-Recommendation der ERA⁷⁷ eine generische Systemdefinition ab und ordnet die darin enthaltenen Anforderungen so an, dass das System von außen definiert wird. Eine Definition von innen heraus würde den generischen Anspruch verletzen und ist demzufolge in dieser Form nicht möglich.

⁷⁶ Vgl. [2008/57/EG]

⁷⁷ Vgl. [ERA 2007]

Tabelle 3.2 Anforderungen für eine architekturunabhängige Systemdefinition⁷⁸

(1) Allgemeine Definition	
(1.1)	Definition des Systemziels in allgemeingültiger, realisierungsunabhängiger Form, z. B. der beabsichtigte Einsatzzweck des Systems
(1.2)	Definition allgemeingültiger Annahmen, mit denen der Betrachtungsumfang des Systemdefinitionsprozesses festgelegt wird
(2) Äußere Definition	
(2.1)	Definition der funktionalen Systemgrenze einschließlich der mit dem System in Beziehung stehenden funktionalen Nachbarsysteme
(2.2)	Definition physikalischer Grenzen nur, wenn sie allgemeingültig mit funktionalen Grenzen zusammenfallen
(2.3)	Definition der funktionalen Ein- und Ausgabe-Schnittstellen zu den mit dem System in Beziehung stehenden Nachbarsystemen
(2.4)	Definition physikalischer Schnittstellen nur, wenn sie allgemeingültig mit funktionalen Schnittstellen zusammenfallen
(3) Innere Definition	
(3.1)	Definition der Systemfunktionen ohne Bezug auf Systemarchitekturen oder sonstige Realisierungen zu nehmen

Anforderungen in Tabelle 3.2 ergeben die in Abbildung 3.11 dargestellte Graphik mit den Beziehungen des Systems zu dessen Nachbarsystemen und den abgrenzenden Schnittstellen.

⁷⁸ Vgl. in [BOSSE 2010], Seite 64, Tabelle 11

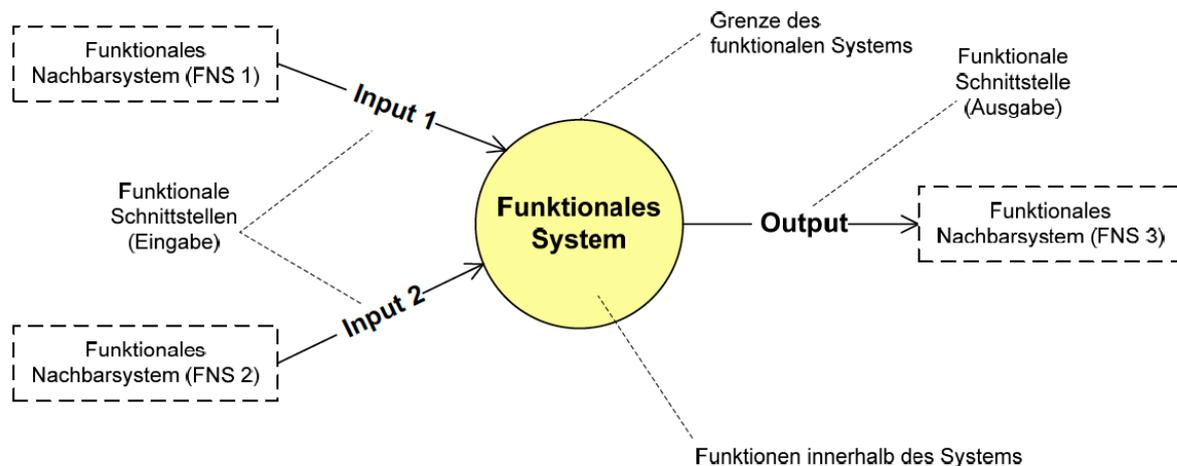


Abbildung 3.11 Beispieldarstellung einer generischen Systemdefinition

Um Funktionen generisch definieren zu können, dürfen sich aus der Definition heraus keine Rückschlüsse auf die Realisierung eines Funktionsträgers ergeben. Ein Funktionsträger darf folglich in der Begriffsbestimmung weder benannt noch darf auf diesen indirekt hingewiesen werden. Der Autor formuliert ausgehend von den Normen EN 50129 und IEC 61226, welche Anforderungen an eine Begriffsbestimmung enthalten, folgende Bedingungen für die Definition:

- „Der mit der Funktion beabsichtigte Zweck oder das zu erreichende Ziel muss formuliert werden.
- Um den Zweck/ das Ziel formulieren zu können, kann zur Abgrenzung eine Aktion/ Tätigkeit angegeben werden, mit der der Zweck/ das Ziel erreicht werden soll.
- Die Formulierung einer Aktion oder der Tätigkeit muss funktionsträgerneutral sein.
- Die Angabe eines bestimmten Funktionsträgers oder seiner Art sind unzulässig.“⁷⁹

Die generisch definierten Funktionen eines Systems unterliegen einer Fehlerwahrscheinlichkeit, die dazu führt, dass eine gewünschte Funktion nicht erfüllt oder durchgeführt werden kann. Nicht erfüllte Funktionen haben Hemmnisse oder Gefähr-

⁷⁹ Zitiert aus [BOSSE 2010], Seiten 69 und 70

dungen zur Folge, die z. B. mit der Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) untersucht werden können. Es wird die in der [EN 60812] beschriebene FMEA verwendet, welche Schlüsselwörter benutzt, um generische Gefährdungen mittels Tabellen zu identifizieren. Eine Gefährdungsanalyse mit dieser FMEA ist grundsätzlich möglich, besitzt aber für ein spurgeführtes Verkehrssystem einen relativ großen Interpretationsspielraum. Aus diesem Grund wird der Interpretationsspielraum mittels einer modifizierten Gefährdungsidentifikation neu ausgerichtet. Die FMEA wird so angepasst, dass sich drei Ebenen ergeben, in denen die Zweckbestimmung, die Funktionsausführung und die Funktionsträger betrachtet werden. Eine FMEA auf der Ebene der Zweckbestimmung kann dabei generisch, auf der Ebene der Funktionsausführung teilweise generisch und auf der untersten Ebene der Funktionsträger nicht mehr generisch durchgeführt werden.

3.4.2.4 Gewonnene Erkenntnisse

Basierend auf den ermittelten Anforderungen aus der generischen Funktionsdefinition und der generischen Gefährdungsidentifikation wird in [BOSSE 2010] ein Formular vorgestellt, mit dem systematisch die generische Referenz eines spurgeführten Verkehrssystem erstellt werden kann. Dieses Formular muss nicht zwangsläufig schriftlich verfasst werden, es kann auch als Vorlage für die elektronische Eingabe in einer Datenbank dienen.

Die wesentlichen in der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden kurz aufgelistet:

- „Eine generische Referenz für Betriebsverfahren kann und darf sich weder auf bekannte Systemarchitekturen und Systemrealisierungen noch auf die i. d. R. mit lösungsspezifischen Bedeutungen belegten Fachtermini oder andere Schlagworte stützen. [...]
- Der notwendige Verzicht auf Schlagworte und Realisierungsbeispiele führt zu einem etwas erhöhten Beschreibungsumfang je Funktion. [...]
- Die Formulierung von Funktionen als adverbiale Bestimmung des Zwecks [...] führt [...] zu eindeutig zweckbestimmten Funktionsformulierungen. [...]
- Realisierungsbeispiele werden nicht zur Definition der Funktion oder zu deren Erläuterung benötigt, sondern können optional als Referenzen angegeben

werden, um z. B. unterschiedliche Formen der Realisierung der definierten Funktion zu vergleichen. [...]

- Das Definieren einer generischen Referenz für Betriebsverfahren setzt eine umfassende Systemdefinition voraus, um die Beziehungen der Funktionen untereinander und zur funktionalen Umgebung des betrachteten Systems beschreiben zu können. [...]
- Die Identifizierung gefährlicher Ergebnisse wird für die Definition der generischen Referenz nicht unmittelbar benötigt.⁸⁰

In [BOSSE 2010] werden die Grundlagen für die Definition einer generischen Referenz für die betrieblichen Funktionen eines spurgeführten Verkehrssystems geschaffen. Es wird die Machbarkeit mit dem Entwurf einer Liste von betrieblichen Funktionen zur Fahrwegsicherung demonstriert. An diese Arbeit schließen sich die weitere Validierung im internationalen Kontext, die vollständige Auflistung betrieblicher Funktionen und die damit verknüpften Prozesse an. Damit sollte es möglich sein, ein Musterbetriebsverfahren zu entwickeln, das die Weiterentwicklung der betrieblichen Interoperabilität wesentlich unterstützt.

3.5 Fazit zum aktuellen Stand der Forschung

Die Problematik der Harmonisierung von Regelwerken ist bekannt und wird am Beispiel der betrieblichen Wiedervereinigung in Deutschland dokumentiert [DÖLP 2002]. In ähnlicher Art und Weise sind die dabei aufgetretenen Hemmnisse auch in der LST zu beobachten [PACHL 2008][SCHÖNE 2011]. Die technologische Weiterentwicklung wird in Zukunft fortschreiten, so dass eine harmonisierte FDV stetig angepasst werden muss. Dabei kann es durchaus als notwendig erscheinen, althergebrachte Denk- und Handlungsweisen aufzulösen und durch neue Strukturen zu ersetzen. So schlägt [PACHL 2004] eine neue Systematik der Betriebsverfahren vor, welche die Betriebsführung mit mehrheitlich zentraler Fahrdienstleitung unterstützt.

Eine wichtige Arbeit ist die generische Modellierung der LST von [MEYER 2004], welche u. a. formale Beschreibungsmittel verwendet. Es werden allerdings nur technische Realisierungen betrachtet. Unter dem Gesichtspunkt der Automatisierung kann hiermit ein Bahnsystem modelliert werden, die eigentlichen generischen Be-

⁸⁰ Zitiert aus [BOSSE 2010], Seiten 126 - 128

triebsprozesse lassen sich im Referenzmodell von [MEYER 2004] nur bedingt nachvollziehen. Der vorgestellte Ansatz wird berücksichtigt, lässt sich aber für die weitere Entwicklung einer realisierungsunabhängigen, generischen Beschreibung nicht ohne zusätzliche Anpassungen verwenden.

Die Beschreibung von Eisenbahnbetriebsregeln mit Hilfe eines formalen Beschreibungsmittels wurde von [LAHLOU 2007] publiziert. Leider sind die darin dargestellten Prozesse nicht generisch und es sind auch keine weiterführenden Arbeiten und Ergebnisse bekannt. Hier besteht eine Lücke in der wissenschaftlichen Arbeit, welche nach Ansicht des Verfassers durch die generische Beschreibung der Betriebsprozesse geschlossen werden könnte.

Die Eignung formaler und semiformaler Beschreibungsmittel (UML, SysML, Pseudo-Code) konnte in bisherigen Veröffentlichungen nachgewiesen werden und wurde in Teilgebieten der LST getestet [KNOLLMANN 2007][EICKMANN 2008][SIEKER 2010]. Eine umfassende und generische Beschreibung der Schutzfunktionen der LST wurde von [MASCHEK 2009] veröffentlicht. Es wird dabei von den fundamentalen Systemeigenschaften ausgegangen und über mehrere Stufen Schutzfunktionen abgeleitet, die in allgemein formulierten technischen Anlagen realisiert werden. Die Methodik und die gewonnenen Erkenntnisse werden als wesentlich angesehen und sollen im weiteren Verlauf dieser Arbeit mit berücksichtigt werden. Trotz einer Vielzahl von Auflistungen, Beschreibungen und Modellen fehlen nach Ansicht von [BOSSE 2010] immer noch vollständige und zusammenhängende generische Definitionen, Auflistungen und Beschreibungen von betrieblichen Verfahren und Funktionen. Daraufhin wurde eine Methodik entwickelt, die die Herleitung eines Generischen Referenzsystems für die Eisenbahn ermöglicht.

Aus diesem Grund soll an die Arbeit von [BOSSE 2010] angeknüpft werden und ein Generisches Referenzsystem Eisenbahn hergeleitet werden, für das generische Betriebsprozesse mit Hilfe eines geeigneten Beschreibungsmittel erstellt werden können.

4 Forschungsfragen und Hypothesen

4.1 Forschungsfrage

Wie in Kapitel 1.2 bereits erörtert, soll das Ziel dieser Arbeit sein, die Möglichkeit der Harmonisierung von Fahrdienstregeln in Fahrdienstvorschriften zu untersuchen. Dabei kann im Wesentlichen an die Arbeit von [BOSSE 2010] angeknüpft werden und ein generisches Referenzmodell entwickelt werden. An Hand dessen sollen anschließend generische Betriebsprozesse beschrieben werden. Ähnlich wie bei [MA-SCHEK 2009] kann man von den maßgebenden Systemeigenschaften ausgehen und generische Betriebsprozesse ableiten, welche die Umsetzung der TSI-Richtlinien unterstützen können.

Es wird daher folgende Forschungsfrage formuliert:

Können auf Grundlage der fundamentalen Eigenschaften des Eisenbahnverkehrs einheitliche Regeln definiert und beschrieben werden, mit denen ein harmonisiertes, europaweites Regelwerk für Betriebsverfahren erstellt werden kann?

Diese Frage lässt sich in einzelne Teilfragen untergliedern, mit deren Beantwortung der Lösungsraum eingegrenzt werden kann.

1. Welche Eigenschaften können als fundamentale Eigenschaften des Eisenbahnbetriebs identifiziert werden?
2. Welche Prozesse sind notwendig und wie grenzt sich Eisenbahnbetrieb gegenüber anderen unternehmerischen Prozessen ab?
3. Auf welcher Interaktionsebene müssen betriebliche Regeln für den interoperablen Betrieb harmonisiert werden?
4. Welche Methoden der Beschreibung komplexer Systeme existieren und welche Form lässt sich für die Beschreibung des Eisenbahnbetriebs verwenden?

Die Teilfragen sollen nachfolgend näher untersucht werden und mit vorläufigen Antworten in Form von Hypothesen beantwortet werden.

4.2 Fundamentale Eigenschaften des Eisenbahnverkehrs

Welche Eigenschaften können als fundamentale Eigenschaften des Eisenbahnbetriebs identifiziert werden?

Die Eisenbahn wird durch zwei wesentliche Eigenschaften gekennzeichnet [PACHL 2011]:

- Lange Bremswege durch geringe Haftreibung
- Spurführung

Daraus ergibt sich die Möglichkeit zur Bildung langer und schwerer Züge, die mit hohen Geschwindigkeiten bei einem geringen, spezifischen Energieverbrauch fahren können. Diese Züge besitzen eine große kinetische Energie, deren Entfaltung bei einem Unfall durch ein großes Schadensausmaß sichtbar werden kann. Dabei können sich Kollisionen mit systemeigenen und systemfremden Verkehrsteilnehmern sowie systemfremden Objekten, wie Bäumen oder Lawinen, ereignen. Dadurch ergeben sich die folgenden Schutzfunktionen: Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutz; Schutz an niveaugleichen Kreuzungen und Schutz vor übrigen Objekten [MASCHEK 2012].

Ein langer Bremsweg hat zur Folge, dass dieser nicht vom Fahrzeugführer überschaubar ist, auch wenn der Fahrweg bis zu einem Gefahrpunkt geradlinig verläuft. Eine sichere Entfernungsabschätzung zur Vermeidung von Kollisionen kann nicht gewährleistet werden, es sei denn, die Geschwindigkeit wird stark herabgesetzt. Zu niedrige Fahrgeschwindigkeiten sind dagegen nicht wettbewerbsfähig und widersprechen dem Zweck eines Transportmittels.

Der Fahrzeug-Fahrwegkontakt Stahl-Stahl erfordert die Bewegung der Räder auf Schienen. Da ein Schienenfahrzeug nicht abseits seines vorgesehenen Fahrweges verkehren kann und ein flächiger Stahlfahrweg unökonomisch ist, ist die Führung der Fahrzeuge auf Schienen notwendig. Die Spurführung erlaubt weiterhin einen sehr sicheren Lauf. Bei „Verlust der Spurführung resultieren unkontrollierte, gefährliche Bewegungen des Schienenfahrzeugs, die oft mit dem Verlassen des gesicherten Lichtraumes und möglicherweise anschließenden Kollisionen einhergehen.“⁸¹

⁸¹ Zitat aus [MASCHEK 2012], Seite 9

Diese Eigenschaften sind bei allen Eisenbahnen anzutreffen und erlauben den Rückschluss, dass die physikalischen Gesetzmäßigkeiten zur sicheren Fortbewegung gleich sind.

Ausgehend von den physikalischen Charakteristiken lassen sich typische Verkehrsfunktionen für Eisenbahnen schlussfolgern. Für eine ausführliche Herleitung wird an dieser Stelle auf die allgemeine, systembeschreibende Literatur sowie die der Betriebsführung und –sicherung verwiesen.⁸²

Verkehrsfunktion Eisenbahnverkehr allgemein

- Massenverkehrsmittel für große Personen- und Güterströme

Verkehrsfunktionen Personentransport

- Fernverkehr mit hoher durchschnittlicher Reisegeschwindigkeit
- Nahverkehr mit kurzen Halteabständen
- Stadtverkehr mit beschleunigungsstarken Zügen und kurzen Halteabständen

Verkehrsfunktionen Gütertransport

- Ganzzugverkehr
- Wagenladungsverkehr
- Einzel-/ Kleingutverkehr
- Kombiniertes Ladungsverkehr

Neben diesen Hauptfunktionen existieren zahlreiche Misch-, Sonder- und Hilfsfunktionen⁸³ für Eisenbahnen, welche nur einen kleinen Anteil an der Verkehrsleistung haben und an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

Die betrieblichen Regeln umfassen Funktionen der Verkehrssicherung und -durchführung, so dass bei gleichen Funktionen auch gleiche betriebliche Regeln ableitbar sein müssen.

⁸² Siehe [BERNDT 2001], [JANICKI 2011], [LÜBKE 2008], [MASCHEK 2009], [PACHL 2011]

⁸³ Z. B. Postverkehr, Bau- und Instandhaltungsverkehr, Militärische Funktionen

Hypothese:

Es gibt fundamentale Eigenschaften, die für alle Eisenbahnen zutreffen.

4.3 Definition und Abgrenzung von Eisenbahnbetriebsprozessen

Welche Prozesse sind notwendig und wie grenzt sich der Eisenbahnbetrieb gegenüber anderen unternehmerischen Prozessen ab?

Die Eisenbahnbetriebslehre ist ein „Wissenschaftsgebiet, das technolog., physikal.-techn., techn.-ökonom. und kybernet. Probleme der Ortsveränderung von Personen u. Gütern mit Eisenbahnfahrzeugen [...] untersucht. Hauptaufgaben:

- a) Ausarbeitung von allg. Betriebsgrundsätzen (z. B. Betriebsvorschriften)
- b) Untersuchung baul. Anlagen u. Fahrzeuge auf betriebl. Eignung
- c) Ausarbeitung von Grundsätzen für Planung u. Leitung des Eisenbahnbetriebsdienstes (z.B. Fahrplangestaltung).“⁸⁴

Die Eisenbahnbetriebslehre oder –wissenschaft betrachtet die Prozesse des Eisenbahnbetriebes vielfach unter dem Gesichtspunkt der Leistungsuntersuchung, um Kennwerte für die optimale Ausnutzung der Betriebsmittel zu erarbeiten. Begründet wurde dies in der Verkehrsströmungslehre durch [POTTHOFF 1980].

In dieser Arbeit sollen unter Eisenbahnbetrieb die allgemeinen Betriebsgrundsätze zusammengefasst werden, die als Eisenbahnbetriebsprozesse die unmittelbare Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Schienenfahrzeugfahrten durch die Mitarbeiter der Eisenbahnunternehmen ermöglichen. Ausgangspunkt ist ein vollständiger Produktionsauftrag,⁸⁵ dessen Ausführung die Bewegung von Schienenfahrzeugen entsprechend des Auftrages zur Folge hat.

Die FDV der Deutschen Bahn definiert Bahnbetrieb wie folgt: „Bahnbetrieb ist das Bewegen von Fahrzeugen. Zum Bahnbetrieb gehören das Fahren von Zügen und das Rangieren.“⁸⁶ Die fundamentalen Eigenschaften der Eisenbahn (Spurführung, langer Bremsweg) erlauben es einem Zug nicht (auch bei einer geringen Anzahl wei-

⁸⁴ Zitat aus [ADLER 1990], Seite 224

⁸⁵ Bei öffentlichen Bahnen meist in Form eines Fahrplans

⁸⁶ Zitat aus [DB408 2012], Modul 408.0101, Seite 1

terer Züge im Netz), sich so weit selbst zu organisieren, dass er sicher und konfliktfrei seinen Produktionsauftrag erfüllen kann. Ausnahme wäre ein Zug in einem eigenen Netz, in dem keine weitere gleichzeitig stattfindende Zugfahrt möglich ist. Somit ist es immer notwendig, dass die Infrastruktur einem Zug einen freien Fahrweg zuweist und diesen während der Fahrt bis zu einem definierten Zielpunkt sichert.

Prinzipiell bedarf es für die Interaktion der Zugfahrten untereinander sowie zwischen Zugfahrt und Infrastruktur Regeln, die einen sicheren und konfliktfreien Verkehr ermöglichen. Diese Regeln können in unterschiedlichen Abstufungen betrachtet werden. Es muss Regeln geben, die die Systemeigenschaften berücksichtigen und netzweit gelten, und es muss Regeln geben, die nur Teilaspekte wie besondere Fahrzeugeigenschaften oder regionale Besonderheiten einbeziehen. Gleiches gilt auch bei Berücksichtigung des Sicherheitsaspektes. Regeln, die ein hohes Maß an Sicherheit erfordern, müssen uneingeschränkt und umfassend gelten. Regeln mit einem niedrigen Sicherheitsmaß können auch in einem gewissen Toleranzrahmen der aktuellen betrieblichen Situation angepasst werden. Es lässt sich daraus folgende Hypothese ableiten:

Auf Grund der mangelnden Selbstorganisationsfähigkeit von Zugfahrten müssen einheitliche Regelungen existieren, die Konflikte sicher und zügig lösbar gestalten.

4.4 Harmonisierungsumfang

Auf welcher Interaktionsebene müssen betriebliche Regeln für den interoperablen Betrieb harmonisiert werden?

Die heute verwendeten FDV der DACH-Staaten entstammen in ihrem Ursprung noch denen der integrierten Staatsbahnen, die jeweils die größten Bahnunternehmen im Land darstellten. Mit der Liberalisierung des Bahnverkehrs in Europa wird das Ziel verfolgt, unterschiedlichen Verkehrsunternehmen das Befahren verschiedener Netze zu ermöglichen.

Die FDV der integrierten Bahnen umfassen Regelungen für alle Mitarbeiter, die direkt am Bahnbetrieb beteiligt sind. Eine FDV enthält sowohl Anweisungen für mobiles Personal auf den Zügen als auch für örtliches Personal auf den Bahnhöfen und entlang der Strecke. Mit der Trennung zwischen Verkehr (EVU) und Infrastruktur (EIU)

ist eine bisherige FDV faktisch unternehmensübergreifend und eine Aufteilung der Regeln nach Anwenderkreis bietet sich an [PACHL 2012].

Betriebliche Regeln können in zwei Gruppen aufgeteilt werden: Regeln für mobile Mitarbeiter und für örtliche Mitarbeiter. Dabei sind Regeln, die nur die örtlichen Mitarbeiter betreffen, nicht zwingend zu harmonisieren, da auch unternehmens-(netz-)übergreifende Prozesse im Rahmen der örtlichen Einweisung in den Arbeitsplatz speziell mitgeteilt werden können. Mobiles Eisenbahnpersonal wechselt während der Dienstausbung ständig den Ort, so dass deren Prozessregeln zu harmonisieren sind. Ausnahmen bilden hier Regeln, die keine Auswirkung auf andere Mitarbeiter haben können und rein unternehmensintern festgelegt werden dürfen. Bei der Harmonisierung müssen folgende Prozessschnittstellen berücksichtigt werden:

- Schnittstelle Verkehr – Infrastruktur
- Schnittstelle Verkehr – Verkehr

Einhergehend mit der Abschätzung des Harmonisierungsumfangs muss ebenfalls die Detailtiefe berücksichtigt werden. Grundregeln, die netzweit gelten, da sie die maßgebenden Systemeigenschaften berücksichtigen, sind definitiv zu vereinheitlichen. Regeln, die sich nur auf Sonderfälle beziehen, können nach Prüfung ebenfalls vereinheitlicht werden. Sollen Prozesse in einer Form beschrieben werden, die sich auf Besonderheiten wie bspw. die örtliche Gleistopologie, die technische Ausrüstung der Strecke oder auf Fahrzeugbaureihen beziehen, so muss der Anspruch der generischen Beschreibung überprüft werden. Ist eine Beschreibung nicht möglich, so ist die Detailtiefe für den Prozess bereits zu weit fortgeschritten und kann nicht mit berücksichtigt werden.

Bezüglich des Harmonisierungsumfangs wird folgende Hypothese formuliert:

Die Harmonisierung findet in einem Umfang statt, der alle netzweit geltenden Regeln mit Schnittstellen zu mobilem Personal betrifft und ohne konkreten Bezug zu Realisierungsformen beschrieben werden kann.

4.5 Beschreibungsform von Eisenbahnbetriebsprozessen

Welche Methoden der Beschreibung komplexer Systeme existieren und welche Form lässt sich für die Beschreibung des Eisenbahnbetriebes verwenden?

Für komplexe Systeme existiert eine Vielzahl an Methoden und Instrumenten, um die darin ablaufenden Prozesse anschaulich und vermittelbar zu gestalten. Bei der Beschreibung der betrieblichen Prozesse von Bahnsystemen kam bisher meist nur die ausformulierte Textform, unterstützt von Graphiken oder Tabellen, zur Anwendung. Da die betrieblichen Regeln vorwiegend vom fachlich ausgebildeten Personal des jeweiligen Teilnetzes gebraucht wurden, war eine allgemeine, interoperable Gestaltung nicht zwingend. Die Weiterentwicklung der Regeln erfolgte in einem Teilnetz (Nationalstaat) weitestgehend autonom und unterlag den Vorstellungen der jeweiligen Netzbetreiber. Das steht aber im Widerspruch zur gewünschten betrieblichen Interoperabilität, die den Zugang unterschiedlicher Nutzer zu einem Netz ermöglichen soll.

Der Kern betrieblicher Regeln muss sich an den Systemeigenschaften orientieren, da anderenfalls ein sicherer und flexibler Betrieb nicht möglich ist. Die funktionalen Anforderungen an ein Bahnsystem sind aber makroskopisch gesehen gleich und unterscheiden sich erst auf darunterliegenden Interaktionsebenen. Die Stärke der Abweichung wird dabei von den jeweiligen Sicherheits- und Qualitätsvorstellungen geprägt.

Wenn der Kern der betrieblichen Regeln einheitlich ist, da er auf den Systemeigenschaften beruht, dann ist auch die Formulierung und Beschreibung einheitlicher Grundbegriffe in einem Glossar möglich. Diese Grundbegriffe können dann in einer Beschreibungsmethode verwendet werden, die sowohl verbale als auch graphische Elemente besitzt und die die Prozesse zur Durchführung von Fahrten beschreibt. Daraus wäre die Ableitung in eine natürliche Sprache möglich, die vollständig ausformuliert für den tatsächlichen Gebrauch bestimmt ist. Gleichzeitig wäre auch die Übersetzbarkeit zwischen verschiedenen natürlichen Sprachen gegeben und nicht wie bisher an eine bestimmte Sprache gebunden. Es lässt sich folgende Hypothese schlussfolgern:

Die Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen ist basierend auf einem einheitlichen Glossar interoperabel möglich und zwischen natürlichen Sprachen übersetzbar.

5 Forschungsmethodik

5.1 Einleitung

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfrage und zur Überprüfung der Hypothesen vorgestellt. Je nach Forschungsfrage können unterschiedliche Methoden und Beschreibungsmittel eingesetzt werden. Insbesondere das komplexe Verständnis des Systems Engineering und die damit verbundenen Verfahren werden im entsprechenden Maße vorgestellt.

5.2 Auswahl des Beschreibungsmittels

Die bisherige Beschreibungsform der Eisenbahnbetriebsprozesse birgt Risiken im gemeinsamen Verständnis, welches jedoch für generische Bahnbetriebsprozesse unabdingbar ist. Wie bereits in Kapitel 3.3 gezeigt wurde, können für komplexe soziotechnische Systeme neben natürlichen Sprachen auch formale und semiformale Sprachen als Beschreibungsmittel verwendet werden.

Bisher werden die Prozesse des Eisenbahnbetriebs üblicherweise in natürlichen Sprachen mit ausformulierten Texten, Skizzen und Matrizen beschrieben. Teilweise werden auch morphologische Strukturen verwendet, die graphische Elemente beinhalten und Satzstrukturen mit Entscheidungsfunktionen haben.⁸⁷ Die natürlichen Sprachen haben den Vorteil, ein sehr großes Variationsspektrum zu besitzen. Dadurch können Sachverhalte sehr detailliert beschrieben werden. Es kann aber auch der Nachteil auftreten, dass die Kernaussagen auf Grund mangelnder Interpretationskenntnis oder –möglichkeit nicht direkt erkannt werden und der inhaltliche Vergleich erschwert wird.

⁸⁷ Morphologische Strukturen werden bspw. in [FDV D 2012], Modul 408.0231, verwendet.

Formale Sprachen sind im Vergleich zu natürlichen Sprachen völlig gegensätzlich und erlauben eine sehr direkte und präzise Beschreibung von Fakten. Das ist besonders dann von Vorteil, wenn exakte Aussagen gefordert werden, wie z. B. in der Mathematik, der Informatik, der Logik⁸⁸ oder bei der Beschreibung rein technischer Systeme. Für die Beschreibung eines sozio-technischen Systems wie dem Eisenbahnbetrieb sind formale Sprachen zu abstrakt. Es wird angenommen, dass die dargestellten Aussagen schwer vermittelbar und nur für einen speziellen Expertenkreis nachvollziehbar sind.

Für die generische Beschreibung der Prozesse müssen funktionale Kernelemente herausgearbeitet werden und miteinander vergleichbar sein. Es besteht dementsprechend keine Notwendigkeit zu einer besonders stark detaillierten Beschreibung. Eine semiformale Sprache bietet den Vorteil, Aussagen entsprechend den Vorgaben ihrer Syntax und Semantik mit graphischen und natürlich-sprachlichen Elementen (Textform) zu beschreiben. Die Beschreibung in einer semiformalen Sprache sollte die schnelle und folgerichtige Darstellung von Aussagen für einen erweiterten Kreis von Fachexperten ermöglichen. Auf Grundlage einer semiformalen Beschreibungsform kann eine ausformulierte Variante in natürlicher Sprache für die praktische Anwendung erstellt werden.

Vor dem Einstieg in die Betriebsprozesse mit der Herausarbeitung der fundamentalen Eigenschaften werden verschiedene Beschreibungsmittel untersucht und die Auswahl für eine geeigneten Sprache in Kapitel 6 getroffen.

5.3 Methoden des Systems Engineering

5.3.1 Definition Systems Engineering

Das Systems Engineering ist eine Disziplin, die Methoden verschiedener anderer wissenschaftlicher Richtungen miteinander verbindet und die Planung eines strukturierten Lebenszyklusprozesses für ein System ermöglicht. Zur Erfüllung bestimmter Anforderungen an das System werden dabei neben technischen Aspekten auch wirtschaftliche Gesichtspunkte mit berücksichtigt. Systems Engineering wird in [WEILKIENS 2006] wie folgt definiert:

⁸⁸ „Heute wird Logik fast ausschließlich als formale Logik betrieben. Das bedeutet, dass sich die Logik nur mit denjenigen Schlüssen beschäftigt, die allein aufgrund ihrer Form, das heißt ihres Aufbaus durch die logischen Partikel, gelten – unabhängig von den sachlichen Inhalten.“ [BROCKHAUS 2014]

„Das Systems Engineering konzentriert sich auf die Definition und Dokumentation der Systemanforderungen in der frühen Entwicklungsphase, die Erarbeitung eines Systemdesigns und die Überprüfung des Systems auf Einhaltung der gestellten Anforderungen unter Berücksichtigung des Gesamtproblems: Betrieb, Zeit, Test, Erstellung, Kosten & Planung, Training & Support und Entsorgung.“⁸⁹

Im Bereich der Software-Entwicklung wird der Begriff Systems Engineering folgendermaßen bestimmt:

„Die Zielsetzung des Systems Engineering [...] bietet einen Ansatz zur Produktentwicklung in einem Systemkontext. [...] Es umfasst die Aufgaben aller organisatorischen Einheiten und des gesamten Unternehmens- und Projektpersonals zur Vervollständigung eines qualitativen, wettbewerbsfähigen Produkts, das marktfähig ist, das eine akzeptablen Investitionsrendite für das Unternehmen bietet, das Teilhaber zufriedenstellt und das auf öffentliche Erwartungen trifft.

Das grundlegende Systems Engineering-Ziel ist das Anbieten von hochwertigen Produkten und Dienstleistungen mit den korrekten Personen- und Leistungsfunktionen zu einem anstrengswerten Preis und im vorgegebenen Zeitrahmen. Das beinhaltet die Entwicklung, die Herstellung, das Testen und die Unterstützung für integrierte Produkteinheiten [...] und Prozesse [...].“⁹⁰

5.3.2 Systems Engineering bei Verkehrssystemen

Das Systems Engineering stellt demzufolge Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, mit denen komplexe Probleme eines Systems gelöst werden sollen. Dabei muss dieses System nicht zwingend technischer Natur sein, sondern es kann sich hierbei auch um ein sozio-technisches System, wie zum Beispiel einem Transportsystem, handeln [ZÜST 2004]. Bei einem öffentlichen Transportsystem müssen technische Komponenten (Fahrzeuge, Infrastruktur) mit humanen Gliedern (Fahrgäste, Güterkunden, Mitarbeitern) über Schnittstellen (Fahrplan, Tarif, Betriebsregeln) interagieren, um einen Transportprozess zufriedenstellend abwickeln zu können. Da in dieser Arbeit kein komplettes System neu entworfen wird, werden lediglich die Bestandteile der Prozessanalyse und –beschreibung auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht.

⁸⁹ Zitat aus [WEILKIENS 2006], Seite 11, basierend auf [INCOSE 2004]

⁹⁰ Übersetzung aus dem Englischen, [ISO/IEC 26702], Seite IV

Für die Analyse von Prozessen bietet sich zur besseren Übersichtlichkeit die Abstraktion der Prozessabläufe an. Es ist nicht unbedingt erforderlich, jeden Prozess bis ins kleinste Detail zu beschreiben, um ein System überschauen oder grundlegende Eigenschaften erkennen zu können. Es wird angenommen, dass für die generische Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen eine vereinfachte Abbildung der Betriebsabläufe ausreichend ist. Da es sich bei einer Eisenbahn um ein soziotechnisches System handelt, deren Produkt die Abwicklung eines Transportprozesses ist, könnten Diagramme und Notationen der Geschäftsprozessmodellierung die Beschreibung unterstützen. Weiterhin stellt die Informationstechnologie Beschreibungswerkzeuge zur Verfügung, mit denen (Geschäfts-) Prozesse modelliert werden können, um anschließend passende Softwareanwendungen erstellen zu können. Es bestehen somit gewisse Verbindungen zwischen der Informationstechnologie und dem Geschäftsprozessmanagement [SCHMELZER 2008].

Bei der Auswahl der Werkzeuge, mit denen Geschäfts- oder Informationsprozesse abgebildet werden können, ist der gewählte Blickwinkel von Bedeutung. Damit die Vielzahl an Entwicklungsmethoden, insbesondere in der Informationstechnologie, sich nicht gegenseitig behindern, sondern optimal eingesetzt werden können, hat [SCHEER 1992] mit ARIS (Architektur integrierter Informationssysteme) eine Methodologie für die Softwareentwicklung vorgeschlagen. ARIS soll als allgemeingültige Empfehlung verstanden werden, bei der unterschiedliche Sichtweisen auf Prozessabläufe zur Anwendung kommen. Das Informationsmodell von ARIS kennt die vier wesentlichen Sichtweisen der Organisations-, der Daten-, der Steuerungs- und der Funktionssicht. Dabei ist der Begriff „Funktion“ in der Funktionssicht am besten mit dem Begriff „Vorgang“ zu vergleichen. Die Funktionssicht ist demnach in ARIS geeignet, um Vorgangs- oder Prozessketten abbilden zu können.

5.3.3 Modellierungsperspektiven

Die große Komplexität von Systemen lässt meist keine vollständige Beschreibung in einer einzelnen Graphik zu. Deshalb müssen für Systeme häufig Teilmodelle erstellt werden, die in verschiedenen Diagrammen beschrieben werden. Dazu hat [SPECKER 2005] die Aspekte der ARIS-Sichtweisen in der folgenden Matrix zweidimensional zusammengestellt.

Tabelle 5.1 Matrix der Modellierungsmethoden [SPECKER 2005]

primär sekundär	Prozesssicht	Funktionssicht	Objektsicht	Aufgabensicht
Prozesssicht	Prozessmodell	Funktionen-Blockdiagramm	Zustandsübergangdiagramm	Stellenorientierter Informationsfluss
Funktions-sicht	Flussdiagramm	Funktionsmodell	Class-Responsibilities-Collaborators	Stellenfunktionen-diagramm
Objektsicht	Sequenzdiagramm	Datenflussdiagramm	Objektmodell	Arbeitsobjektdiagramm
Aufgaben-sicht	Stellenorientiertes Ablaufdiagramm	Use-Case-Diagramm	Kollaborationsdiagramm	Organisationsmodell

Im Unterschied zum ARIS-Modell wird hier die Datensicht durch die Objektsicht ersetzt. Die Aspekte der vier Sichtweisen in Tabelle 5.1 werden vom Autor wie folgt definiert [SPECKER 2005]:

„Die **Prozesssicht** betrachtet ein sozio-technisches System unter dem Gesichtspunkt der sachlogischen und zeitlichen Abfolge der Operationen. [...] Prozesse sind zusammengehörige und in sich relativ geschlossene Einheiten von Operationenabfolgen der unterschiedlichen Systemniveaus. [...]

Die **Funktionssicht** betrachtet ein sozio-technisches System unter dem Gesichtspunkt der Verwandtschaft und Ähnlichkeit der Elementarfunktionen. [...] Funktionen sind zusammengehörige und in sich relativ geschlossene Einheiten von verwandten und ähnlichen Elementarfunktionen der unterschiedlichen Systemniveaus. [...]

Die **Objektsicht** betrachtet ein sozio-technisches System unter dem Gesichtspunkt der ihm zugrunde liegenden Bearbeitungselemente. [...] Objekte sind zusammengehörige und in sich relativ geschlossene Einheiten von Bearbeitungselementen der unterschiedlichen Systemniveaus. [...]

Die **Aufgabensicht** betrachtet ein sozio-technisches System unter dem Gesichtspunkt der stellen- bzw. personenbezogenen Zuordnung der Operationen. [...] Aufgaben sind zusammengehörige und in sich relativ geschlossene Einheiten von Stellen zugeordneten Operationen der unterschiedlichen Systemniveaus.“⁹¹

⁹¹ Zitat aus [SPECKER 2005], Seite 35

Es wird angenommen, dass die hier aufgeführten Definitionen für die Objekt- und Aufgabensicht sich bereits auf konkrete Realisierungsvorschläge beziehen, wie Objekte als geschlossene Einheiten oder auf konkrete personenbezogene Aufgaben. Solche Sichtweisen lassen nach [BOSSE 2010] keine generische Beschreibung zu. Deshalb wird im weiteren Verlauf der Schwerpunkt bei der Auswahl der Diagrammtypen auf denen der Prozess- und Funktionssicht liegen.

Auf Grund der großen Anzahl bisher entwickelter Methoden für die Darstellung und Modellierung von Geschäftsprozessen ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten zur Anwendung. Dabei kann eine Methode zur Lösung einer bestimmten Aufgabe sehr gut geeignet sein, bei einer anderen Aufgabe jedoch Nachteile aufweisen. Eine zusätzliche Randbedingung ist die Eignung des Anwenders für eine bestimmte Methode. Somit ist es an sich nicht sinnvoll, eine Rangordnung für die Anwendbarkeit der Modellierungsmethoden zu erstellen [SCHÖNSLEBEN 2001].

5.3.4 Verwendung des Systems Engineering

Die Eisenbahn ist ein komplexes Produktionssystem, welches sich nicht nur flächenmäßig über große Räume erstreckt, sondern deren Produktionsmittel sich ständig bewegen. Es ist deshalb notwendig, dass über die gesamte Arbeit der allgemeine Systemkontext berücksichtigt wird und Sonderlösungen keine Grundlage für die Beschreibung bilden. Die Methoden des Systems Engineering werden nicht auf die Beantwortung einer einzelnen Forschungsfrage bezogen, sondern stellen das generelle Vorgehen bei der Lösungsfindung dar. Mehrheitlich sind dies die Abstraktion des Systemkontext mit der daraus folgende Modellierung allgemeiner Prozessabläufe aus der Prozess- oder Funktionssicht.

Im nachfolgenden Kapitel wird auf die Herleitung und die Testanwendung der generischen Prozesse näher eingegangen, deren Entwicklung im System Eisenbahn erfolgt.

5.4 Methodik zur Ableitung generischer Eisenbahnbetriebsprozesse

In Europa werden seit mehr als 175 Jahren Eisenbahnnetze betrieben und haben sich entsprechend der jeweiligen technischen Ausgestaltung mit den hierfür verwendeten Regeln vielfältig entwickelt. Wie bereits in Kapitel 2.1.6 und Kapitel 2.2 festgehalten wurde, haben sich umfangreiche und differenzierte Regelwerke herausgebildet, deren gegenseitiges Verständnis nicht eindeutig sichergestellt ist. Die Herleitung

der generischen Prozesse in einem Top-Down-Prozess, in dem die verschiedenen FDV auf gemeinsame Inhalte untersucht und verglichen werden, erscheint auf Grund der hohen Variabilität natürlich-sprachlicher Regelwerkstexte als sehr schwierig und aufwändig. Weiterhin kann nicht sichergestellt werden, dass ohne gemeinsame Terminologie die wesentlichen Grundsätze richtig herausgearbeitet werden können und eine erfolgreiche Harmonisierung möglich ist. Es wird angenommen, dass auf diesem Weg keine generische Basis gebildet werden kann.

Die gegenläufige Methode besteht hierbei in einem Bottom-Up-Prozess, in dem von einheitlichen, charakteristischen Eigenschaften der Eisenbahn ausgegangen und durch iterative Erweiterung ein Bahnsystem entwickelt wird, welches generisch ist, in dem jedoch alle wesentlichen Transportfunktionen modellierbar und nachvollziehbar sind. Die dadurch gebildeten generischen Prozesse können anschließend für reguläre und besondere betriebliche Situationen überprüft werden.

In jedem Eisenbahnsystem erfolgt die Bewegung von Fahrzeugen nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten und benötigt neben einer befahrbaren Infrastruktur auch fahrbare Transportgefäße. Es besteht eine Grundgesamtheit an Produktionsmitteln, welche generisch sind und in jedem Bahnnetz anzutreffen sind. Es wird eine Grundmenge an Betriebsmitteln benannt, mit denen die Erfüllung von Transportaufgaben theoretisch möglich ist. Unter einer sehr abstrakten Sichtweise sind dies eine bestimmte Anzahl an Zügen, welche sich auf einem weit verzweigten Gleisnetz gleichzeitig bewegen.

Auch unter der Annahme, dass alle Züge wie im Straßen- oder Schiffsverkehr individuell verkehren, müssen Verhaltensregeln existieren um die Sicherheit und den Vorrang der einzelnen Fahrten zu garantieren. In Kapitel 7.5 werden Gestaltungsansätze für ein individuelles Eisenbahnsystem skizziert und deren Umsetzung erörtert.

Die unter die TSI-Richtlinien fallenden Bahnsysteme sind jedoch keine individuellen Verkehrssysteme, denn die Spurführung verlangt eine diskrete Zuweisung des zu befahrenden Weges. Wie im späteren Verlauf dieser Arbeit gezeigt wird, verwenden alle TSI-Bahnnetze Leit- und Sicherungstechnik, deren Realisierungsformen zwar nicht einheitlich sind, die Notwendigkeit für deren Einsatz jedoch überall gegeben ist (siehe Kapitel 7.5). Für den Betrieb werden demzufolge auch generische LST-Elemente benötigt, die einen wirtschaftlichen Bahnbetrieb erst ermöglichen. Zur Verknüpfung der generischen Produktionsmittel (Infrastruktur, Fahrzeuge, LST) werden Verfahrensregeln benötigt, die eine reale Durchführung der Betriebsprozesse ermög-

lichen. Die Verfahrensregeln, nach denen die generischen Bahnbetriebsprozesse ablaufen, werden innerhalb des Generischen Referenzsystems entwickelt. Das Referenzsystem wird basierend auf den Erkenntnissen von [BOSSE 2010] erstellt.

Die Herleitung der generischen Betriebsprozesse beginnt für die Fahrt eines Zuges in einem einfachsten, anzunehmenden Eisenbahnnetz. Dafür wird ein Aktivitätendiagramm entwickelt, mit dem alle Fahrzeugbewegungen modelliert werden können. Die Ursprungsinfrastruktur wird schrittweise erweitert und das Prozessmodell je nach Notwendigkeit ebenfalls angepasst (siehe Kapitel 7.6). Nach einer bestimmten Anzahl an Erweiterungen muss ein Punkt erreicht sein, an dem bei jeder zusätzlichen Erweiterung das Aktivitätendiagramm nicht weiter verändert werden muss und eine generische Netzstruktur erreicht wird.

Anschließend wird in der generischen Topologie die Anzahl der Züge schrittweise erweitert und das Aktivitätendiagramm auf weitere Anpassungen untersucht (siehe Kapitel 7.7). Es muss auch hierbei ein „Sättigungspunkt“ eintreten, ab dem jede weitere Erhöhung der Zuganzahl keine Veränderung des generischen Betriebsprozess hervorruft. Der an dieser Stelle hergeleitete generische Betriebsprozess stellt den Grundsatz für Zugfahrten dar.

5.5 Eignung der generischen Betriebsprozesse

Die Eignung des generischen Betriebsprozesses wird an Hand ausgewählter Beispiele untersucht. Zum einen wird die Übertragbarkeit auf Zugbildungsvorgänge und einfache Fahrzeugbewegungen (Rangierfahrten) untersucht, zum anderen wird die Anwendbarkeit bei besonderen Bahnsystemen geprüft (außerhalb des TSI-Bereichs).

Der generische Betriebsprozess für Zugfahrten in Kapitel 7 benötigt die volle Unterstützung eines infrastrukturseitigen Koordinators. Um auch einfache Fahrzeugbewegungen durchführen zu können, z. B. für die Fahrzeugabstellung, wird der generische Prozess für die Durchführung von Rangierfahrten untersucht. Bei Rangierfahrten wird in einem gewissen Maß das individuelle Verkehren der Fahrzeuge zugelassen. Teilfunktionen der Fahrwegsicherung werden dabei auf den Zug übertragen, so dass neue Aktivitätendiagramme abgeleitet werden müssen, und ergänzen die bis dahin erstellte generische Prozessbeschreibung.

Bei besonderen Bahnsystemen, die regulär andere Prozessabläufe anwenden (z. B. Mehrzugbetrieb), werden die Betriebsprozesse ebenso auf ihre Anwendbarkeit hin

überprüft. Eine Anpassung der Diagramme oder Erweiterung der generischen Beschreibung erfolgt nicht, da es sich nicht um TSI-Bahnen handelt. Es wird jedoch erörtert, inwieweit eine Übertragbarkeit möglich wäre. Müssen die generischen Prozessmodelle nicht verändert werden und können die Grundsätze der Betriebsdurchführung beibehalten werden, so kann deren generischer Anspruch bestätigt werden (vgl. Kapitel 10).

5.6 Sprachliche Aspekte und Methodik zum Vergleich von Regelwerkstexten

Regelwerke waren anfangs von geringem Umfang und inhaltlich gut überschaubar. Diese Texte waren nicht für den öffentlichen Gebrauch vorgesehen und es war nicht notwendig, diese für außenstehende Leser aufzubereiten. Normalerweise wurden die Adressaten im Zuge ihrer Ausbildung mit den Regelwerken vertraut gemacht und wussten diese richtig zu interpretieren.

Mit der Liberalisierung und Internationalisierung des Eisenbahnverkehrs müssen Dritte sicherheitsrelevante Richtlinien benutzen und verstehen können. Vor allem mobiles Personal kommt mit anderen EVU in Kontakt bzw. befährt Netze fremder EIU und muss sich dort zurechtfinden. Weiterhin werden Gesetze und hoheitliche Richtlinien veröffentlicht, deren Inhalte in bestehende Regelwerkstexte eingefügt werden müssen und das Verständnis der Betriebsleitung erfordern.

Auf Grund der unterschiedlichen Strukturen von Regelwerken und nicht einheitlicher Verwendung von Fachbegriffen bedarf es einer systematischen Vorgehensweise zur Detektion, Extraktion und Validierung von Regeln. Zum einen ist die Problematik eines fehlenden Fachwortschatzes zu behandeln und zum anderen ein strukturiertes Vorgehen bei der Anpassung der Texte anzubieten.

Die Probleme des Fachwortschatzes werden in Kapitel 8 aufgegriffen und abweichende Begriffsbestimmungen an Beispielen vorgestellt. Da keine übergreifende Harmonisierung der Termini in dieser Arbeit möglich ist, wird auf zu berücksichtigende Randbedingungen hingewiesen. Für die generische Beschreibung ist kein allgemeines und vollständiges Glossar verfügbar, so dass im laufenden Text wichtige Begriffe bestimmt werden. Eine geordnete Übersicht als Nachschlagewerk wird in Kapitel 8.3 zur Verfügung gestellt.

Weiterhin wird eine Methode zum Vergleich von Bahnbetriebsprozessen entwickelt, die in Kapitel 9 beschrieben und erklärt wird. Die Methode unterstützt ein geordnetes Vorgehen beim Vergleich und der Harmonisierung von Regelwerkstexten. Sie umfasst die Strukturierung des Inhalts, die Abgrenzung und Gruppierung der einzelnen Regeln sowie den Vergleich und die Anpassung der Regeln.

6 Prozessbeschreibung

6.1 Einleitung

6.1.1 Übersicht

Bei der Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen ist es notwendig, dass diese auf ihre wesentlichen Elemente vereinfacht und somit abstrahiert werden. Da die bisherige Beschreibungsform Schwächen aufweist (siehe Kapitel 6.2), wird eine geeignete Form der Beschreibung sondiert. Es werden Anforderungen an ein Beschreibungsmittel bestimmt (Kapitel 6.3), die die Vergleichbarkeit und Auswahl unterstützen sollen (Kapitel 6.7). Für den Test der Methoden wird ein Evaluationsprozess generiert, welcher mit unterschiedlichen Beschreibungsmitteln modelliert wird (Kapitel 6.5 und 6.6), um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede erkennbar zu gestalten (Kapitel 6.4).

6.1.2 Verwendete Begriffe in der Prozessmodellierung

Bei der Modellierung wird auf bisherige Erkenntnisse und Verfahren aus der Geschäftsprozessmodellierung und des Systems Engineering zurückgegriffen. Zur besseren Verständlichkeit sind wesentliche wiederkehrende Termini nachstehend aufgelistet.

Diagramm	Der Begriff Diagramm wird bei der Modellierung von Informationssystemen auch gleichbedeutend mit Modell als Bezeichnung eines Modelltyps verwendet (siehe Tabelle 5.1). Im Duden wird ein Diagramm als eine „grafische Darstellung von Größenverhältnissen bzw. Zahlenwerten in anschaulicher, leicht überblickbarer Form“ ⁹² beschrieben. Um den Begriff Diagramm einheitlich zu verwenden, wird er nachfolgend als bildliche Darstellung verstanden, die aus Elementen einer Sprache gebildet werden. Ein Diagramm kann einem Modelltyp zugeordnet werden (z. B. kann ein Diagramm „Prozesslandkarte Eisenbahn“ dem Modelltyp „Prozessmodell“ zugeordnet werden).
----------	--

⁹² Zitat aus [DUDEN 2014], Band 1, Seite 482

Funktionsmodell	„Ein Funktionsmodell ist ein funktionsorientiertes Modell, bei welchem im Wesentlichen nur die Funktionssicht behandelt ist, indem Funktionen anderen Funktionen zugeordnet werden.“ ⁹³ Das Funktionsmodell ist ein Modelltyp.
Modell	Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung der Realität, das je nach Verwendungszweck bestimmte Eigenschaften hervorhebt. Das Modell kann bestehende oder zukünftige Realisierungen abbilden [KASTENS 2005]. Das Modell eines Informationssystems ist eine vereinfachte, bildliche Darstellung [SEIDLMEIER 2010]. Die Modelle sind immaterielle Denkmodelle von Sachverhalten (Prozessen) oder Gegenständen [SCHÖNSLEBEN 2001]. Im Rahmen dieser Arbeit wird unter Modell die vereinfachte Nachbildung von Eisenbahnbetriebsprozessen verstanden.
Modellierungsmethode	„Der Begriff Modellierung bezeichnet den Ablauf, der zum Ergebnis, nämlich dem Modell führt. Eine Modellierungsmethode ist ein planmäßiges und systematisches Vorgehen, das zur Modellierung verwendet wird.“ ⁹⁴
Modelltyp	Das ARIS-Konzept bezeichnet eine Klasse von Modellen und Diagrammen als Modelltyp [LEHMANN 2008][SEIDLMEIER 2010]. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Modelltyp als eine Klasse von Diagrammen bezeichnet.
Prozess	Als Synonym für Prozess kann u. a. auch Fortschreiten, Fortgang, Verlauf oder Vorgang verwendet werden [DUDEN 2014]. Nach Seidlmeier sind in der IT-gestützten Prozessmodellierung „Prozesse [...] logische Abfolgen von Funktionen.“ ⁹⁵ Im Bahnbetrieb ist ein Prozess ein „Vorgang, an dem Menschen, Maschinen, Verfahren usw. zusammenwirken, um ein Produkt oder eine Dienstleistung zu erzeugen.“ ⁹⁶ Zusammengefasst ist ein Prozess ein Vorgang, der eine Abfolge von Teilschritten ist unter der optionalen Verwendung von Menschen, Objekten, Informationen

⁹³ Zitat aus [SCHÖNSLEBEN 2001], Seite 149

⁹⁴ Zitat aus [SCHÖNSLEBEN 2001], Seite 134

⁹⁵ Zitat aus [SEIDLMEIER 2010], Seite 55

⁹⁶ Zitat aus [HEISTER 2006], Seite 177

und Teilvorgängen. Prozesse können abhängig vom Detaillierungsgrad Hierarchien bilden und sind gegeneinander abgrenzbar.

Prozessmodell	„Ein Prozessmodell ist ein prozessorientiertes Modell, bei welchem im Wesentlichen nur die Prozesssicht behandelt ist, indem Prozesse anderen Prozessen zugeordnet werden.“ ⁹⁷ Das Prozessmodell ist ein Modelltyp.
Stereotyp	„Das Stereotyp ergänzt ein bestehendes Modellelement um weitere Eigenschaften und Semantik. Das neu definierte Modellelement kann neben dem Namen auch eine neue Notation erhalten.“ ⁹⁸ Stereotypen werden in UML als auch in SysML verwendet.

6.2 Analyse der heutigen Beschreibungsmittel

Die Regeln für die Durchführung des Eisenbahnbetriebes werden aktuell in den DACH-Staaten in drei wesentlichen Kategorien beschrieben:

- Prozesse des Fahrdienstes
- Signale des Fahrdienstes
- Benutzung der Fahrzeugbremsen

Seit Eröffnung der ersten Eisenbahnstrecken bestehen Regelungen für den Betriebs- und Verkehrsdienst zur Abwicklung der Zugfahrten. Für das zu Anfang einfache Betriebsregime war es ausreichend, die Regeln in reiner Textform zu beschreiben. Die Signalgebung beschränkte sich weitestgehend auf Pfeif- und Lichtsignale der Lokomotivführer als auch der Zugbegleiter und Bahnwärter.

Das Reglement der 1839 fertiggestellten Eisenbahnstrecke Leipzig – Dresden war in diesem Sinne noch eine Loseblattsammlung und regelte neben den Betriebsprozessen auch den Tarif, den Fahrplan sowie die Dienstordnung und das Verhalten am Arbeitsplatz [BAYER 1989]. Auch bei der Eröffnung der schweizerischen Nordbahn zwischen Baden (Kanton Aargau) und Zürich im Jahr 1847 genügte die reine Text-

⁹⁷ Zitat aus [SCHÖNSLEBEN 2001], Seite 149

⁹⁸ Zitat aus [WEILKIENS 2006], Seite 335

beschreibung. So wurden die Instruktionen für die Bahnwärter in einer eigenen Dienstvorschrift abgedruckt, welche neben bahnbetrieblichen Funktionen auch Aufgaben für die Instandhaltung der Gleisanlagen enthielten. Interessant ist zudem, dass bei Eröffnung der Strecke der heutige Bundesstaat Schweiz noch nicht existierte und auch noch keine allgemeine Gesetzgebung für den Bau und Betrieb von Eisenbahnstrecken vorhanden war. Somit musste man für die etwa 20 km lange Strecke die Polizeiverordnungen der Kantone Aargau und Zürich berücksichtigen [NORDBAHN 1976].

Ein exemplarischer Vergleich von Fahrdienstvorschriften findet sich in [GERSTENKORN 2006]. Darin werden drei deutsche FDV aus den Jahren 1900, 1983 und 2003 hinsichtlich Umfang, Gliederung, Texttypologie und Verständlichkeit verglichen. Es wird festgestellt, dass die Texte dieser drei FDV grundsätzlich verständlich sind. Der verwendete Fachwortschatz hat mit der technischen Entwicklung zugenommen. Im Gegenzug sind „die Sätze der jüngeren Fassungen einfacher strukturiert und die Texte sind besser gegliedert. [...] Insgesamt betrachtet, ist die Sprache der späteren Fassungen nüchterner, sachlicher, was nicht nur die Entwicklung der Eisenbahnfachsprache auszeichnet.“⁹⁹

Die Fachsprache der Eisenbahn hat, wie in anderen Bereichen¹⁰⁰ auch, eigene Begrifflichkeiten hervorgebracht und geprägt. Es werden bei der Eisenbahn spezifische Begriffe und Redewendungen benutzt, die in einem Vergleich mit anderen Fachdisziplinen auch eine andere Bedeutung haben.

Zum Beispiel existieren drei eisenbahntechnische Begriffsbestimmungen für die Bezeichnung „Kreuzung“¹⁰¹, während im Straßenverkehr oder in der Genetik wiederum andere Definitionen verwendet werden. Die Mehrfachbedeutung eines Terminus innerhalb eines Fachgebietes kann über Ländergrenzen variieren, ohne dass die Sprache gewechselt wird. In solchen Fällen ist die Verwendung natürlicher Sprachen sehr aufwändig. Hierfür ist ein gemeinsames Glossar, welches den Termini eine eindeutige Beschreibung zuordnet, zukünftig unerlässlich. Dadurch kann der direkte Vergleich und die Harmonisierung unter Zuhilfenahme eines strukturierten Vorgehens (siehe nachfolgendes Kapitel 6.3) erleichtert werden.

⁹⁹ Zitat aus [GERSTENKORN 2006] Seite 232

¹⁰⁰ Bsp.: Als eine „Fahrt“ (Plural Fahrten) wird im deutschsprachigen Bergbau eine Leiter bezeichnet [GROTHE 1962].

¹⁰¹ 1) Überschneidung mit anderem Verkehrsweg, 2) Fahrwegelement, 3) Begegnung zweier Zugfahrten; siehe [ADLER 1990]. Diese Definitionen müssen aber nicht gleichbedeutend mit denen der Schweiz oder Österreich sein.

Für die grundlegende Beschreibung eines harmonisierten Betriebsverfahrens soll eine semiformale Sprache gewählt werden, da diese graphische Symbole und einfache Textstrukturen verwendet. An Hand der dadurch entstehenden abstrakten Modelle sind Vergleiche einfacher durchzuführen bzw. werden dadurch erst ermöglicht.

6.3 Anforderungen an das Beschreibungsmittel

Die Eisenbahnbetriebsprozesse dienen der Planung, Durchführung, Nachbearbeitung und Entstörung von Schienenfahrzeugfahrten. Sie stellen im Wesentlichen einen chronologischen Handlungsablauf dar. Die Hauptprozesse sind in verschiedene Teilprozesse mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden unterteilbar. Kann man Prozesse untergliedern, dann wird deren Detaillierungsgrad größer und die Beschreibungstiefe nimmt zu. Für die Harmonisierung der Betriebsprozesse ist eine möglichst sinnvolle Spezifizierung zu wählen. Zu stark detaillierte Prozesse erschweren die Feststellung gemeinsamer Funktionalitäten. In der nachfolgende Tabelle 6.1 werden drei möglich Detaillierungsgrade beschrieben.

Tabelle 6.1 Detaillierungsgrade der Prozessbeschreibung

Detaillierungsgrad	Beschreibung	
makroskopisch	Die Hauptprozesse des Eisenbahnbetriebs werden auf Unternehmensebene betrachtet und können in Teilprozesse untergliedert werden. Die Darstellung entspricht einer Gesamtübersicht ohne Benennung von Funktionen.	generisch
mesoskopisch	Es werden die Teilprozesse betrachtet und ihre enthaltenen Funktionen benannt. Die Schnittstellen zu anderen Teilprozessen werden dargestellt, ohne dass die Funktionsträger oder Realisierungsbeispiele angegeben werden.	generisch
mikroskopisch	Die Teilprozesse sind vollständig beschrieben und alle Schnittstellen zu anderen Prozessen aufgeführt. Es werden Funktionsträger und Realisierungsbeispiele benannt.	nicht generisch

Eine weitere Anforderung an das Beschreibungsmittel ist die Modularität. Eine Vielzahl von Prozessen tritt innerhalb eines Hauptprozesses mehrfach auf und wird re-

regelmäßig wiederholt. Ein möglicher Teilprozess „Abfahrt des Zuges“ innerhalb eines übergeordneten Prozesses „Zugfahrt“ tritt für einen Personenzug im Regelfall mehrfach zwischen Ausgangs- und Endbahnhof auf. Das gleiche trifft auch auf weitere Teilprozesse zu, die während einer Zugfahrt wiederholt ablaufen können. Dabei muss es sich aber nicht durchweg um Teilprozesse handeln, die regulär nur innerhalb eines übergeordneten Prozesses stattfinden, sondern sie können auch mit anderen Prozessen verknüpft sein. Z. B. kann ein Teilprozess „Bremsprobe“ auch während einer „Zugfahrt“ stattfinden (bspw. nach Veränderung der Fahrzeugzusammensetzung) und nicht nur vor Beginn einer „Zugfahrt“. Somit ist die Möglichkeit, Teilprozesse wie Module zu behandeln, von Bedeutung für die Prozessbeschreibung.

Um diese Module richtig unterscheiden und anordnen zu können, sollten diese gegenüber anderen Prozessen eindeutig abgrenzbar sein. Das Beschreibungsmittel muss über die Fähigkeit verfügen, den Beginn und das Ende eines Prozesses deutlich darstellen zu können. Weiterhin sollten Schnittstellen zu anderen Prozessen erkennbar sein.

Als weitere Anforderung wird die Anschaulichkeit betrachtet. Die Beschreibung der Prozesse soll nicht wie bisher in umfangreichen Texten oder mit komplexen Matrizen erfolgen, sondern sich auf ein Mindestmaß an verbalen Formulierungen beschränken. Hierzu ist die Benutzung von graphischen Elementen vorteilhaft, die die Funktionen und Schnittstellen untereinander verbinden und sachlogisch nachvollziehbar gestalten. Das Beschreibungsmittel benötigt demzufolge nur eine angemessen große Auswahl an graphischen Elementen, da sonst eine unnötige Komplexität entstehen könnte. Diese soll aber mit dem Hintergrund der Harmonisierung vermieden werden und erscheint für eine makro- und mesoskopische Sichtweise auch als nicht geeignet.

Im Wesentlichen müssen Prozesse harmonisiert werden, die direkt im Zusammenhang mit einem fahrenden Fahrzeug stehen oder die Kommunikation zu einem solchen beinhalten. Um einzelne Funktionen besser zuordnen zu können, empfiehlt sich die Unterscheidung in Funktions- oder Verantwortungsbereiche. Zum Beispiel ist für die Zustimmung zur Fahrt die Interaktion zwischen Zug und Infrastruktur notwendig, so dass mindestens zwei Verantwortungsbereiche Funktionen erfüllen müssen.

Nicht alle Funktionen in einem Bahnbetriebsprozess müssen zwingend chronologisch verlaufen. Bspw. können die Funktionen für die Vorbereitung zur Abfahrt eines Zuges durch das Zugbegleitpersonal und durch die Infrastrukturmitarbeiter parallel stattfinden. Erst wenn alle Anforderungen beider Bereiche erfüllt sind, darf der nächs-

te Prozessschritt erfolgen. Das Beschreibungsmittel sollte die Möglichkeit besitzen, Verzweigungen und Zusammenführungen darstellen zu können.

Damit die Harmonisierung erfolgreich sein kann, dürfen keine Rückschlüsse auf Funktionsträger und Realisierungsmöglichkeiten gemacht werden. Das Beschreibungsmittel muss eine allgemeingültige Darstellung zulassen. Die in Tabelle 5.1 aufgeführten Modellierungsmethoden der Objekt- und Aufgabensicht verletzen die Anforderung der generischen Beschreibung, da die Nennung von Bearbeitungselementen bzw. die direkte Adressierung von Aufgaben erfolgt. Eine vereinfachte Darstellung der Modellierungsmethoden beinhaltet nur noch die Prozess- und Funktions-sicht (siehe Tabelle 6.2).

Tabelle 6.2 Matrix möglicher generischer Modellierungsmethoden nach [SPECKER 2005]

primär	Prozesssicht	Funktionssicht
sekundär		
Prozesssicht	Prozessmodell	Funktionen-Blockdiagramm
Funktions-sicht	Flussdiagramm	Funktionsmodell

Das auszuwählende Beschreibungsmittel sollte die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Abbildung einer Hierarchie
- Eindeutige Abgrenzung gegenüber anderen Prozessen
- Nachvollziehbare Anschaulichkeit
- Darstellung von Funktionsbereichen
- Darstellung von Prozesszweigen
- Generische Beschreibung

Für die Auswahl eines Beschreibungsmittels wird im Kapitel 6.4 ein Beispielprozess gewählt, der testweise mit verschiedenen Methoden beschrieben wird.

6.4 Evaluationsprozess Fallbeispiel „Abfahrt des Zuges“

Für die Auswahl des Beschreibungsmittels wird ein Prozess generiert, der ein typisches Beispiel für den Eisenbahnbetrieb darstellen könnte. Dieser Prozess soll wesentliche Eigenschaften enthalten, um die Anwendbarkeit des nachfolgend auszuwählenden Beschreibungsmittels zu gewährleisten.

Dabei werden folgende Teilabläufe im Evaluationsprozess abgebildet:

1. Zustandsänderung der Infrastruktur
2. Zustandsänderung des Zuges
3. Kommunikation zwischen Infrastruktur und Zug

Für die Evaluation wird ein Prozess „Abfahrt des Zuges“ vorgeschlagen, welcher aus den Prozessbeschreibungen der DACH-FDV zusammengesetzt wird (siehe Anhang A 2), jedoch nicht nach dem Verfahren in Kapitel 9 harmonisiert ist. Der Evaluationsprozess, welcher nur zur Auswahl des Beschreibungsmittels besteht, muss als fiktiv betrachtet werden. Die einzelnen Funktionen des Prozesses sind in der nachfolgenden Tabelle 6.3 aufgelistet.

Tabelle 6.3 Aktivitäten im Evaluationsprozess „Abfahrt des Zuges“

Aktivität	Beispiel	Verantwortung
Abfahrbereitschaft des Zuges herstellen	Zugpersonal bereitet Zug für Abfahrt vor.	EVU
Meldung der Abfahrbereitschaft	Zugpersonal meldet Fdl die Abfahrbereitschaft des Zuges.	EVU
Zustimmungsbereitschaft für Zug herstellen.	Fdl stellt den freien Fahrweg für den Zug her.	EIU
Zustimmung zur Fahrt	Fdl stellt das Ausfahrtsignal auf Fahrt.	EIU
Abfahrauftrag erteilen	Lokführer erhält für abfahrbereiten Zug und bei vorliegender Zustimmung zur Fahrt den Auftrag zum Beginn der Fahrt.	EVU
Abfahrt des Zuges	Zug beginnt die Fahrt.	EVU

Die Abfahrt eines Zuges muss in jeder FDV bzw. Prozessbeschreibung für Bahnen vorhanden sein, da dieser Schritt die Voraussetzung ist, um eine Ortsveränderung

beginnen zu können. Mit der Abfahrt kann gleichzeitig die Zustandsänderung des Zuges beschrieben werden, welche aus einem stehenden Zug ($v = 0$ m/s) in einen fahrenden Zug ($v > 0$ m/s) übergeht.

Die Zustandsänderung der Infrastruktur wird mit dem Angebot eines sicheren Fahrweges für eine zu erwartende Fahrt vollzogen. Dafür muss der geplante Fahrweg eingestellt und bestätigt werden. Ist das der Fall, kann die Infrastruktur die Zustimmung zur Fahrt übermitteln, so dass der Zug die Änderung seines Bewegungszustandes vollziehen kann. Die Zustandsänderung für die Infrastruktur erfolgt in diesem Fall durch die Inanspruchnahme von Fahrwegelementen und deren Reservierung für die dafür vorgesehene Fahrt.

Damit der Anforderung des Fahrtwunsches durch den Zug entsprochen werden kann, bedarf es der Informationsübermittlung an die Infrastruktur. Diese teilt im Gegenzug mit, ob der Wunsch erfüllt werden kann oder bereits die Belegung durch ein anderes Fahrzeug erfolgt. Die Art und Weise der Kommunikation spielt bei der generischen Beschreibung keine Rolle und könnte z. B. akustisch, optisch oder per Datenprotokoll erfolgen.

Dieser Prozess ist für die Evaluation geeignet, da er mehrere Aktivitäten beinhaltet, welche sich teilweise bedingen und kommunikativ miteinander verknüpft werden müssen. Gleichzeitig müssen sich die Verantwortungsbereiche Infrastruktur und Zug beteiligen und den Prozessverlauf aktiv verfolgen. Der Prozess bleibt somit nicht auf einen Bereich beschränkt.

In den folgenden Kapiteln 6.5 und 6.6 wird der Evaluationsprozess mit verschiedenen Beschreibungsmitteln anschaulich nachvollzogen.

6.5 Analyse formaler Beschreibungsmittel

6.5.1 Formale Methoden

Für die Beschreibung von konkreten oder abstrakten Systemen werden in den Fachgebieten der Mathematik, Logik und Informatik formale Methoden verwendet. Bei dieser überwiegend abstrakten Modellierung stehen mehrheitlich die abzubildenden Funktionen im Vordergrund und weniger deren visuelle Darstellung. Diese Funktionen werden als Wertebereiche, Terme, algebraische Strukturen oder logische Modelle mit Hilfe mathematischer Symbole abgebildet. Weiterhin umfassen die formalen

Methoden sowohl verschiedene Graphen zur Darstellung von Wege- und Zuordnungsproblemen, Entscheidungsbäumen, Abhängigkeiten als auch besondere Strukturen wie kontextfreie Grammatiken oder das Entity-Relationship-Modell [KASTENS 2005].

Angesichts des zu erwartenden Abstraktionsniveaus wird die Eignung formaler Methoden (siehe Kapitel 5.2) mit Ausnahme des Kalküls Petri-Netze (vgl. Kapitel 3.3.2 und 3.3.3) nicht weiter vertieft.

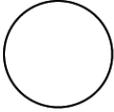
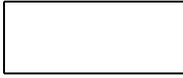
6.5.2 Petri-Netze

Petri-Netze sind formale Beschreibungsmittel [LEHMANN 2008], die diskret gesteuerte Systeme sowohl graphisch als auch mathematisch exakt (formal) modellieren können. Die Entwicklung dieser Beschreibungsmittel geht auf die Dissertation von Carl Adam Petri an der Universität Bonn zurück [ABEL 1990]. Innerhalb der Petri-Netze haben sich verschiedene weitere Klassen wie z. B. Farbige Petri-Netze oder semantische Netze herausgebildet. Petri-Netze sollen nicht allein die Objekte und Strukturen abbilden, sondern auch die Dynamik eines Systems wiedergeben [SCHNIEDER 1999].

Für die Modellierung werden nicht nur Zustände und Aktivitäten mit ihren Verknüpfungen (Kanten) benötigt, sondern zusätzlich auch Markierungen, die unter bestimmten Bedingungen (Kapazitäten, Gewichte) den augenblicklichen Zustand des Systems modellieren oder den möglichen Verlauf der Prozesse simulieren können. Da die Modellierung von Verhaltensregeln eines sozio-technischen Systems mit Termen zu abstrakt und der dynamische Verlauf der Betriebsprozesse nicht wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit ist, wird innerhalb der Petri-Netze nur die graphische Modellierung getestet. Es wird der Modelltyp der Stellen-Transitionen-Netze, im Weiteren vereinfacht als Petri-Netze bezeichnet, evaluiert.

Für die graphische Darstellung eines Petri-Netzes werden in dieser Arbeit nur die Elemente Stelle, Transition und Kante verwendet (Tabelle 6.4). Da keine dynamischen Zustände abgebildet werden sollen, wird auf die Elemente Kapazität einer Stelle, Gewicht einer Kante und Anfangsmarkierungen verzichtet.

Tabelle 6.4 Petri-Netz-Symbole im Evaluationsprozess

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Stelle	Zustand eines Systems oder Bedingung
	Transition	Zustandsübergänge oder Aktivitäten
	Kante	Flussrelation zwischen Stellen und Transitionen

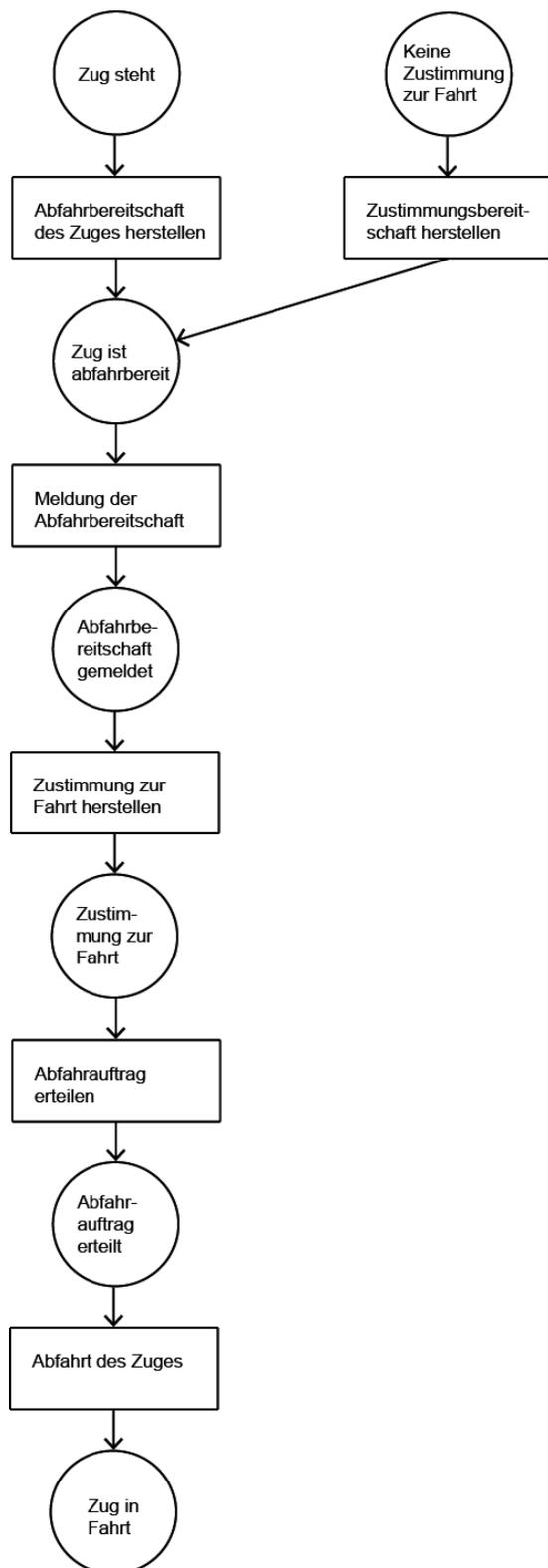


Abbildung 6.1 Evaluationsprozess als Petri-Netz-Diagramm

Die graphische Darstellung des Evaluationsprozesses „Abfahrt des Zuges“ als Petri-Netz ist möglich (Abbildung 6.1). Alle Aktivitäten können in ihrer sachlogischen Abfolge richtig dargestellt und miteinander verknüpft werden. Die Möglichkeit, parallele Abläufe und dazugehörige Verzweigungen zu modellieren, ist ebenfalls gegeben. In einem Petri-Netz dürfen keine zwei Stellen oder zwei Transition aufeinander folgen, so dass nach jeder Aktivität (Transition) ein Zustand (Stelle) des Systems beschrieben werden muss. Dadurch wird das Diagramm sehr umfangreich. Eine Zuordnung der Verantwortungsbereiche oder die gesonderte Bezeichnung des Prozessanfanges bzw. –endes ist mit der beschränkten Anzahl verfügbarer Symbole nicht gegeben.

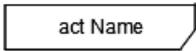
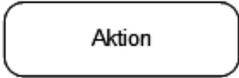
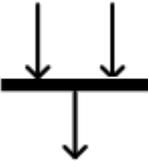
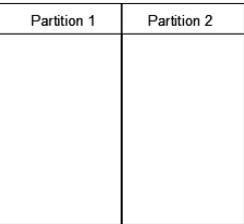
6.6 Analyse semiformaler Beschreibungsmittel

6.6.1 Unified Modeling Language

Die Unified Modeling Language (UML) ist eine künstliche Sprache zur Modellierung von Informationssystemen. Ihren Ursprung hat sie in der objektorientierten Programmierung und wurde aus den bekannten Notationen von Booch, Rumbaugh und Jacobsen zusammengeführt. Die Sprache wird von der Object Management Group, einem international anerkanntem Konsortium zur Entwicklung von Standards in der objektorientierten Programmierung, standardisiert und weiterentwickelt. Mit UML können verschiedene Modelltypen dargestellt werden, wie z. B. Anwendungsfall-, Klassen-, Zustands- oder Sequenzdiagramme. In dieser Arbeit wird die Version 2.5 verwendet [OESTEREICH 2012].

Für die Modellierung des Evaluationsprozesses wird der Modelltyp Aktivitätendiagramm ausgewählt. Er beschreibt einen Ablauf und wird über verschiedene Arten von Knoten definiert, die durch Kontrollflüsse verbunden sind. Die exemplarisch verwendeten Symbole sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Darüber hinaus können auch weitere Symbole verwendet werden, die Objekte, Zustände oder Signale darstellen [UML 2.5].

Tabelle 6.5 UML-Symbole im Evaluationsprozess

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Aktivitätsname	Name des modellierten Prozesses (Diagrammname)
	Aktionsknoten	Elementares Modellelement zur Beschreibung einer Aktivität, kann verschachtelt sein und weitere Aktionsknoten beinhalten
[Randbedingung]	Bedingung	Bedingung entlang eines Kontrollflusses
	Startknoten	Anfang eines Ablaufes, mehrere Startknoten in einem Diagramm möglich
	Endknoten	Ende eines Ablaufes, mehrere Endknoten in einem Diagramm möglich
	Kontrollfluss	Gerichtete Verbindung zwischen zwei Knoten
	Synchronisation	Kontrollknoten, in dem mehrere Kontrollflüsse eingehen und in einem Fluss fortgesetzt werden.
	Partition	Darstellung von Knoten in verschiedenen Eigenschafts- oder Verantwortungsbereichen

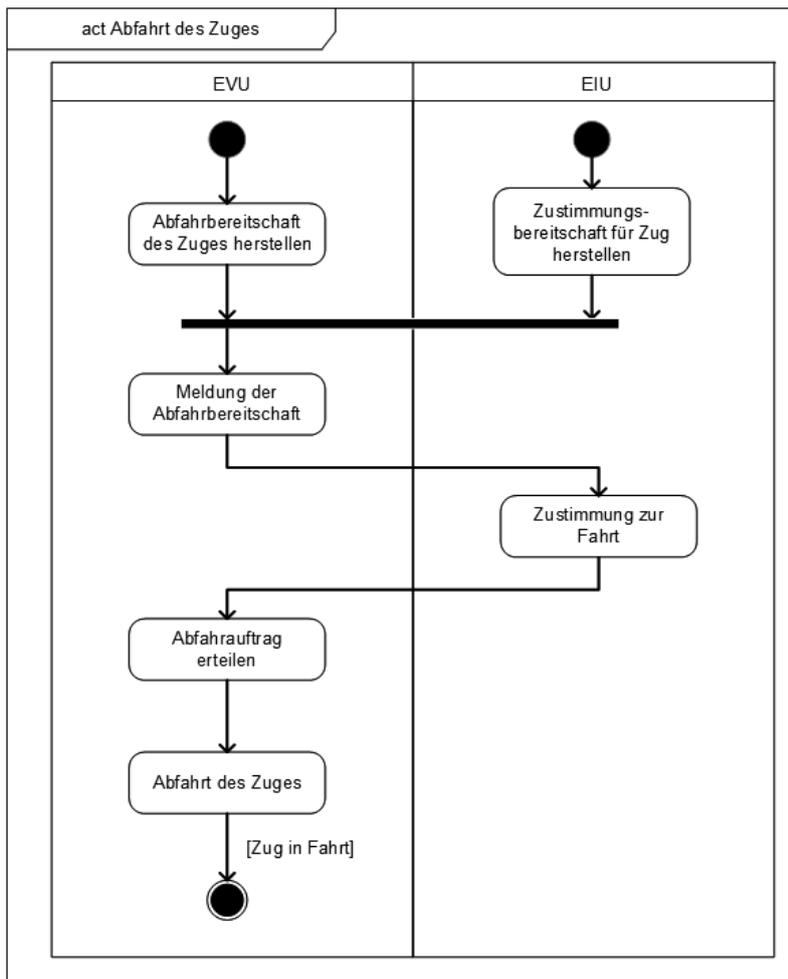


Abbildung 6.2 Evaluationsprozess als UML-Aktivitätendiagramm

Die Beschreibung des Evaluationsprozesses ist mit UML möglich (Abbildung 6.2). Alle Aktivitäten, die zur „Abfahrt des Zuges“ gehören, können integriert und in ihrem Ablauf richtig zugeordnet werden. Die Aktivitäten werden direkt miteinander verknüpft, ohne dass ein Zwischenelement oder –zustand modelliert werden muss. Dadurch wird das Diagramm kleiner und übersichtlicher im Vergleich zum vorhergehenden Petri-Netz-Diagramm. Es kann zusätzlich der Beginn und das Ende eines Prozesses markiert werden. Weiterhin bietet UML die Möglichkeit, in einem Prozess Verknüpfungen zu erstellen, so dass direkt zusammenhängende Aktivitäten nicht in zusätzlichen Teilprozessen formuliert werden müssen.

Mit Hilfe von Partitionen können die Bestandteile des Prozesses den jeweiligen Verantwortungsbereichen zugeordnet werden. Das erhöht die Übersichtlichkeit und ermöglicht die Abbildung weiterer Verantwortungsbereiche, wie zum Beispiel für ein zweites oder drittes EVU.

6.6.2 Systems Modeling Language

Die Systems Modeling Language (SysML) ist eine standardisierte Modellierungssprache, die für das Systems Engineering entwickelt wurde und auf UML basiert. Vorteile von SysML gegenüber der auf die Softwareentwicklung ausgerichteten UML sind die bessere Anforderungsmodellierung und die geringere Objektorientierung [WEILKIENS 2006]. In SysML kann ebenfalls zwischen unterschiedlichen Modelltypen gewählt werden, wie z. B. dem Anwendungsfall-, dem Blockdefinitions-, dem Zustands- oder dem Sequenzdiagramm. Die Anzahl eigener Modelltypen ist geringer als bei UML, kann aber bei Bedarf um UML-Elemente bzw. -diagramme erweitert werden. Es wird die Version 1.2 analysiert [SysML 1.2].

SysML verwendet grundlegend die gleichen Beschreibungselemente wie UML, wird allerdings um einige Eigenschaften erweitert. Diese werden nachfolgend aufgeführt und kurz beschrieben.

Frequenz	Die Frequenz beschreibt die Häufigkeit von Datenflüssen entlang einer Kante oder die Aufnahme/ Abgabe von Daten in einer Aktivität.
Kontrolloperator	Basierend auf einem Kontrollwert veranlasst ein Kontrolloperator das Ein- oder Ausschalten von Aktionen.
„Nobuffer“	„Nobuffer“ ist ein Stereotyp zum Unterbinden einer Pufferwirkung bei großen Datenströmen an einem bestimmten Knoten.
„Optional“	„Optional“ ist ein Stereotyp, das Parameter integriert, die keinen Wert haben müssen, um ein Verhalten auszulösen.
„Overwrite“	„Overwrite“ ist ein Stereotyp zum Überschreiben bestehender Daten durch neue Daten an einem bestimmten Knoten.
Wahrscheinlichkeit	An Entscheidungs- oder Objektknoten werden nachfolgende Aktionen mit Hilfe einer Eintrittswahrscheinlichkeit entschieden.

Für die zusätzlichen Eigenschaften eines SysML-Aktivitätendiagramms bestehen im Evaluationsprozess keine Anwendungsmöglichkeiten, so dass der SysML-Prozess identisch zum UML-Prozess in Abbildung 6.2 ist. Weiterhin beziehen sich die zusätzlichen Eigenschaften mehrheitlich auf konkrete Datenflüsse oder Ereigniseintritte, die Objekte oder Objektflüsse einbinden und für eine generische Beschreibung nicht ge-

eignet sind. Deshalb wird vorerst auf die weitere Verwendung von SysML-Diagrammen verzichtet.

6.6.3 Business Process Model and Notation

Das Beschreibungsmittel Business Process Model and Notation (BPMN) ist ein Standard für die graphische und XML-basierte Modellierung von Geschäftsprozessen. BPMN bietet die Möglichkeit, das Modell eines Geschäftsprozesses als BPMN-Diagramm darzustellen, aus dem wiederum ein XML-Schema abgeleitet werden kann. Die BPMN-Diagramme sind dadurch mit Hilfe einer speziellen Software maschinenlesbar und können als sogenannte Projekt-Instanzen direkt ausgeführt werden [GÖPFERT 2013]. BPMN ist verwandt mit der UML und der Ereignisgesteuerten Prozesskette (siehe Kapitel 6.6.5) und weist hinsichtlich der benutzten Elemente und Grammatik Ähnlichkeiten auf [WESKE 2007].

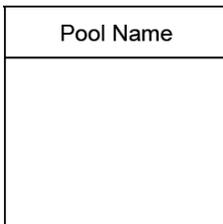
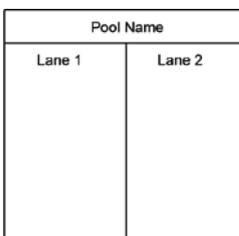
Grundsätzlich können mit BPMN ähnlich wie in UML eine Vielzahl verschiedener Elemente wie Aktivitäten, Ereignisse, Gateways, Flüsse, Objekte und Zuständigkeiten dargestellt werden. Im Gegensatz zu UML können die BPMN-Elemente in weitere Unterelemente zerlegt werden. Zum Beispiel werden Ereignisse nicht nur in Start-, Zwischen- und Endereignisse unterschieden, sondern können auch nach ihrer Art getrennt werden (vgl. Tabelle 6.6).

Tabelle 6.6 Beispieltabelle mit Element-Differenzierung in BPMN (Auszug Tabelle Eventtypen in [BPMN 2.0])

Types	Start			Intermediate				End
	Top-Level	Event Sub-Process Interrupting	Event Sub-Process Non-Interrupting	Catching	Boundary Interrupting	Boundary Non-Interrupting	Throwing	
None								
Message								
Timer								
Error								
Escalation								
Cancel								
Compensation								
Conditional								

Diese hohe Spezialisierung der Symbolik erscheint für die Darstellung von Geschäftsprozessen sinnvoll, insbesondere, wenn die Prozesse maschinenlesbar sein sollen und schnell als IT-Prozesse ausgeführt werden. Für die generische Beschreibung von Bahnprozessen ist dies aber nicht zwingend notwendig, so dass die Evaluation nur an Hand der Basiselemente vollzogen wird (vgl. Tabelle 6.7).

Tabelle 6.7 BPMN-Symbole im Evaluationsprozess

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Aktivität	Vorgang innerhalb eines Prozesses
	Startereignis	Beginn eines Prozesses
	Endereignis	Ende eines Prozesses
	Gateway	Verzweigung oder Zusammenführung eines Prozesses, kann auch als Kontrollknoten verwendet werden
	Kontrollfluss	Gerichtete Verbindung zwischen zwei Knoten
	Pool	Darstellung eines Unternehmens oder einer wesentlichen Geschäftseinheit
	Lane	Darstellung von weiteren Zuständigkeitsbereichen innerhalb eines Pools

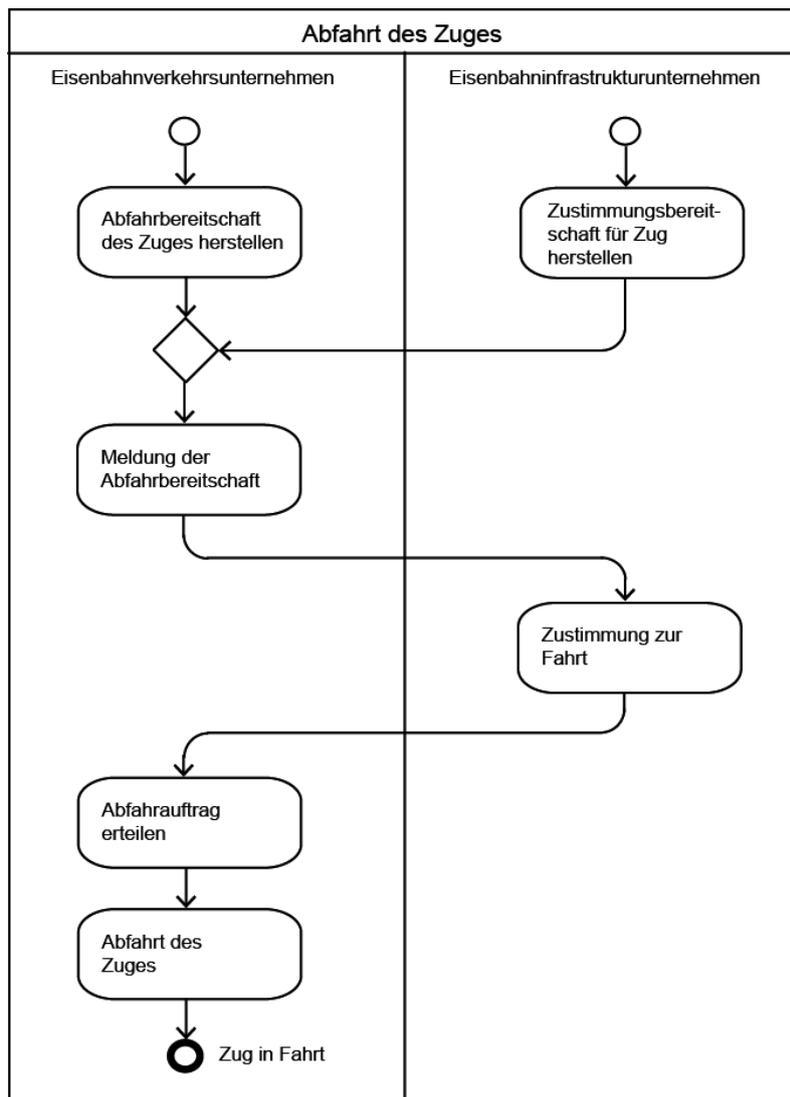


Abbildung 6.3 Evaluationsprozess als BPMN-Prozessdiagramm

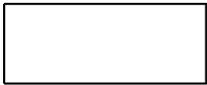
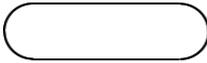
Das Diagramm des Evaluationsprozesses zeigt eine deutliche Verwandtschaft mit UML (Abbildung 6.3). Die Struktur des Diagramms ist weitestgehend gleich und die Abbildung der Symbole weicht nur geringfügig ab. Die Darstellung der einzelnen Aktivitäten und ihre Verknüpfungen entspricht der von UML. Ebenfalls ist die Unterscheidung in verschiedene Verantwortungsbereiche möglich. Zusätzliche Informationen können in BPMN auch als Klartext in das Diagramm eingefügt werden und tragen damit zum besseren Verständnis bei.

Bei der generischen Modellierung des Prozesses „Abfahrt des Zuges“ können die spezifischen BPMN-Stereotypen nicht verwendet werden, so dass es gegenüber eines UML-Diagramms keine wesentlichen Vor- oder Nachteile gibt.

6.6.4 Programmablaufplan mit Notation nach DIN 66001

Die Norm DIN 66001 ist eine Festlegung von Sinnbildern, mit denen Diagramme in der Informationsverarbeitung erstellt werden können. Die Inhalte der Norm werden von der International Organization for Standardization (ISO) verwendet und werden weitestgehend unverändert als ISO-Normen (ISO 1028, ISO 2636, ISO/DIS 5807) publiziert. Die Norm ermöglicht die Darstellung verschiedene Modelltypen, wie z. B. Datenflusspläne, Programmablaufpläne, Programmhierarchien oder Programmnetze [DIN 66001]. Die Eignung der DIN 66001 wird nachfolgend getestet.

Tabelle 6.8 Symbole der DIN 66001 im Evaluationsprozess

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Verarbeitung	Verarbeitung (Prozess) allgemein
	Grenzstelle	Terminator, der u.a. Anfang und Ende einer Abfolge darstellen kann.
	Verbindung	Verarbeitungsfolge, kann gerichtet mit Pfeil oder zweiseitig als Doppelpfeil dargestellt werden.

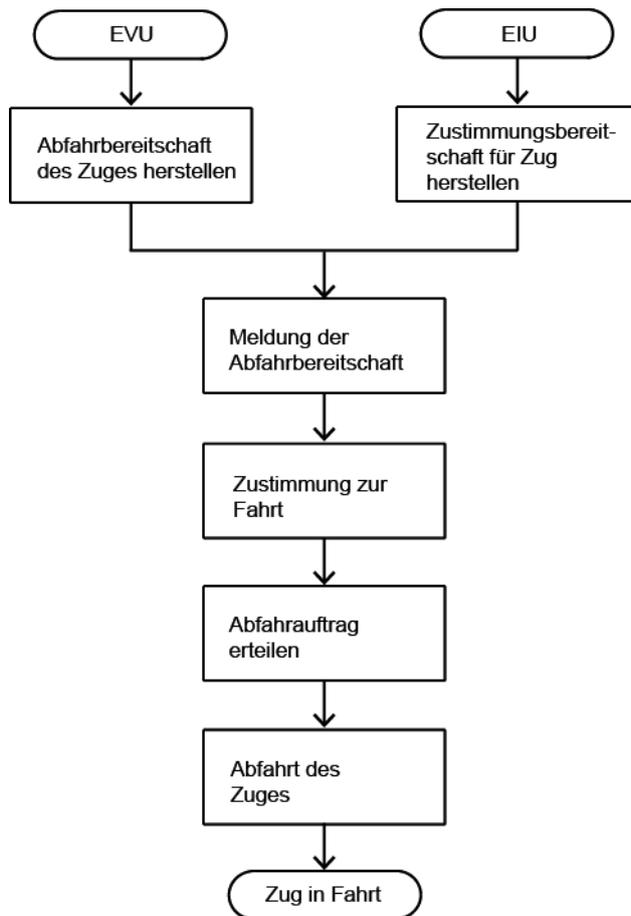


Abbildung 6.4 Evaluationsprozess als Programmablaufplan

Die Darstellung des Evaluationsprozesses ist sehr einfach möglich (Abbildung 6.4). Wie in UML können mehrere Startpunkte den Prozess einleiten, deren weitere Datenflüsse zusammengeführt werden. Start- und Endpunkte können von den allgemeinen Verarbeitungsschritten graphisch unterschieden werden. Die Zuordnung von Aktionen (Verarbeitungsschritten) nach Verantwortungsbereichen, analog den Partitionen in UML, wird nicht untersagt, aber auch nicht maßgeblich durch entsprechende Symbole unterstützt. Wie bei UML und BPMN ist hier das Hinzufügen von zusätzlichen Erklärungstexten möglich.

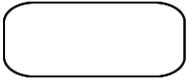
Die aktuellste Beschreibung der DIN 66001 stammt aus dem Jahr 1983 [DIN 66001], wurde seitdem offensichtlich nicht weiterentwickelt und ist scheinbar nicht der Entwicklung in der Prozessmodellierung gefolgt. Die mangelnde Aktualität lässt einen rückläufigen oder geringen Gebrauch dieses Beschreibungsmittels vermuten.

6.6.5 Ereignisgesteuerte Prozesskette

Das Beschreibungsmittel Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) ist eine semiformale Sprache und ein wesentlicher Modelltyp in der ARIS-Methode. Die EPK wurde zum Großteil aus der Petri-Netz-Theorie heraus entwickelt und um logische Verknüpfungsoperatoren ergänzt. Die EPK besteht aus Symbolen für Ereignisse, Funktionen, Schnittstellen, Konnektoren und Kanten. Da EPKs Prozesse mit ihren Kontrollflüssen abbilden, sind sie für die Modellierung von Geschäftsprozessen geeignet. Ist die Auswahl der Symbole einer einfachen EPK nicht mehr ausreichend, dann kann diese um weitere Objekttypen ergänzt werden, welche für die Darstellung von Personen, Dokumenten, Finanzmitteln, Organisationseinheiten u. a. geeignet sind. Man spricht in diesem Fall dann von einer „erweiterten Ereignisgesteuerten Prozesskette“ [LEHMANN 2008].

In diesem Kapitel wird eine normale EPK zur Darstellung des Evaluationsprozesses verwendet (Symbolbeschreibung in Tabelle 6.9).

Tabelle 6.9 EPK-Symbole im Evaluationsprozess

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Ereignis	leitet Funktionen ein und/oder beschreibt das Ergebnis einer Funktion
	Funktion	Aufgabe, Tätigkeit, Aktivität; gruppierbar, untergliederbar (z.B. Funktionsbaum); hat immer ein Ereignis als Vorgänger und als Nachfolger
	Verknüpfung	Logischer Operator zur Verknüpfung von Prozesszweigen (hier UND-Operator)
	Kontrollfluss	ermöglicht Durchgang durch EPK

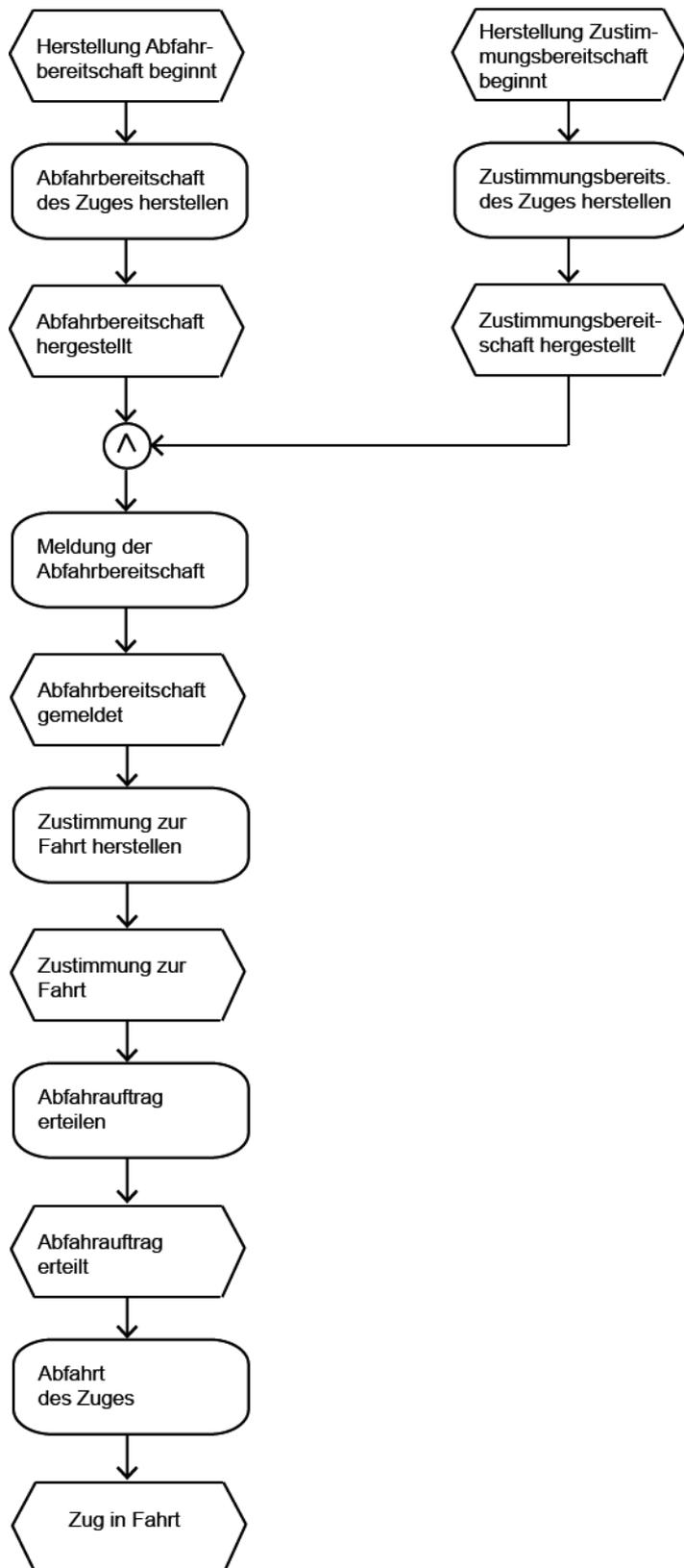


Abbildung 6.5 Evaluationsprozess als Ereignisgesteuerte Prozesskette

Die Prozesskette ist in ihrer Grundstruktur (siehe Abbildung 6.5) der des Petri-Netz-Diagramms und des Programmablaufplans ähnlich, allerdings ist sie wesentlich länger als ein UML- oder BPMN-Diagramm. Wie bei der Abbildung als Petri-Netz fordert die EPK-Grammatik, dass jeder Funktion ein Ereignis vorangeht und nachfolgt. Praktisch müssen Funktionen und Ereignisse alternieren, was ein umfangreiches Diagramm zur Folge hat. Begründet wird das mit einer höheren Aussagekraft¹⁰², da durch Konnektoren zusätzliche Verzweigungen und Zusammenführungen erstellt werden können. Grundsätzlich besteht bei einer EPK die Möglichkeit, nach jeder Funktion den Prozess in zwei Ereignisse aufzuteilen, die den Prozess fortführen oder abbrechen. Darauf wurde in der Abbildung 6.5 aus Gründen der Übersichtlichkeit bewusst verzichtet, da der Regelverlauf und nicht der gestörte Ablauf des Prozesses modelliert werden soll.

Für die zusätzliche Darstellung von Zuständigkeitsbereichen wie im UML- und BPMN-Diagramm (Abbildung 6.3) existieren in einer einfachen EPK keine vergleichbaren Symbole.

6.6.6 Wirkschaltplan

Ein Regelkreis ist ein geschlossener Informationsfluss in einem Prozess, in dem durch Messung Informationen mit vorgegebenen Leitinformationen verglichen werden, die daraus Einflussgrößen generieren, die über ein Stellglied auf den Prozess einwirken. Verlaufen mehrere Regelkreise nach- oder nebeneinander, dann bilden diese Wirkungsstrecken und -wege. Ein Wirkschaltplan dokumentiert eine Systemstruktur und zeigt die gegenseitige Beeinflussung der enthaltenen Teilsysteme entlang der Wirkungswege [TRÖSTER 2011].

¹⁰² Vgl. [LEHMANN 2008], Seite 65

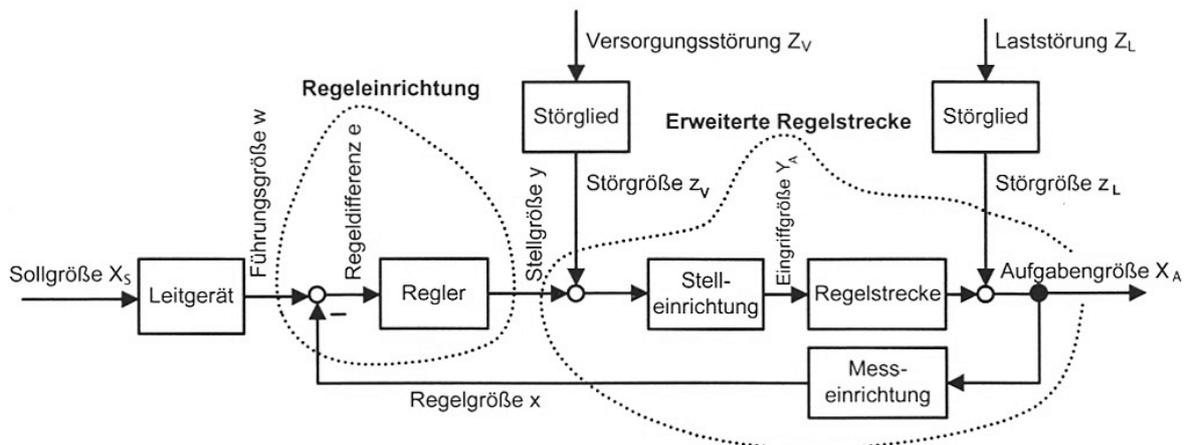


Abbildung 6.6 Allgemeiner Regelkreis [TRÖSTER 2011]

Die Abbildung von Regelkreisen erfolgt graphisch als Blockschaltbild, in dem Elemente zur Darstellung von Reglern, Regelstrecken, Stell- und Messeinrichtungen verwendet werden (Abbildung 6.6). Die Verbindung dieser Elemente erfolgt über Wirkungslinien zur Abbildung des Signalflusses. Über Knoten (Signalverzweigung, Mischstelle) kann der Signalfluss verzweigt werden [SVARICEK 2013], so dass ein Regelkreis entsteht, in dem der Sollwert einer physikalischen Größe erreicht werden soll.

Die Darstellung des Eisenbahnbetriebs in einem einfachen Regelkreis wurde bereits von [POTTTHOFF 1979] aufgegriffen, in dem die Überwachung des Fahrplans durch die Betriebsleitung (Soll-Ist-Vergleich Fahrzeitangaben) skizziert wird. Eine Erweiterung dieses Regelkreises erfolgte durch Trinckauf in [FENNER 2003], indem die Regelung mehrerer Zugfahrten und deren Überwachung durch die Disposition visualisiert wurde. In [MASCHEK 2012] wurde der Regelkreis unter Einbezug von Bahnsicherungsaspekten weiterentwickelt (vgl. Abbildung 6.7)[MASCHEK 2012]. Auch wenn die Elemente der Bahnsicherungstechnik Teile der Eisenbahnbetriebsprozesse unterstützen, können hier keine betrieblichen Abläufe nachvollzogen werden. Vielmehr wird die sicherungstechnische Rückkopplung Fahrzeug – Infrastruktur während einer Fahrzeugbewegung dargestellt.

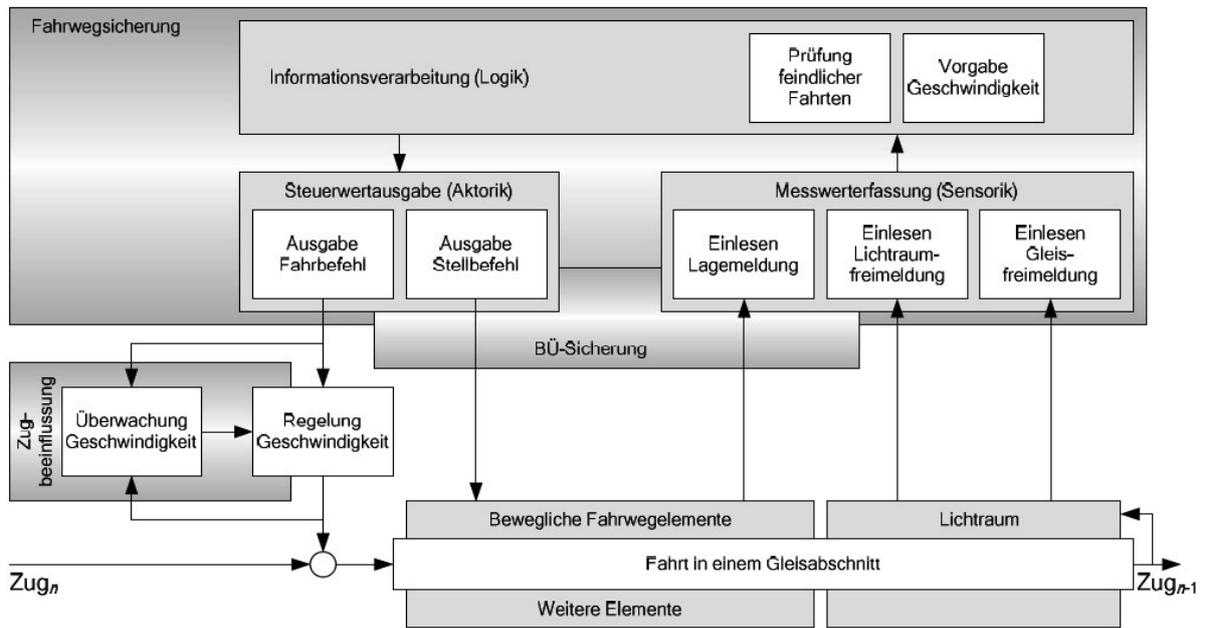


Abbildung 6.7 Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr [MASCHEK 2012]

Die Abbildung des Evaluationsprozesses als Wirkschaltplan wird nachfolgend in der Abbildung 6.8 dargestellt.

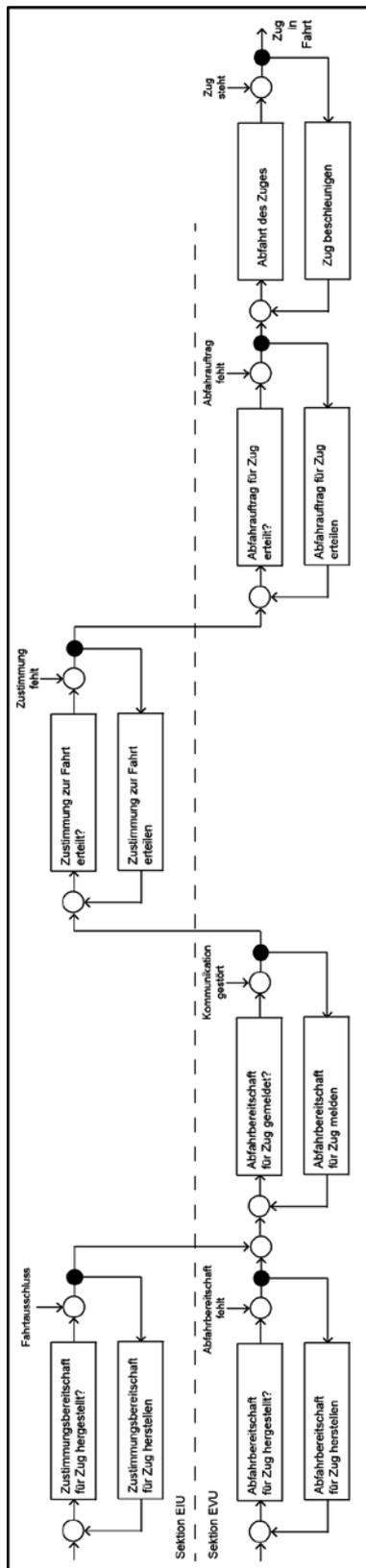


Abbildung 6.8 Evaluationsprozess als Wirkschartplan

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Darstellung des Evaluationsprozesses als Wirk Schaltplan möglich ist. Neben der Modellierung der Verantwortungsbereiche als Sektionen können zusätzlich zum UML-Diagramm die Einflüsse von Störgrößen berücksichtigt werden. In Bezug auf die Struktur des Diagramms gleicht es dem UML-Diagramm, in dem die Regelkreise nacheinander eine Wirkungsstrecke bilden. Die Wirkungsstrecken der EVU- und EIU-Sektionen ergeben den gesamten Wirkungsweg. Weiterhin kann positiv vermerkt werden, dass die einzelnen Aktivitäten sich selbst auf Vollständigkeit prüfen, bevor die nächste Aktivität beginnt. In der visuellen Darstellung wird eine sehr komplexe Graphik erzeugt, die bei umfangreicheren Betriebsprozessen schnell unübersichtlich wirken kann.

6.7 Auswahl Beschreibungsmittel und Begründung

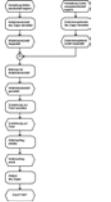
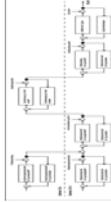
In diesem Kapitel wird das zu verwendende Beschreibungsmittel für die Darstellung der Betriebsprozesse ausgewählt. Dabei werden die Kriterien aus Kapitel 6.3 verwendet und die Entscheidung anschließend diskutiert.

Die einzelnen Kriterien werden in Tabelle 6.11 aufgeführt und entsprechend des Maßstabes bewertet. Es stehen drei Benotungsmöglichkeiten zur Auswahl:

Tabelle 6.10 Bewertungsmaßstab Beschreibungsmittel

Note	Bedeutung
1	Kriterium wird weitestgehend erfüllt.
0	Kriterium wird zum Teil erfüllt.
-1	Kriterium wird nicht erfüllt.

Tabelle 6.11 Evaluationsmatrix Beschreibungsmittel

Beschreibungs- mittel	Abbildung	Hierarchie	Abgrenzung	Anschaulichkeit	Verantwortungs- bereiche	Verzweigungen	Generische Be- schreibung	Summe
Petri-Netz		- 1	- 1	- 1	- 1	1	0	- 3
UML		1	1	1	1	1	1	6
BPMN		1	1	1	1	1	0	5
Programmablauf- plan		1	0	0	- 1	1	1	2
Prozesskette		- 1	- 1	- 1	- 1	1	1	- 2
Wirkschalplan		- 1	- 1	- 1	0	0	0	- 3

Um die einzelnen Betriebsprozesse makroskopisch als Prozesslandkarte darstellen zu können, ist es notwendig, Unterprozesse integrieren zu können. Dabei ist es vorteilhaft, wenn ein Prozesselement herausgelöst werden kann, um darin einen neuen Prozess mit höherem Detaillierungsgrad abbilden zu können. Bei dem Petri-Netz-Diagramm, der Prozesskette und dem Regelkreis muss ein funktionaler Schritt mit mehr als einem Symbol beschrieben werden. Die Eigenschaft der Hierarchiebildung ist nicht hinreichend von Vorteil und wurde mit „-1“ bewertet.

Die Abgrenzung eines Prozesses ist nur bei UML und BPMN mit konkreten Symbolen darstellbar. Zusätzlich sind Anfang und Ende eines Prozesses im Vergleich zum Programmablaufplan mit unterschiedlichen Symbolen gekennzeichnet, weshalb an dieser Stelle jeweils mit „1“ bewertet wurde.

Die übersichtliche und präzise Darstellung des Evaluationsprozesses ist bei UML und BPMN am besten. Die Länge der Darstellung beschränkt sich auf die wesentliche funktionale Beschreibung, ohne Bestandteile auszulassen oder Fehlinterpretationen zu unterstützen. Die Abbildungslänge des Programmablaufplanes ist vergleichbar mit UML und BPMN, hat aber nur eine beschränkte Anzahl verwendbarer Symbole, so dass zusätzliche Erklärungen in Textform zu erwarten sind. Die übrigen drei Beschreibungsmittel erscheinen dagegen als unnötig lang und unübersichtlich, insbesondere bei Verwendung von Regelkreisen in einem Wirkschaltplan.

Die Modellierung von Verantwortungsbereichen ist für UML, BPMN und Wirkschaltpläne möglich. Die Darstellung mit zusätzlichen Informationen ist bei Wirkschaltplänen vergleichsweise geringer ausgeprägt, weshalb hier mit „0“ bewertet wurde.

Die Abbildung von Verzweigungen in einem Prozess ist bei allen Beschreibungsmitteln möglich. Im Wirkschaltplan werden aber grundsätzlich sehr viele Verzweigungen und Zusammenführungen verwendet, so dass die einzige wesentliche Zusammenführung vor „Meldung der Abfahrtsbereitschaft“ nicht besonders deutlich hervortritt.

Grundsätzlich ist die generische Beschreibung des Evaluationsprozesses „Abfahrt des Zuges“ mit allen Beschreibungsmitteln möglich. Petri-Netz-Diagramme sind allerdings besser für die Darstellung dynamischer Systemzustände geeignet. Um eine generische Beschreibung zu ermöglichen, wurden in dieser Arbeit wesentliche Bestandteile weggelassen. Eine generische Beschreibung ist dennoch möglich, allerdings in dieser Form für Petri-Netze nicht vorgesehen. Ähnliches trifft auch auf den Wirkschaltplan zu. Regelkreise sind für die Modellierung von sich stetig ändernden Messgrößen geeignet. Die Eisenbahnbetriebsprozesse benötigen lediglich diskrete

Zustände in Form einer erfüllten oder nicht erfüllten Bedingung. Die Verwendung von Wirkschaltplänen für eine generische Prozessbeschreibung ist ebenfalls nicht optimal und wurde in beiden Fällen mit „0“ bewertet.

Das Beschreibungsmittel BPMN wird basierend auf UML entwickelt und hat seine Stärken in einer sehr konkreten und realisierungsbezogenen Beschreibung. In einer generischen Abbildung wird darauf jedoch verzichtet, so dass die prinzipielle Darstellung gegenüber UML sehr ähnlich ist und sich nur marginal unterscheidet. Bei der generischen Beschreibung von BPMN können die eigentlichen Vorteile dieser Sprache nicht verwendet werden. Aus diesem Grund wird die Note „0“ vergeben und der Sprache UML der Vorzug eingeräumt.

Für die Beschreibung der Eisenbahnbetriebsprozesse eignet sich UML am besten und wird im Weiteren verwendet.

7 Ableitung generischer Eisenbahnbetriebsprozesse

7.1 Einleitung

In Kapitel 7 werden ausgehend von allgemeinen Gesetzmäßigkeiten generische Betriebsprozesse für Fahrzeugbewegungen entwickelt. Der methodische Ablauf verwendet generische Betriebsmittel (Infrastruktur, Fahrzeuge, LST) und untersucht die Möglichkeit zum Aufbau eines Eisenbahnsystems. Es wird zunächst ein generisches Verkehrssystem untersucht und dafür eine theoretische Gestaltungsform erzeugt.

Die Konfiguration von Bahnsystemen, in denen Züge autonom und individuell verkehren, ist sehr aufwändig, so dass kommerzielle Eisenbahnnetze unter der Prämisse betrieben werden, dass Abstimmungs- und Koordinationsprozesse zwischen der Infrastruktur und den Fahrzeugen erfolgen. Die dafür notwendigen Abläufe werden ausgehend von einer einfachen Topologie schrittweise durch Erweiterung der Infrastruktur sowie der Fahrzeuganzahl herausgearbeitet und in generischen UML-Diagrammen beschrieben.

Abschließend soll die allgemeine Beschreibung einer Zugfahrt möglich sein, welche unabhängig von konkreten Infrastruktur- und Fahrzeugausprägungen ist und die fundamentalen Eigenschaften eines Eisenbahnsystems einbezieht. Bei der generischen Beschreibung wird ein regulärer, störungsfreier Prozessablauf modelliert.

Im Bahnbetrieb können vielfältige Störungen oder Gefahrensituationen auftreten, die den Zug, die Infrastruktur oder den gesamten Betrieb betreffen. Das Spektrum an alternativen Handlungen ist sehr umfangreich und reicht von unauffälligen, kleinen Maßnahmen bis hin zur sofortigen Gefahrenabwehr mit Einstellung des Betriebes und Einleitung von Rettungsmaßnahmen. Mit dem aktuellen Wissensstand kann nicht sicher bestätigt werden, ob Prozesse im Störfall aussagekräftig generisch beschrieben werden können bzw. Modelle ohne Bezug auf konkrete Realisierungen überhaupt sinnvoll möglich sind. Weiterhin wird angenommen, dass Aktivitäten, die Störereignissen entgegenwirken, innerhalb eines generischen Prozessdiagramms zu einer deutlichen Zunahme der Komplexität des Modells führen. Zum Beispiel können Entgleisungen in allen Momenten auftreten, in denen sich ein Fahrzeug bewegt. Es müsste demzufolge von jeder Bewegungsaktivität ein Kontrollfluss zu einer Aktion führen, welche einen Prozess „Entgleisung“ einleitet. Es wird empfohlen, die Model-

lierung von generischen Prozessen mit Störungen im Bahnbetrieb in einem späteren Entwicklungsschritt zu vollziehen und unter Berücksichtigung von Aspekten der Risiko- und Sicherheitswissenschaften.

7.2 Detaillierungsgrad der Betriebsprozesse

Bereits in Tabelle 6.1 wurde ein möglicher Detaillierungsmaßstab für die zu beschreibenden Prozesse vorgeschlagen. Dieser soll im Weiteren beibehalten werden. Dabei wird die Möglichkeit für eine feinere Untergliederung innerhalb eines bestimmten Detaillierungsgrades aus Gründen der besseren Darstellbarkeit offen gehalten. Im Folgenden werden die Charakteristiken der jeweiligen Abstufungen festgelegt:

Makroskopisch

Die für den Eisenbahnbetrieb notwendigen Prozesse werden benannt und Verknüpfungen untereinander dargestellt. Ein möglicher Prozess „Fahrt“ oder „Abstellung“ wird als makroskopisch eingestuft. Es werden keine Funktionen abgebildet und der Prozess ist generisch.

Mesoskopisch

Die Prozesse werden mit den notwendigen Funktionen beschrieben und gegenüber anderen Prozessen abgegrenzt bzw. Verknüpfungen markiert. Aus Gründen der besseren Darstellbarkeit sind Unterprozesse und die darin enthaltenen Aktionen, Entscheidungen und Funktionen möglich.

Es dürfen keine konkreten Realisierungsformen (Objekte) in der mesoskopischen Prozessbeschreibung verwendet werden, es sei denn, sie sind für das System Eisenbahn charakteristisch und werden als generische Betriebsmittel¹⁰³ eingestuft. Es soll zulässig sein, anstelle komplizierter Formulierungen wie Schienenfahrzeugverbände und Zugangsplattformen Begriffe wie Züge und Bahnsteige zu verwenden. Ein Prozess „Zug fahren“ oder „Zug bilden“ wird als mesoskopisch eingestuft. Dieser Detaillierungsgrad ist generisch.

¹⁰³ Siehe Kapitel 7.4 & 7.5.4.

Mikroskopisch

Die Prozesse sind derart genau ausgearbeitet, dass ein bestimmtes Verhalten beschrieben wird und konkrete Realisierungsformen benannt werden. Dieser Grad ist für die praktische Anwendung geeignet und Prozesse können weiter untergliedert sein, z. B. wenn allgemeine (system-/ unternehmensweite) Prozesse von regionalen oder situationsbezogenen Abläufen abgegrenzt werden müssen oder in Regelwerken ausformuliert sind. Dieser Detaillierungsgrad ist nicht mehr generisch.

Für die generische Beschreibung werden in dieser Arbeit der makro- und mesoskopische Detaillierungsgrad verwendet.

7.3 Physikalischer Ansatz

Ein Eisenbahnfahrzeug ist darauf angewiesen, auf der nur dafür vorgesehenen Eisenbahninfrastruktur verkehren zu können. Der Fahrweg ist ein Bestandteil dieser Infrastruktur und gleichzeitig das Bezugssystem für das Fahrzeug. Mehrere Eisenbahnfahrzeuge können einen Zug bilden, dessen Länge sich zwischen der Zugspitze (in Fahrtrichtung vorn) und dem Zugschluss erstreckt. Fahrdynamisch wird der Zug als eine Einheit betrachtet und die Relativbewegung zwischen einzelnen Fahrzeugen wird vernachlässigt.

Auf Grund der Spurführung ist es nicht möglich, dass ein Zug seine Position seitlich oder in der Höhe zum Fahrweg ändern kann. Demzufolge kann er sich nur entlang des Fahrweges bewegen und befindet sich deshalb in einem eindimensionalen Raum.

Die aktuelle Position eines Zuges kann relativ zu einem Bezugspunkt auf dem Fahrweg mittels der Länge r zwischen Bezugspunkt und Zug bestimmt werden. Um die Bewegungsrichtung des Zuges ermitteln zu können, muss man die Änderung der Weglänge Δr zwischen zwei Positionen erfassen. An Hand des Vorzeichens (Entfernung zum Bezugspunkt wird größer oder kleiner) kann die Bewegungsrichtung festgestellt werden.

Die Geschwindigkeit v ist die Änderung des Ortes nach der Zeit t und ist eine Vektorgröße mit Betrag und Richtung.

$$\bar{\vec{v}}(t_1, t_2) = \frac{\vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Formel 7.1 Mittlere Geschwindigkeit [MESCHEDE 2010]

Die Beschleunigung a ist die Änderung der Geschwindigkeit nach der Zeit und ist ebenfalls eine Vektorgröße mit Betrag und Richtung.

$$\bar{\vec{a}}(t_1, t_2) = \frac{\vec{v}(t_2) - \vec{v}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Formel 7.2 Mittlere Beschleunigung [MESCHEDE 2010]

Bezüglich der Bewegungszustände können folgende Gegebenheiten aus Geschwindigkeit und Beschleunigung für einen Punkt abgeleitet werden:

„Ändert sich die Richtung von \vec{v} nicht (aber evtl. die Größe), so ist die Bahn geradlinig.“¹⁰⁴

„Wenn sich nur die Größe der Geschwindigkeit ändert, hat die Beschleunigung \vec{a} die Richtung (oder Gegenrichtung) zur Geschwindigkeit \vec{v} , je nachdem, ob es sich um eine Beschleunigung [...] oder Bremsung handelt (Tangentialbeschleunigung).

Wenn sich nur die Richtung der Geschwindigkeit ändert, steht der Beschleunigungsvektor senkrecht auf dem Geschwindigkeitsvektor, also auch senkrecht auf der Bahn (Normalbeschleunigung).“¹⁰⁵

Die Bewegungsrichtung eines Zuges wird durch die Infrastruktur bestimmt und nicht durch das Fahrzeug. Aus Sicht des Fahrzeuges kann nur zwischen einer Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung gewählt werden. Für die Beschreibung der allgemeinen Bewegungsabfolge wird auf Gleisbögen (und Längsneigung) verzichtet und der Zug bewegt sich betrieblich in einem eindimensionalen Raum. Das Gleisnetz könnte dann als ein aus der Graphentheorie entlehntes Knoten-Kanten-Modell abgebildet werden, welches u. a. bei rechnergestützten Betriebssimulationen verwendet wird [HÜRLMANN 2002].

Zur Beschreibung der Betriebsprozesse werden die zulässigen Bewegungszustände eines Zuges hergeleitet und miteinander kombiniert. Allgemein sind diese Zustände

¹⁰⁴ Zitat aus [MESCHEDE 2010], Seite 14

¹⁰⁵ Zitat aus [MESCHEDE 2010], Seite 15

für kurze und leichte als auch für lange und schwere Züge gleich. Dazu ist es vorläufig ausreichend, wenn man die Geschwindigkeit und die Beschleunigung berücksichtigt. Die Masse und Länge des Zuges kann vernachlässigt werden, so dass der Zug vereinfacht nur als Einheit betrachtet wird. Es werden folgende Festlegungen getroffen:

- Zug im eindimensionalen Raum
- Zug als Einheit

Allgemein ergeben sich folgende abstrakte Bewegungszustände für einen Zug:

Tabelle 7.1 Übersicht physikalischer Bewegungszustände bezüglich a und v

	$v = 0$	$v > 0$	$v < 0$
$a = 0$	Stillstand	Gleichförmige Bewegung	Gleichförmige Bewegung
$a > 0$	Anfang Bewegung ($t = 0$)	Beschleunigte Bewegung	Beschleunigte Bewegung
$a < 0$	Ende Bewegung ($t = 0$)	Beschleunigte Bewegung	Beschleunigte Bewegung
	keine Bewegung	Bewegung vorwärts	Bewegung rückwärts

Unter der Annahme, dass ein Beobachter von einem Bezugspunkt aus auf den Zug blickt, würden sich folgende tatsächliche Bewegungszustände ergeben:

Tabelle 7.2 Übertragung physikalischer Bewegungszustände auf Fahrzeugfahrten

	$v = 0$	$v > 0$	$v < 0$
$a = 0$	Halt	Beharrungsfahrt vorwärts	Beharrungsfahrt rückwärts
$a > 0$	Anfang Fahrt ($t = 0$)	Beschleunigung vorwärts	Bremsen (Ausrollen) rückwärts
$a < 0$	Ende Fahrt ($t = 0$)	Bremsen (Ausrollen) vorwärts	Beschleunigung rückwärts

In Tabelle 7.1 und Tabelle 7.2 sind die Zellen *Anfang Fahrt* und *Ende Fahrt* an sich keine Bewegungszustände, sondern nur die Übergänge von und zu einem *Halt* des Zuges.

Mit Hilfe der physikalischen Bewegungszustände kann der Fahrtverlauf eines Zuges nachvollzogen werden, indem die Zustände in einem Modell entsprechend verknüpft werden. Allerdings lassen sich darin noch nicht die zu erfüllenden Verkehrsfunktionen der Eisenbahn abbilden.

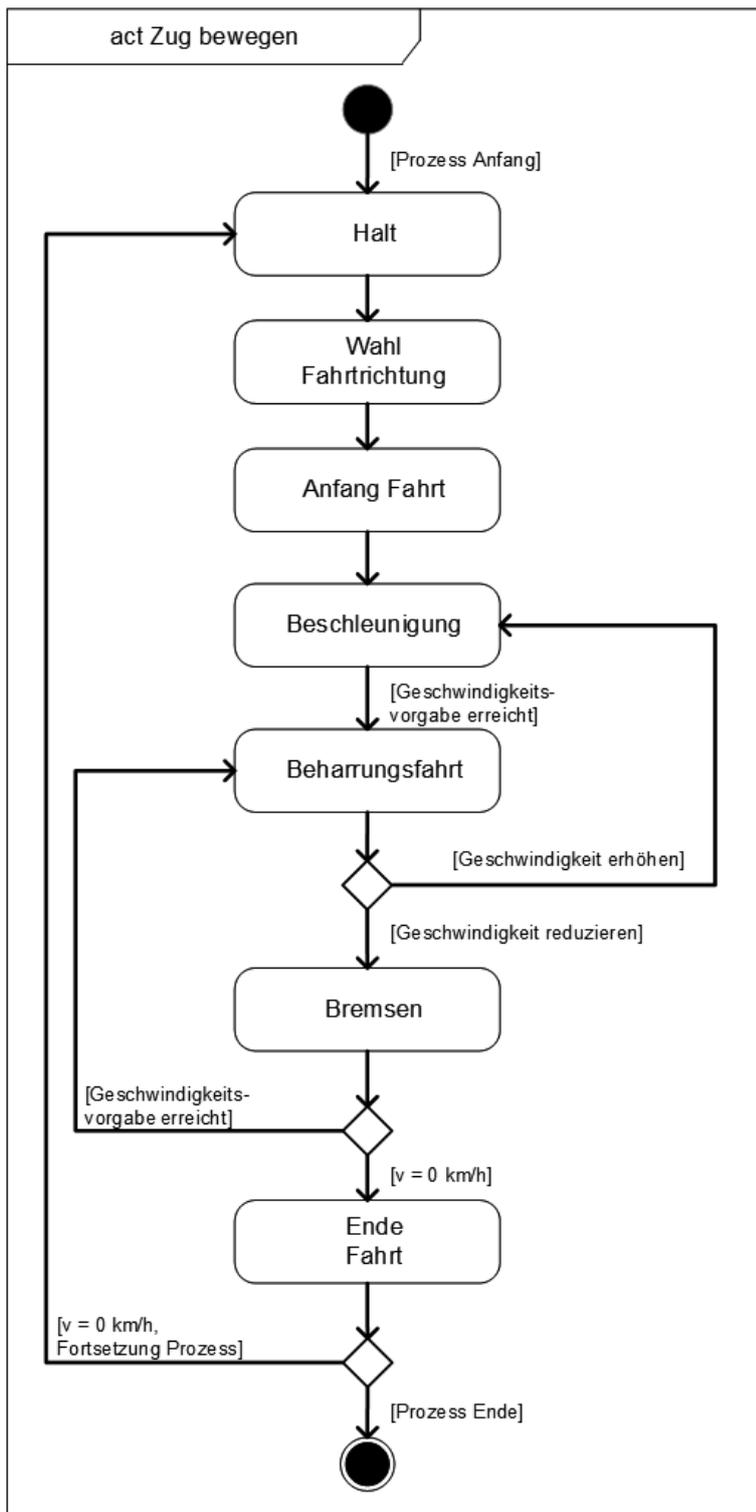


Abbildung 7.1 Prozess „Zug bewegen“ als UML-Aktivitätendiagramm

In Abbildung 7.1 sind die physikalischen Bewegungszustände einer Zugfahrt als UML-Aktivitätendiagramm modelliert. In Tabelle 7.2 sind neun Zustände aufgeführt, im Diagramm dagegen nur sieben Zustände als Aktivitäten (Aktionsknoten) abgebil-

det. Die Aktivitäten „Beharrungsfahrt“, „Beschleunigung“ und „Bremsen“ treten entsprechend der Fahrtrichtung zweimal in Tabelle 7.2 auf. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde eine neue Aktion „Wahl Fahrtrichtung“ eingefügt, welche immer während eines Halts stattfinden kann.

Theoretisch ist es möglich, von der Aktivität „Beschleunigung“ direkt zum „Bremsen“ übergehen zu können (und umgekehrt). Dafür müssten jeweils zwei weitere Kanten die entsprechenden Aktivitäten verbinden. Unter der Annahme, dass eine „Beharrungsfahrt“ zeitlich sehr kurz ist ($t \approx 0$ s), können die zusätzlichen Kanten weggelassen werden.

7.4 Generische Betriebsmittel

7.4.1 Generische Elemente der Eisenbahninfrastruktur

7.4.1.1 Infrastruktur, Eisenbahninfrastruktur und Fahrweg

Infrastruktur ist die „materielle, institutionelle und personelle Grundlage einer arbeitsteiligen Wirtschaft. Ursprünglich in der militärischen Fachsprache verwendeter Begriff für ortsfeste Anlagen und Einrichtungen, die den Streitkräften dienen (z. B. Kasernen, Flugplätze, Brücken).“¹⁰⁶

In [AMMOSER 2006] werden zwei Begriffsbedeutungen für Verkehrsinfrastruktur benannt:

- Verkehrsinfrastruktur ist „die Menge aller Grundeinrichtungen personeller, materieller und institutioneller Art, welche den Transport von Gütern, die Beförderung von Personen und die Übertragung bzw. Übermittlung von Nachrichten ermöglichen [...]“.“¹⁰⁷
- Umgangssprachlich für „die Menge der baulichen bzw. ortsfesten Anlagen im Verkehrswesen und damit stationäres Produktionsmittel zur Produktion von Verkehrsdienstleistungen.“¹⁰⁸

¹⁰⁶ Zitat aus [BROCKHAUS 2014], Versionsdatum 06.05.2014

¹⁰⁷ Zitat aus [AMMOSER 2006], Seite 27

¹⁰⁸ Zitat aus [AMMOSER 2006], Seite 28

Eine umfassende, jedoch weniger allgemein formulierte Beschreibung findet sich in [ADLER 1990]: „Bei der Eisenbahn sind Grundmittel der Infrastruktur die stationären Anlagen des Bereichs Eisenbahntransport, d. h. Oberbau und Strecken, Dämme und Einschnitte, Sicherungsanlagen, Empfangsgebäude, Block- und Stellwerksgebäude, Brücken, Tunnel, Fahrleitungen, Umspannanlagen, Ladestraßen, Bahnhofsvorplätze u. a.“¹⁰⁹

Die EU definiert das Teilsystem Infrastruktur als „Gleise, Weichen, Kunstbauten (Brücken, Tunnel usw.), zugehörige Infrastruktur in den Bahnhöfen (Bahnsteige, Zugangsbereiche unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von Personen mit eingeschränkter Mobilität usw.), Sicherheits- und Schutzausrüstung.“¹¹⁰ Getrennt davon ist das Teilsystem Energie als „Elektrifizierungssystem einschließlich Oberleitungen und bordseitiger Teile der Stromverbrauchsmesseinrichtungen“¹¹¹ abgegrenzt.

In [LÜBKE 2008] wird der Begriff Infrastruktur nicht definiert, dafür wird eine Beschreibung des Begriffes Bahnanlagen aufgeführt, der sich an der deutschen EBO orientiert: „Bahnanlagen der Bahnhöfe sind z. B. Empfangsgebäude, Stellwerke, Bahnsteige, Ladestraßen, Rampen, Gleise, Weichen, Signale, Zugvorheizanlagen [...]. Bahnanlagen der freien Strecke sind z. B. Gleise, Bahnkörper, Entwässerungsanlagen, Brücken, Tunnel, Bahnübergänge, Blockstellen, Abzweigstellen, Überleitstellen [...]. Sonstige Bahnanlagen sind z. B. innerbetrieblich erforderliche Nebenanlagen wie Ausbesserungswerke, Depots, Stofflager, Kraftwerke, Bahnstromleitungen.“¹¹²

Der Begriff Suprastruktur, der die auf Infrastrukturen (vergleichbar mit „Unterbau“) aufbauenden Strukturen bezeichnet¹¹³, ist im Bereich der Eisenbahn bisher wenig gebräuchlich.

Im Sinne einer sauberen und eindeutigen Abgrenzung wird Eisenbahninfrastruktur wie folgt definiert:

Eisenbahninfrastruktur ist die Gesamtheit aller immobilien (ortsfesten) Anlagen des Systems Eisenbahn.

¹⁰⁹ Zitat aus [ADLER 1990], Seite 424

¹¹⁰ Zitat aus [2008/57/EG], Seite 27

¹¹¹ Zitat aus [2008/57/EG], Seite 27

¹¹² Zitat aus [LÜBKE 2008], Seite 322

¹¹³ Vgl. [AMMOSER 2006], Seite 5

Die **betriebliche Eisenbahninfrastruktur** ist die Gesamtheit aller immobilen (ortsfesten) Anlagen, die der direkten Erfüllung der Verkehrsfunktionen dienen.

In den eingangs dieses Kapitels aufgeführten Begriffsbestimmungen werden die Anlagen der Bahnenergieversorgung in der recherchierten Literatur nur unzureichend oder nicht eindeutig als Elemente der Infrastruktur benannt. Es werden auch diejenigen Bestandteile nicht vollständig hinzugerechnet, welche sich unmittelbar am oder im Fahrweg befinden (Fahrleitungen, Rückstromführung, Erdungsanlagen) und für die Fahrdynamik notwendig sind. Die Bahnenergieversorgung hat für die Betriebsprozesse einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss (vgl. Abbildung 2.4).

„Die Bahnenergieversorgung [...] umfasst dabei die Gesamtheit der festen Einrichtungen der elektrischen Traktion.“¹¹⁴ Fahrleitungen sind „Teil der Bahnenergieversorgung und [...] Oberbegriff für Oberleitungen, Dritte Schienen, Stromschienen-Oberleitungen und Sonderfahrleitungen [...]“.¹¹⁵

In dieser Arbeit werden Anlagen der Bahnenergieversorgung, welche sich direkt im oder am Gleis befinden, zur betrieblichen Eisenbahninfrastruktur gezählt. Das betrifft im weitesten Sinne die **Fahrleitungsanlagen**, da diese selbst sowie die dazugehörigen Fahrleitungssignale vom Fahrzeugführer beachtet und richtig interpretiert werden müssen.

¹¹⁴ Zitat aus [KIESSLING 2014], Seite 38

¹¹⁵ Zitat aus [KIESSLING 2014], Seite 38

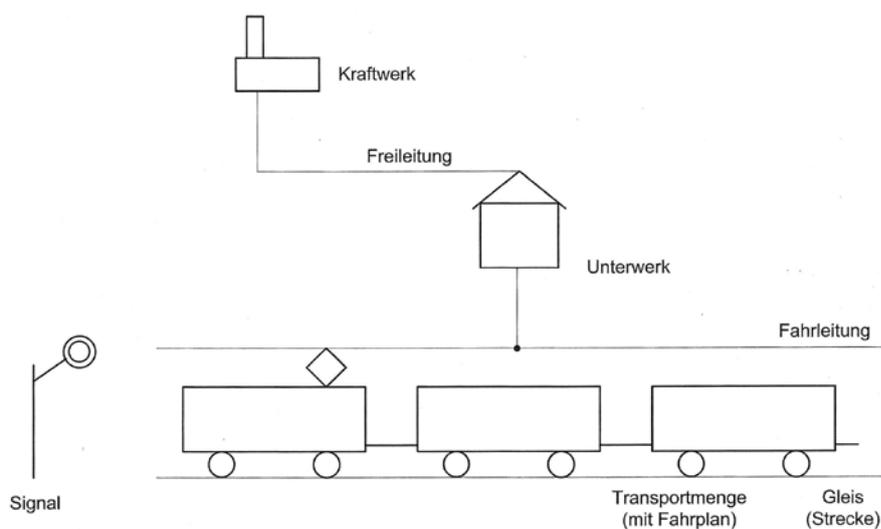


Abbildung 7.2 Das System „Elektrische Bahn“ [BIESENACK 2006]

Der **Fahrweg** ist ein Bestandteil der betrieblichen Eisenbahninfrastruktur und wird überwiegend im Zusammenhang mit der Durchführung und Sicherung der Fahrten verwendet. So ist der Fahrweg die „Summe der befahrenen Weichen und Gleisabschnitte zwischen einem Startpunkt [...] und einem Zielpunkt [...]“. Sind beim Benutzen eines Fahrweges alle Gefährdungsmöglichkeiten ausgeschlossen, wird er als gesicherter Fahrweg (Fahrstraße), anderenfalls als ungesicherter Fahrweg bezeichnet.¹¹⁶ Da für die bisherige Herleitung der generischen Betriebsprozesse noch keine Techniken oder Technologien zum Sichern der Fahrten verwendet wurden, wird unter Fahrweg vorläufig „der Weg, den ein Schienenfahrzeug nach Lage der Gleise und Weichen nehmen kann“¹¹⁷ verstanden.

7.4.1.2 Generische Funktionen des Fahrweges

Allgemein muss die Eisenbahninfrastruktur folgende Funktionen erfüllen:

- *„Tragen“*: Statische und dynamische Lasten, vertikales Bewegungsverhalten
- *Führen*: Horizontales Bewegungsverhalten in seitlicher Richtung
- *Vortrieb/ Bremsen*: Horizontales Bewegungsverhalten in Längsrichtung

¹¹⁶ Zitat aus [NAUMANN 2004], Seite 87

¹¹⁷ Zitat aus [FENDRICH 2007], Seite 561

- *Steuerung* der Fahrzeugeinheiten: Regelung der Geschwindigkeit und Wahl des Fahrweges
- *Sicherung* der Fahrzeugeinheiten: Vermeiden von Kollisionen zwischen mehreren Einheiten
- *Informationsversorgung*: Vermittlung der Information zur Benützung des Fahrweges
- *Energieversorgung*: Bewegungsenergie, Beleuchtung, Klimaanlage/ Heizung etc.¹¹⁸

Je nach konkreter Ausprägung des (Teil-) Netzes müssen einzelne oder alle Funktionen vom Fahrweg erfüllt werden. Die Funktionen Tragen, Führen und Vortrieb/Bremsen müssen definitiv immer von befahrbaren Fahrwegelementen erfüllt werden, andererseits würden die Fahrzeuge entgleisen oder am Ort verbleiben. Sie werden zur Funktion Fahren zusammengefasst.

Die Realisierung der Funktionen Steuerung und Sicherung der Fahrzeugeinheiten kann sich zwischen dem Fahrweg, den Fahrzeugen und der LST verschieben, je nachdem ob es sich um einfache Bahnstrecken, konventionelle Hochleistungsstrecken oder automatischen Zugbetrieb handelt. Es kann somit für ein generisches Fahrwegelement keine eindeutig generische Funktion festgelegt werden. Stellvertretend soll das Beispiel Flankenschutzweiche genannt werden. Eine Flankenschutzweiche entspricht in ihrer Bauform einer normalen Weiche und muss wie eine Verzweigungsweiche angesteuert und gesichert werden. Ihre Funktion besteht aber im Verhindern einer Flankenfahrt (LST-Funktion) und nicht in der Wahl zwischen zwei Wegen (Fahrwegfunktion). Gleiches gilt auch für die Funktionen der Informations- und Energieversorgung. Je nach verkehrlicher und betrieblicher Anforderung werden diese Funktionen permanent¹¹⁹ oder punktuell¹²⁰ erfüllt, müssen jedoch nicht zwingend über den Fahrweg verwirklicht werden. Es bietet sich an, allgemeine Funktionen für Fahrwegelemente zu konkretisieren.

Die Wahl der Fahrtrichtung muss auf Grund der Spurführung immer über den Fahrweg realisiert werden. Deshalb sind Fahrwegelemente notwendig, welche Gleise

¹¹⁸ Zitat aus [WEIDMANN 2012], Seite 16

¹¹⁹ Bsp.: Zugfunk, Linienförmige Zugbeeinflussung, Fahrleitung/ Rückstromführung

¹²⁰ Bsp.: Streckentelefon, Punktförmige Zugbeeinflussung, Tankstelle

miteinander verknüpfen (Funktion Verknüpfen). Die dafür verwendeten Fahrweegelemente sind diskret im Netz verteilt und enthalten bewegliche Bauteile. Ob die Änderung der Fahrtrichtung (Steuerung der Verknüpfungselemente) durch den Zug oder die LST angestoßen wird, bleibt vorerst unberücksichtigt. Eine weitere Funktion ist die Kreuzung mehrerer Fahrwege, welche im Regelfall durch räumliche Beschränktheit oder durch Begrenzung von Investitions- und Betriebskosten zustande kommt.

Die Kennzeichnung des Fahrwegendes ist notwendig, um zu verhindern, dass nach einem Überfahren das Schienenfahrzeug entgleist (Funktion Fahrwegende). Eine Rückkehr auf den regulären Fahrweg ist ohne fremde Hilfe nicht möglich.

Weiterhin gibt es Fahrweegelemente mit Sonderfunktionen, welche meist in Gleisen mit untergeordneter Bedeutung anzutreffen sind. Es wird die Sammelbezeichnung Sonderfunktion verwendet, da eine konkrete Funktionsbezeichnung nicht mehr generisch bestimmt werden kann. Zum Beispiel kann die Verwendung einer Gleiswaage aus unterschiedlichen Gründen erfolgen. Es wird zwar immer das Gewicht eines Zuges gemessen, dies kann aber aus verkehrlichen Gründen erfolgen (Bestimmung der Ladegutmenge) oder auf betrieblichen Ursachen beruhen (Bestimmung der Achslast, Erkennung von Lastverschiebungen). Je nach Bauform müssen andere Prozessabläufe für den Wiegevorgang beachtet werden.¹²¹

Es werden folgende generische Funktionen für den Fahrweg zusammengefasst:

- Fahren
- Verknüpfen
- Kreuzen
- Fahrwegende
- Sonderfunktion

Die Anordnung der Fahrweegelemente wird entsprechend der jeweiligen verkehrlichen Funktionen und der daraus resultierenden betrieblichen Anforderungen vorgenommen. Die vereinfachte schematische Darstellung eines Gleisplanes wird als **Topologie** bezeichnet „und bedeutet allgemein die Konfiguration von Netzwerkknoten und –verbindungen. Die Gleistopologie zeigt die Anordnung sowie die gegenseitige Lage

¹²¹ Bsp.: Gleisbrückenwaage, Dynamische Messung mit Dehnungsmessstreifen

und Verknüpfung der topologischen Grundelemente“¹²² bzw. der generischen Fahrwegelemente.

Im anschließenden Kapitel erfolgt die Herleitung der generischen Fahrwegelemente.

7.4.1.3 Elemente des Fahrweges

Der Fahrweg einer Eisenbahn setzt sich aus verschiedenen Fahrwegelementen zusammen. Diese können in erster Linie in starre und bewegliche Fahrwegelemente unterschieden werden (vgl. Abbildung 7.3). Im zweiten Schritt werden die Elemente entsprechend der fünf generischen Fahrwegfunktionen klassifiziert und es wird jeweils eine betriebliche Hauptfunktion zugeordnet. In einer dritten Abstufung wird innerhalb der Hauptfunktion differenziert. Die Unterscheidungsmerkmale orientieren sich an der Hauptfunktion und sind nicht übertragbar, z. B. wird bei der Funktion Verknüpfen in Durchfahren ohne Halt (Weiche) und Durchfahren mit Halt (Drehscheibe etc.) unterschieden. Eine Ausnahme stellt die bewegliche Brücke dar (Hauptfunktion Kreuzen und Sonderfunktion), bei der auf Grund mangelnder räumlicher Freiheit für den kreuzenden (systemfremden) Verkehrsweg ein bewegliches Fahrwegelement der Eisenbahn verwendet werden muss.

Das wichtigste (starre) Fahrwegelement ist das Gleis. Einem Gleis können eine oder mehrere verkehrliche und betriebliche Funktionen zugeordnet sein. Daraus ergibt sich die jeweilige Position im topologischen Raum der Eisenbahninfrastruktur (z. B. Funktion innerhalb eines Bahnhofes). Zu den wichtigsten Funktionen eines Gleises zählen:

- Durchfahren
- Verkehrshalt (mit Bahnsteig, Ladestelle)
- Betriebshalt (Überholung, Zugkreuzung, Abstellen)
- Wenden

Das Eisenbahngleis ist ein Zweischienengleis und wird gegenüber Ein-¹²³ oder Dreischienengleisen¹²⁴ unterschieden. Eisenbahngleise mit Zahnstange sind keine Drei-

¹²² Zitat aus [WEIDMANN 2012], Seite 51

¹²³ Bsp.: Wuppertaler Schwebebahn

¹²⁴ Dreischienengleise können bei Tagebaugroßgeräten verwendet werden [LBV 1994].

schienengleise, denn die Zahnstange unterstützt die Funktion Treiben/ Bremsen in starken Neigungsabschnitten und übernimmt keine Funktion Tragen oder Führen.

Um den Übergang zu anderen Gleisen (starrten Fahrwegelementen) herzustellen, benötigt man bewegliche Fahrwegelemente mit der generischen Funktion Verknüpfen. Das sind am häufigsten Weichen, aber auch Drehscheiben und Schiebebühnen.

Weiterhin gibt es bewegliche Fahrwegelemente, die nicht als Fahrwegverknüpfung dienen und Sonderfunktionen erfüllen. Es wird entsprechend der Eigenschaft unterschieden, ob das Element befahrbar ist (funktionslose Entgleisungsvorrichtung, Gleisbremse, Waage) oder in den Raum ragende Bestandteile besitzt (Tor, Ladelehre). Grundsätzlich müssen alle bewegliche Fahrwegelemente und in den Raum ragende Elemente vor dem Befahren auf ihre Befahrbarkeit hin überprüft werden und dürfen während des Befahrens nicht veränderbar sein.

Eine Besonderheit stellen höhengleiche Überschneidungen (Kreuzungen) dar, die zwar aus Sicht der Fahrwegkonstruktion ein starres Fahrwegelement sind, vor dem Befahren aber auf ihre Befahrbarkeit hin überprüft werden sollten.¹²⁵ Das sind Kreuzungen mit systemeigenen Fahrwegen wie eine Gleiskreuzung oder eine Kreuzung mit systemfremden Fahrwegen wie Bahnübergänge (Wegübergänge, Eisenbahnkreuzungen¹²⁶).

Nicht höhengleiche Kreuzungen, die keine beweglichen Fahrwegelemente besitzen und bei denen der Lichtraum der Eisenbahn regulär nicht verletzt wird (Über-/ Unterführungen von Straßen, Tunnel im Gleisvorfeld eines Knotenbahnhofes, Kreuzungen mit Rohr- oder Stromleitungsanlagen), werden nicht weiter vertieft.

¹²⁵ Flachkreuzungen werden als Gleiskreuzungen eingeordnet, welche zwar bewegliche Bauteile besitzen, jedoch keine Fahrwegverzweigung ermöglichen.

¹²⁶ Bezeichnung für Bahnübergang in Österreich [A EISBKRV 2012]

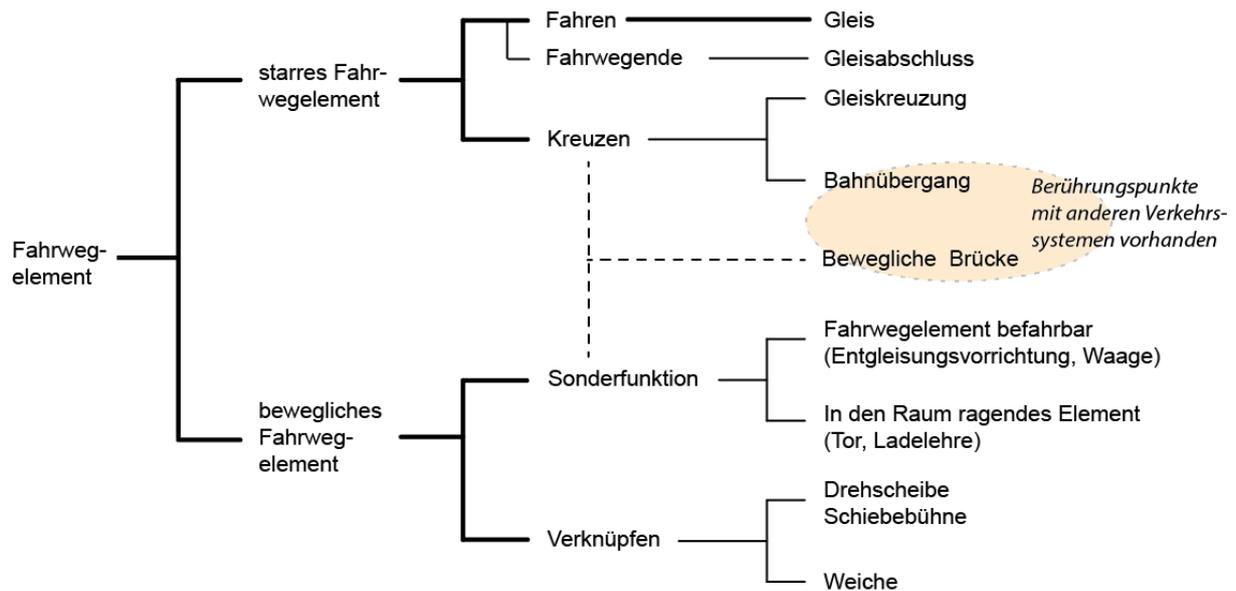


Abbildung 7.3 Grundelemente des Fahrweges

Ein Gleisabschluss ist an sich kein Fahrwegelement, das von einem Schienenfahrzeug befahren werden darf, es sei denn, es ist ein temporärer Gleisabschluss in Form eines einklappbaren Prellbockes. Das Befahren ist möglich, wenn der Prellbock funktionslos ist. Da die Kennzeichnung des Gleisendes nicht unerheblich ist, wird dieser mit zu den Fahrwegelementen gezählt. Die Funktionen der Grundelemente werden nachfolgend in Tabelle 7.3 aufgeführt. Die darin mit dem Symbol (X) markierte Funktion „Fahren“ wird für alle Elemente verwendet, welche von Schienenfahrzeugen befahren werden, die jedoch nicht den tatsächlichen Grund für die jeweilige Verwendung in der Topologie darstellen.

Tabelle 7.3 Funktionen generischer Fahrweegelemente

	Fahren	Verknüpfen	Kreuzen	Fahrwegende	Sonderfunktion
Gleis	X				
Gleisabschluss				X	
Gleiskreuzung	(X)		X		
Bahnübergang	(X)		X		
Bewegliche Brücke	(X)		X		
Anderes befahrbares Element	(X)				X
Anderes, in den Raum ragendes Element					X
Drehscheibe, Schiebebühne	(X)	X			
Weiche	(X)	X			

Zusätzlich existieren weitere Sonderkonstruktionen und Spezialelemente, die aber weitestgehend in Grundelemente zerlegt werden können. Z. B. kann man eine Doppelte Kreuzungsweiche in die Elemente Weiche und Gleis zerlegen (Abbildung 7.4). Der betriebliche Prozess für das Befahren ist im Allgemeinen gleich.

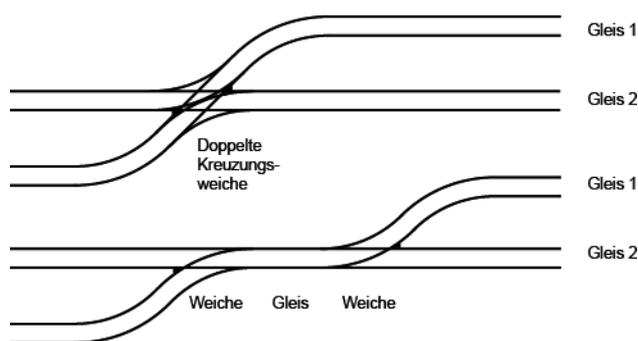


Abbildung 7.4 Auflösung einer Doppelten Kreuzungsweiche in Grundelemente

Der Sonderfall Eisenbahnfähre/ -trajekt wird nicht mit zur Eisenbahninfrastruktur gerechnet, sondern gehört zur Schifffahrt. Grundsätzlich liegen auf Eisenbahnfähren Gleise, die von Eisenbahnfahrzeugen befahren werden können, die eigentliche Ortsveränderung findet aber mit einem fahrenden Schiff statt. Wenn die Fähre in Bewegung ist, dann findet keine relative Ortsveränderung zwischen dem Zug und „seiner

Infrastruktur“ auf dem Schiff statt [KRAMER 2009]. Gleiches gilt auch für den Spezialfall, dass Eisenbahnfahrzeuge auf Straßenfahrzeugen transportiert werden (Ortsveränderung auf der Straße).

Bei der generischen Beschreibung der Betriebsprozesse an Hand einer generischen Infrastruktur mit generischen Fahrzeugen muss zwischen Triebfahrzeugen mit kontinuierlicher Energiezufuhr und Fahrzeugen mit Energiespeicherung (z. B. Diesel- und Akkumulator-Triebfahrzeuge) unterschieden werden. Fahrzeuge mit permanenter Energiezuführung sind klassische Elektrotriebfahrzeuge, welche über Fahrleitungsanlagen versorgt werden. Fahrleitungsanlagen könnten für die Betriebsprozesse von Bedeutung sein (vgl. Abbildung 2.4) und es ist ein möglicher Einfluss auf die generische Beschreibung zu berücksichtigen.

7.4.1.4 Generische Zugangsstellen

Zur Erfüllung der funktionalen Anforderungen (siehe Kapitel 4.2) müssen die zu transportierenden Personen und Güter das System betreten und wieder verlassen können. Für den Personen- und Güterverkehr werden jeweils generische Schnittstellen definiert, ohne dass deren Ausgestaltung relevant ist.

Personenverkehr Bahnsteig (Perron, Plattform)

Güterverkehr Ladestelle zum Be- und/ oder Entladen von Gütern

Bahnsteige und Ladestellen sind Bestandteile der Eisenbahninfrastruktur und dienen als Zugangspunkte zum System Eisenbahn.

7.4.2 Generische Einteilung der Fahrzeuge

„Ein Fahrzeug ist ein mobiles bewegliches bzw. fahrfähiges technisches Hilfsmittel (Maschine), was die Ortsveränderung von Personen, Gütern oder Nachrichten mittels physikalischer Interaktion in einem bestimmten Verkehrsmedium ermöglicht oder erleichtert. Um diese Funktion zu erfüllen, bedient man sich aktiver oder passiver Fahrzeuge (mit bzw. ohne eigenen Antrieb).“¹²⁷

Ein Schienenfahrzeug ist ein spurgebundenes Fahrzeug, das mit Spurkranz versehene Räder auf Gleisen hat, die aus Schienen einer bestimmten Spurweite gebildet sind, geführt und getragen wird [DIN 25003].

¹²⁷ Zitat aus [AMMOSER 2006], Seite 2

Ein Eisenbahnfahrzeug ist ein Fahrzeug für Schienenbahnen, das für Eisenbahnen nach den einschlägigen Eisenbahngesetzen und Eisenbahnverordnungen (EBO/ ESBO oder BOA/ EBOA) gebaut und betrieben wird und dem Transport von Personen und Gütern im Nah- und Fernverkehr dient [DIN 25003].

In [ADLER 1990] ist ein Eisenbahnfahrzeug ein „spurgebundenes Zweischienefahrzeug, das auf besonderem Bahnkörper verkehrt und in Bau und Betrieb [...] den Bestimmungen der BO¹²⁸ unterliegt. Allg. Einteilung ist möglich nach a) Triebfahrzeugen [...]; b) gezogenen oder geschobenen Fahrzeugen [...]; c) Spurweite [...]; d) Verkehrseinsatz.“¹²⁹

Die beiden vorangehenden Definitionen beziehen sich auf die Gesetzgebung eines bestimmten Landes und sind damit nicht generisch, da sie einen konkreten Realisierungsbezug haben. Die Definition Eisenbahnfahrzeug müsste theoretisch in jedem Staat neu beschrieben werden. Bspw. werden in der Schweiz die Technik- und Sicherheitsvorschriften für Eisen- und Straßenbahnen in einer Verordnung zusammengefasst behandelt. Ein weiterer Spezialfall, der in den Begriffsbestimmungen nicht berücksichtigt wurde, sind Mischbetriebe von Bahnsystemen, z. B. Tram-Train-Systeme.¹³⁰

Unter Beachtung von Kapitel 7.4.1.1 wird folgende Definition festgelegt:

Ein **Eisenbahnfahrzeug** ist ein Schienenfahrzeug, das für Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur verwendet wird.

¹²⁸ BO = Abkürzung für Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für regelspurige Eisenbahnen der DDR

¹²⁹ Zitat aus [ADLER 1990], Seite 227

¹³⁰ Mischbetrieb zwischen Eisenbahn und Straßenbahn, bei denen Fahrzeuge von einem System in das andere übergehen können. In Deutschland müssen demzufolge zwei Bau- und Betriebsordnungen (EBO & BO Strab) für ein Fahrzeug beachtet werden.

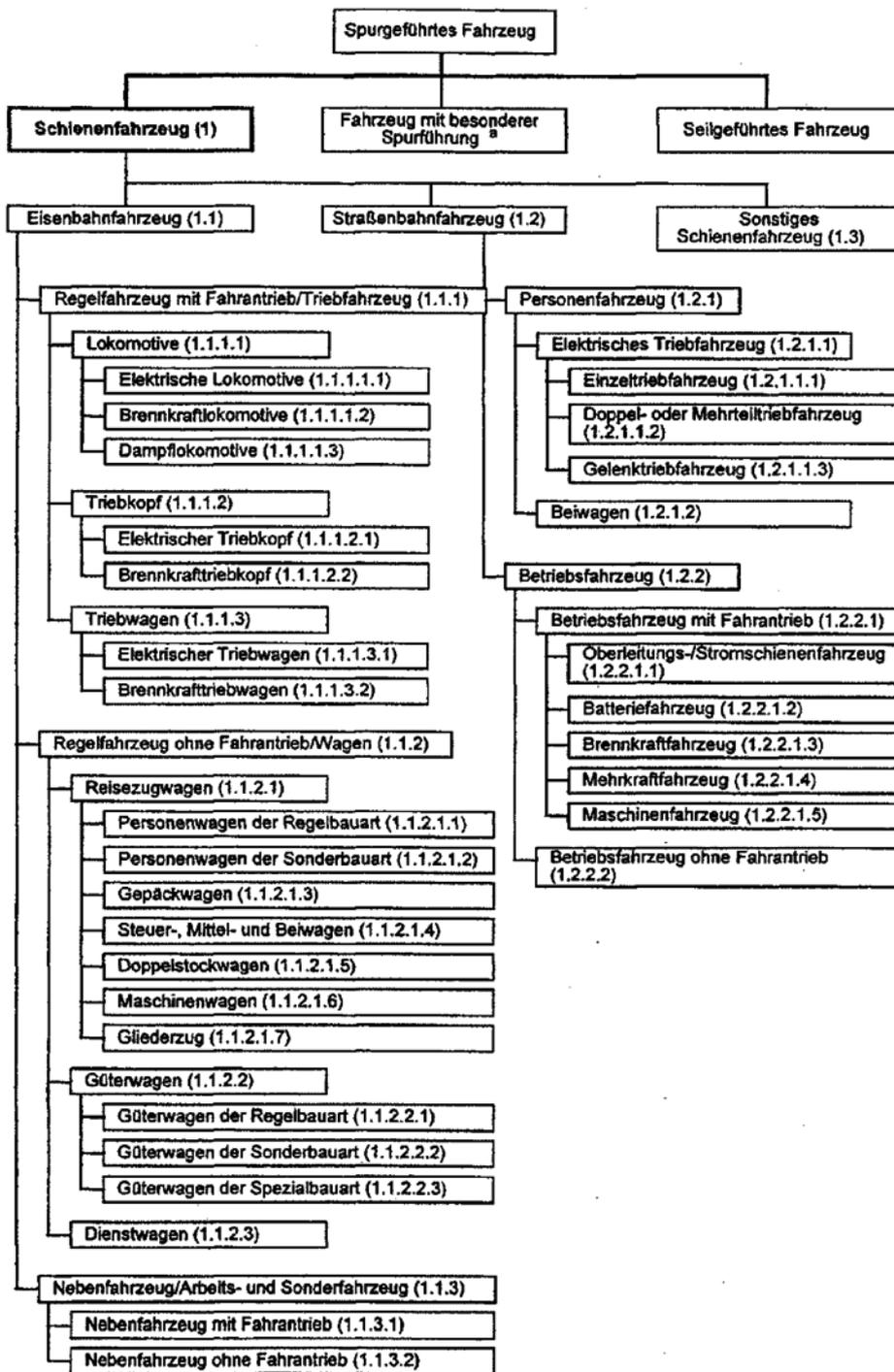


Abbildung 7.5 Einteilung Fahrzeuge nach [DIN 25003]

In Abbildung 7.5 werden die Eisenbahnfahrzeuge in Regelfahrzeuge mit und ohne Antrieb sowie Nebenfahrzeuge eingeteilt. In Kapitel 4.2 werden neben den eigentlichen Verkehrsfunktionen auch Hilfs- und Sonderfunktionen aufgelistet, für die Eisenbahnfahrzeuge genutzt werden. Die in dieser Arbeit verwendete Einteilung soll an die

[DIN 25003] angelehnt sein und entsprechend der Verkehrsfunktion in Regel- und Sonderfahrzeuge unterschieden werden.

Ein **Regelfahrzeug** ist ein Eisenbahnfahrzeug, das für die Durchführung des gewerblichen Transports zum Zweck der Personen-, Güter- und Nachrichtenbeförderung vorgesehen ist. Das Fahrzeug entspricht der Gesetzgebung für öffentliche Eisenbahnen.

Ein **Sonderfahrzeug** ist ein Eisenbahnfahrzeug, das nicht für den gewerblichen Transport vorgesehen ist, einem nichtöffentlichen Zweck dient oder für Hilfs- und Rettungsdienste verwendet wird. Das Fahrzeug muss nicht der Gesetzgebung für öffentliche Eisenbahnen entsprechen.

Unter Sonderfahrzeug kann somit alles eingeordnet werden, was nicht für den Personen- und Gütertransport geeignet ist, aber trotzdem auf Schienen fahren kann. Hierunter fallen Spezialfahrzeuge bei Unfällen (Lösch- und Rettungszüge, Hilfszüge mit Werkzeugen), Eisenbahnkrane, Fahrzeuge für Bau- und Instandhaltung (Grabenräumfahrzeuge, Stopfmaschinen, Gleisumbauzüge, Schwellentransportwagen, Fahrzeuge für die Vegetationskontrolle, Oberleitungsrevisionstriebwagen etc.), Messfahrzeuge, Schneepflüge und –schleudern, Kleinkraftwagen, Loren und Draisinen. Sonderfahrzeuge als solche können nicht in die generische Betrachtung einbezogen werden, da diese auf Grund ihrer jeweiligen Sonderzwecke Spezialanforderungen unterliegen, welche einen konkreten Realisierungsbezug haben. Aus diesem Grund wird die Einteilung für Regelfahrzeuge fortgeführt und Sonderfahrzeuge nur als Sammelbegriff verwendet (vgl. Abbildung 7.6).

Um die Vorteile eines Massenverkehrsmittels und den spezifischen niedrigen Energieverbrauch ausnutzen zu können, bietet es sich an, Züge aus mehreren Fahrzeugen zu bilden und den Antrieb zu konzentrieren. Aus diesem Grund haben sich Fahrzeuge mit Antrieb und hoher Traktionsleistung sowie Fahrzeuge ohne Antrieb, aber mit hoher Transportkapazität durchgesetzt. Die Regelfahrzeuge kann man in Fahrzeugen mit und ohne Antrieb unterteilen.

Ein **Triebfahrzeug** ist ein Regelfahrzeug mit Antriebsanlage, das selbständig fahren kann.

Ein **Wagen** ist ein Regelfahrzeug, das einem Transportzweck dient und nicht selbständig fahren kann. Für die Durchführung von Fahrten muss es mit einem Triebfahrzeug verbunden sein.

Daraus folgt, dass für den verkehrlichen Transport mindestens ein Triebfahrzeug und ein Wagen einen Fahrzeugverband bilden.

Ein **Zug** ist ein Verbund aus Eisenbahnfahrzeugen, in denen mindestens ein Triebfahrzeug vorhanden ist, und der selbständig fahren kann.

Eine **Lokomotive** ist ein Triebfahrzeug, dessen Zweck das Bewegen von Wagen ist.

Vor allem in Europa bestehen flächendeckende Eisenbahnnetze, in denen alle Verkehrsfunktionen gefordert werden.¹³¹ Daher bietet es sich situationsbedingt an, auch Wagen mit Antrieben einzusetzen, z. B. im Hochgeschwindigkeitsverkehr oder auf Regionalstrecken mit geringer Nachfrage.

Ein **Triebwagen** ist ein Triebfahrzeug, das einem Transportzweck dient. Ein Triebwagen kann mit anderen Fahrzeugen verbunden sein und einen Zug bilden.

Es gibt zahlreiche Beispiele für Triebwagen, insbesondere für den Personentransport auf Stadtschnellbahnen oder Regionalstrecken. Eine Besonderheit bilden Züge, bei denen die Komponenten der Antriebsanlage über mehrere Fahrzeuge verteilt sind.

Ein **Triebwagenzug** ist ein fester Verbund aus Eisenbahnfahrzeugen, die einem Transportzweck dienen und deren Antriebsanlage über mehrere Fahrzeuge verteilt ist. Ein Triebwagenzug kann nur mit der für ihn vorgegebenen Anzahl und in der vorgesehenen Fahrzeugreihung verkehren. Ein Triebwagenzug kann mit anderen Eisenbahnfahrzeugen in einem Zug verkehren.

¹³¹ Vgl. Kapitel 4.2

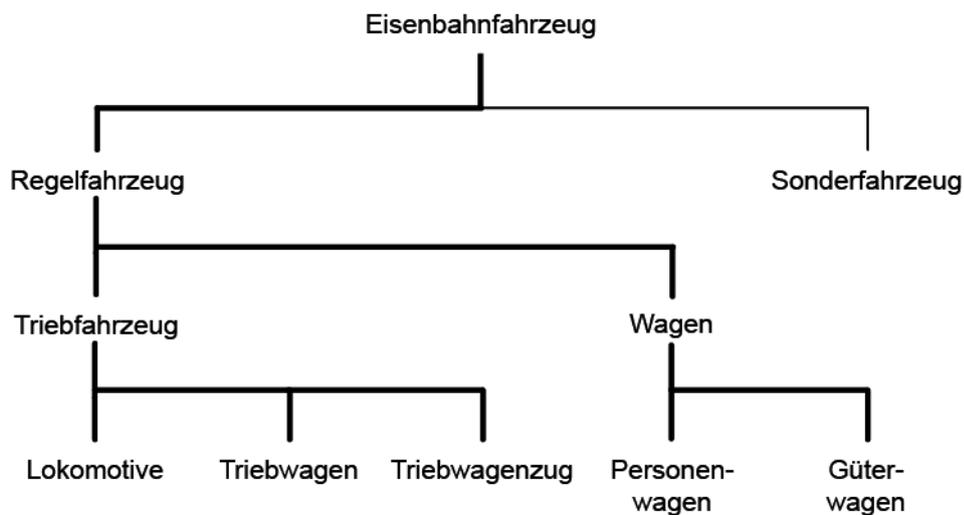


Abbildung 7.6 Generische Einteilung von Eisenbahnfahrzeugen¹³²

Die Wagen stellen die eigentlichen Transportgefäße dar und werden funktional in Personen- und Güterwagen klassifiziert. Diese Einteilung kann auch für Triebfahrzeuge vorgenommen werden. Hier ist aber nur die Unterscheidung bei den Triebwagen (-zügen) sinnvoll, weil Personen- oder Güterzuglokomotiven sich unter fahrdynamischen Gesichtspunkten unterscheiden und betrieblich gegeneinander getauscht werden können. Gütertriebwagen (-züge) sind gegenüber Personentriebwagen vergleichsweise selten. Aktuelle Beispiele finden sich in Japan (Japan Rail Freight Klasse M250) oder in Frankreich mit dem TGV „La Poste“ im Hochgeschwindigkeitsverkehr [RELLSTAB 2012].

7.5 Herleitung betrieblicher Grundsätze für ein individuelles Eisenbahnsystem

7.5.1 Einleitung

Für die Durchführung eines Transportprozesses wurden in den Kapiteln 7.3 und 7.4 alle notwendigen Randbedingungen definiert. Mit Hilfe der generischen Betriebsmittel (Infrastruktur/ Fahrzeuge) wird nachfolgend ein Schienenverkehrssystem skizziert, das nach individuellen Grundsätzen ähnlich dem Straßen- oder Schiffsverkehr funktionieren soll. Die Überlegungen zum generischen Betriebsablauf werden am Beispiel der betrieblichen Situationen Zugbegegnung und Überholung dargelegt.

¹³² Eine ähnliche Abbildung mit deutschen Termini findet sich in [PACHL 2011].

7.5.2 Transportdurchführung bei einem hypothetischen individuellen Eisenbahnsystem

7.5.2.1 Konfliktfall „Zugbegegnung“

Für die Herleitung des Betriebsablaufes wird angenommen, dass bei einem individuellen Verhalten der Fahrzeuge (Züge) im relativen Bremswegabstand gefahren werden könnte. Daraus ergeben sich folgende Verhaltensweisen:

Verhalten bei langen Bremswegen:

Die geringe Rollwiderstandskraft und die zulässigen hohen Massen haben lange bis sehr lange Bremswege zur Folge. Da der verantwortliche Fahrer (Lokführer) diese langen Bremswege nicht sicher überblicken und einschätzen kann, muss folglich die gefahrene Geschwindigkeit sehr gering sein, wenn der Zug vor einem vorausfahrenden, haltenden oder entgegenkommenden Zug oder einem Hindernis sicher zum Stillstand kommen soll.

Verhalten auf Grund der Spurführung

Grundsätzlich können alle Verkehrsmittel, außer Bahnsysteme, an jedem beliebigen Punkt einem anderen Fahrzeug oder Hindernis ausweichen, da sie kraft- und nicht formschlüssig an ihren Fahrweg gebunden sind.

Ein Zug kann nur an festgelegten Punkten, und zwar an Gleisverbindungen, auf ein anderes Gleis ausweichen. Würde man für ein Eisenbahnsystem ähnlich individuelle Ausweichmöglichkeiten vorsehen, dann müssten in sehr kurzen Abständen (wenige hundert Meter oder kürzer) Gleisverbindungen zu einem durchgehend parallel liegenden „Ausweichgleis“ existieren. Zusätzlich müssten die ausweichenden Züge in beiden Fahrtrichtungen vorwärts in das Ausweichgleis ein- als auch ausfahren können.

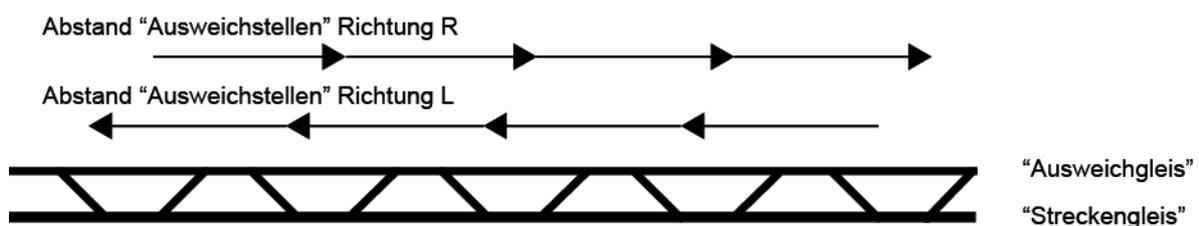


Abbildung 7.7 Eingleisige Strecke mit hypothetisch individuellem Ausweichen

In Abbildung 7.7 wird das „Streckengleis“ in beiden Richtungen befahren. Das „Ausweichgleis“ wird bei einer Zugbegegnung nur vom ausweichenden Zug benutzt. Der ausweichende Zug darf nach einer Zugbegegnung seine Fahrt nicht auf dem „Ausweichgleis“ fortsetzen und muss anschließend wieder auf das „Streckengleis“ wechseln. Um ein gleichzeitig auftretendes Begegnungs- und Überholereignis zu vermeiden, sind Überholungen bei dieser Topologie nicht zugelassen.

7.5.2.2 Konfliktfall „Überholung“

Bei der Infrastruktur in Abbildung 7.7 handelt es sich praktisch um eine zweigleisige Strecke. Die Problematik der Zugbegegnungen könnte durch die feste Definition von Fahrtrichtungen gelöst werden, das der realen Praxis auf dicht befahrenen Strecken entspricht. Es bestehen aber bei unterschiedlich schnellen Zügen weiterhin Konfliktmöglichkeiten, die Überholungen erfordern.

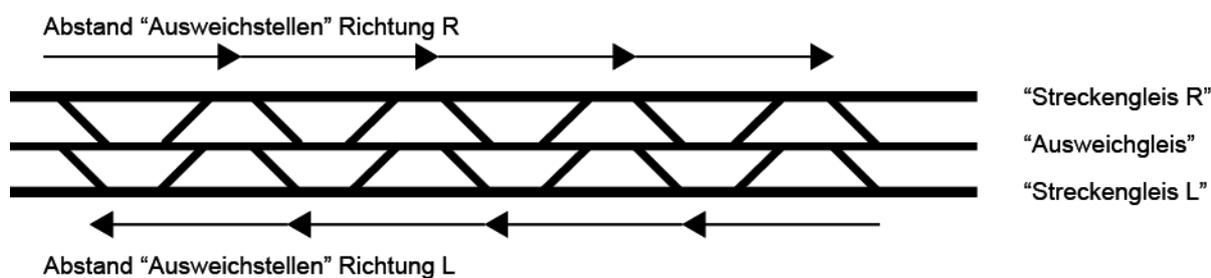


Abbildung 7.8 Zweigleisige Strecke mit hypothetisch individuellem Ausweichen

In Abbildung 7.8 ist für jede Fahrtrichtung ein „Streckengleis“ vorgesehen und das „Ausweichgleis“ dient möglichen Überholungen. Im Falle zweier gleichzeitig überholender Züge besteht die Problematik, dass überholende Züge auf dem „Ausweichgleis“ aufeinander zufahren könnten und wiederum gegenseitig ausweichen müssten. Um diesen Konflikt zu lösen, könnte man idealerweise für jede Fahrtrichtung je ein „Streckengleis“ und je ein „Ausweichgleis“ einrichten.

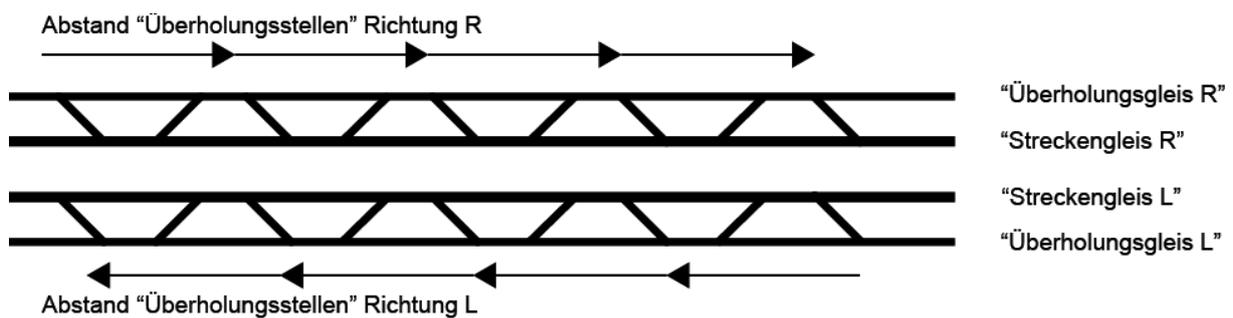


Abbildung 7.9 Zweigleisige Strecke mit richtungsselektiven Überholungsgleisen

Die Konfliktfälle Zugbegegnung und Überholung ließen sich bei gleichzeitig sich begegnenden Zügen mit der Infrastruktur in Abbildung 7.9 lösen.

Die Schwierigkeit der richtigen Fahrwegeinstellung wird an dieser Stelle als möglich erachtet. Es wird angenommen, dass das Umstellen einer Weiche vom Lokführer erfolgt und dieser im richtigen Moment die optimale Gleisverbindung zum Überholen anwählen kann.

Berücksichtigung der Geschwindigkeit

Selbst wenn die individuelle Wahl des Fahrweges vom Zug aus möglich wäre, wäre die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit aller Fahrzeuge in diesem System immer noch gering. Die Problematik des nicht ausreichend einsehbaren Bremsweges erlaubt keine wettbewerbsfähigen Geschwindigkeitsbereiche. Weiterhin besteht bei langen Zügen kaum die Möglichkeit, dass von der Zugspitze aus der Zeitpunkt erkannt wird, an dem der überholende Zug vom Überholungsgleis auf das Streckengleis zurückwechseln kann, ohne dass der überholte Zug ausgebremst wird oder in die Flanke fährt.

7.5.3 Anwendbarkeit eines individuellen Bahnsystems

Ohne dass die Gestaltung von Bahnhöfen, Abzweigstellen oder stark heterogenen Betriebsprogrammen berücksichtigt wurde, ist zu erkennen, dass die Infrastruktur sehr aufwändig ist, wenn man ein „freies Fahren“ ohne einen Infrastrukturbeobachter oder -manager ermöglichen würde.

Individuelle Eisenbahnsysteme sind nur unter der Randbedingung sinnvoll, dass kurze Bremswege eingehalten werden, ein homogenes Betriebsprogramm besteht und an jeder beliebigen Stelle Zugbegegnungen stattfinden können (Abbildung 7.10).

Diese Art der Betriebsdurchführung wird bei Straßenbahnen¹³³ angewendet. Straßenbahnsysteme verfügen über kurze und leichte Züge mit kurzen Bremswegen, die überwiegend im gut einsehbaren Straßenraum verkehren. Überholungen sind bei Straßenbahnen meist nicht vorgesehen und erfolgen bei Bedarf nur an Wendeschleifen, indem der überholende Zug auf einem parallelen Gleis vorbei fährt. Das individuelle Verkehren von Straßenbahnzügen ist bereits dann nicht mehr möglich, sobald eingleisige Strecken im Zweirichtungsbetrieb¹³⁴ befahren werden, Tunnelstrecken¹³⁵ vorhanden sind oder die Geschwindigkeit über der zulässigen Geschwindigkeit von Innerortsstraßen liegt.

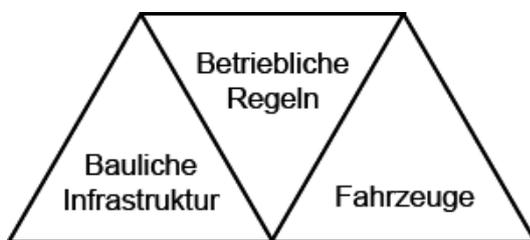


Abbildung 7.10 Elemente eines individuellen Eisenbahnsystems¹³⁶

Um ein Eisenbahnsystem mit einem vertretbaren Infrastrukturaufwand und wettbewerbsfähigen Reisegeschwindigkeiten betreiben zu können, muss eine Überwachung der einzelnen Fahrten erfolgen. Dabei muss

- die Sicherheit und
- die Durchlassfähigkeit

gewährleistet sein. Aus diesem Grund hat sich eine betriebliche Trennung zwischen den Fahrzeug- (Lokführer, Zugbegleiter) und den Anlagenfahrern¹³⁷ (Disponenten, Stellwerker, Schrankenwärter) entwickelt. Für die Koordination der Tätigkeiten werden betriebliche Regeln benötigt, um die Arbeitsprozesse zwischen „Anlagenfah-

¹³³ Alternativ auch bei einfachen Werk- und Waldbahnnetzen

¹³⁴ Der Übergang zwischen individuellem Fahren und Sicherung durch die Infrastruktur ist dabei je nach Situation unterschiedlich. Kurze und überschaubare eingleisige Abschnitte können ohne zusätzliche Sicherungsverfahren betrieben werden, bei längeren Abständen zwischen den Ausweichmöglichkeiten können Verfahren mit Kreuzungsplan oder Lichtsignalanlagen zur Anwendung kommen.

¹³⁵ Bspw. sind die Tunnelstrecken der Straßenbahnen in Stuttgart und Zürich mit Signal- und Zugsicherungsanlagen ausgerüstet.

¹³⁶ Vgl. [BOSSE 2010], Seite 6

¹³⁷ Der Begriff „Anlagenfahrer“ ist bei Bedienern großer, stationärer Anlagen gebräuchlich, z. B. bei Chemieanlagen oder Kraftwerken.

ren“ und „Fahrzeugfahrern“ auf der gegebenen Infrastruktur produktiv gestalten zu können.



Abbildung 7.11 Generische Darstellung des Systems Eisenbahn nach [BOSSE 2010]

Grundlegend ist für ein Eisenbahnsystem immer Leit- und Sicherungstechnik notwendig (vgl. Abbildung 7.11), da das individuelle Verkehren der Züge nicht anwendbar ist und somit die Kommunikation zwischen der Infrastruktur und den Fahrzeugen erforderlich wird. Das ist auch bei sehr einfachen Eisenbahnsystemen mit wenigen gleichzeitig stattfindenden Fahrten notwendig, da in irgendeiner Form kommuniziert werden muss (z. B. Streckentelefone, Funk), die Ortung der Fahrzeuge (Entfernungsangaben, Kennzeichnung betrieblicher Orte) erfolgt sowie die Festhaltung beweglicher Fahrwegelemente (z. B. durch Weichenverschluss) erforderlich wird.

7.5.4 Generische Funktionen der Leit- und Sicherungstechnik

Für die Bewegung der Fahrzeuge auf der Infrastruktur werden, wie bei jedem anderen Verkehrssystem auch, die betrieblichen Regeln als Bindeglied benötigt. Wie vorangehend bereits dargelegt, müssen die betrieblichen Regeln auf verantwortliche Personen für die Fahrzeuge und für die Infrastruktur aufgeteilt werden. Auf Grund einer steigenden, menschlichen Fehlerrate bei zunehmender Verkehrsdichte, werden die Regeln durch technische Anwendungen unterstützt und überwacht.¹³⁸ Je nach Anforderungsgrad kann diese technische Unterstützung mehr oder weniger stark ausgebaut sein. Der maximale Ausbauzustand ist bei vollautomatischen Bahnsystemen zu finden.

¹³⁸ „Die Stresssituation führt zu einer Zunahme der menschlichen Fehlhandlungen, sei es nun durch Über- oder Unterforderung.“ Zitat in [HINZEN 1993], Seite 29

Für die generischen Funktionen der LST wird auf die generischen Schutzfunktionen von [MASCHEK 2009]¹³⁹ verwiesen, welche ebenfalls von den grundlegenden Eigenschaften (Spurführung, langer Bremsweg) ausgehen.

Generische Schutzfunktionen:

- Flankenschutz
- Folgefahrerschutz
- Gegenfahrerschutz
- Schutz an niveaugleichen Kreuzungen
- Schutz vor externen Objekten
- Sicherung beweglicher Fahrweegelemente
- Geschwindigkeitsvorgabe
- Geschwindigkeitsregelung und -überwachung

Ein sicherer Bahnbetrieb allein kann noch keinen leistungsfähigen und schnellen Eisenbahnverkehr garantieren. Die strategische Planung und operative Betriebsdurchführung wird durch zahlreiche Anwendungen der Informationsverarbeitung unterstützt. Die technischen Realisierungen müssen keine oder nur geringe sicherheitsrelevante Anforderungen erfüllen und werden der Leittechnik zugeordnet. Im modernen Bahnbetrieb sind aber beide Technikbereiche eng miteinander verknüpft [MASCHEK 2012].

„Im Wesentlichen werden mit der Leittechnik folgende Ziele verfolgt:

- Gewinnung der Übersicht über die Betriebslage in einem Bereich, dessen Größe sich nach der Dispositionsaufgabe richtet
- Optimierung der Nutzung der Fahrwegressourcen
- Entlastung des Bedieners von Routinehandlungen“¹⁴⁰

¹³⁹ Siehe Abbildung 3.6 oder auch in [MASCHEK 2012], Seite 7

¹⁴⁰ Zitat aus [MASCHEK 2012], Seite 218

Die Funktionen der LST können in zwei Funktionsgruppen eingeteilt werden:

- Sicherung der Fahrten
- Disposition der Fahrten

7.6 Herleitung der Betriebsprozesse für eine generische Topologie

7.6.1 Vorschlag für die Definition eines Generischen Referenzsystems „Eisenbahn“

Nach Ansicht des Verfassers können generische Regeln für ein Eisenbahnsystem nur innerhalb eines Generischen Referenzsystems Eisenbahn beschrieben werden, da diese die Bestandteile der baulichen Infrastruktur, der Fahrzeuge und der LST miteinander verknüpfen.¹⁴¹ Aus diesem Grund muss eine „generische Umgebung“ definiert werden. Hierfür werden die Überlegungen von Bosse¹⁴² zur generischen Funktions- und Systemdefinition fortgeführt und die Anforderungen an eine architekturunabhängige Systemdefinition¹⁴³ werden unter Berücksichtigung der generischen Elemente erstellt (siehe Tabelle 7.4).

¹⁴¹ Analog zu Abbildung 7.11

¹⁴² Vgl. Kapitel 3.4

¹⁴³ Siehe auch Tabelle 3.2, Seite 67

Tabelle 7.4 Anforderungen an eine architekturunabhängige Systemdefinition nach [BOSSE 2010]

(1) Allgemeine Definition „Eisenbahn“	
(1.1)	<p>Definition des Systemziels:</p> <p>Ortsveränderung von Menschen, Tieren und Gütern sowie der Übermittlung von Nachrichten mit dem Ziel, durch die Überwindung räumlicher Entfernung die ökonomischen und sozialen Bedürfnisse einer Gesellschaft zu befriedigen.</p>
(1.2)	<p>Definition allgemeingültiger Annahmen:</p> <p>Ortsveränderung großer Mengen/ Massen möglich, welche in einer relativ kurzen Zeit bei einem geringen, spezifischen Energieverbrauch über eine große Entfernung bewegt werden können.</p>
(2) Äußere Definition	
(2.1)	<p>Definition der funktionalen Systemgrenze:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ortsveränderung ist innerhalb der Systemgrenze. - Funktionen ohne Ortsveränderung (Wohnen, Arbeit, Bildung, Erholung, Einkaufen) sind außerhalb des Systems
(2.2)	<p>Definition physikalischer Grenzen (Stahlrad auf Stahlschiene):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spurführung (Bewegungen nur im eindimensionalen Raum möglich) - Geringe Widerstandskraft (Bremsweg nicht einsehbar) - Lichtraumprofil (als räumliche Systemgrenze, bedingt durch Spurführung) - Zweischienengleis (Fahrzeuge stützen sich auf Fahrweg)
(2.3)	<p>Definition der funktionalen Ein- und Ausgabe-Schnittstellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zugangsstellen für Personen (Bahnsteig) - Zugangsstellen für Güter (Ladestelle)
(2.4)	<p>Definition physikalischer Schnittstellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Räumliche Überlagerung mit anderen Verkehrssystemen (Bahnübergang, bewegliche Brücke)
(3) Innere Definition	
(3.1)	<p>Definition der Systemfunktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bildung von langen und schweren Fahrzeugverbänden - Sicherung des Fahrweges für Fahrzeugverband - Disposition der Fahrzeugverbände - Anfang des Fahrzeugverbandes (Zugspitze) mit Fahrer besetzen

Die Definition enthält in dieser Form keine Mischfunktionen, wie es auch bei anderen Verkehrsmitteln der Fall sein kann (z. B. Wohnmobil, Kreuzfahrtschiff). Z. B. können in einem Zug Teilfunktionen wie Erholung (Schlafen), Wohnen (Essen) oder Arbeiten erfüllt werden, in dem man Schlaf- und Speisewagen integriert oder besondere Abteile für geschäftliche Besprechungen vorsieht. Diese Sekundärfunktionen finden allerdings während der Fahrzeugbewegung statt, so dass die Ortsveränderung an sich die eigentliche Systemfunktion ist.

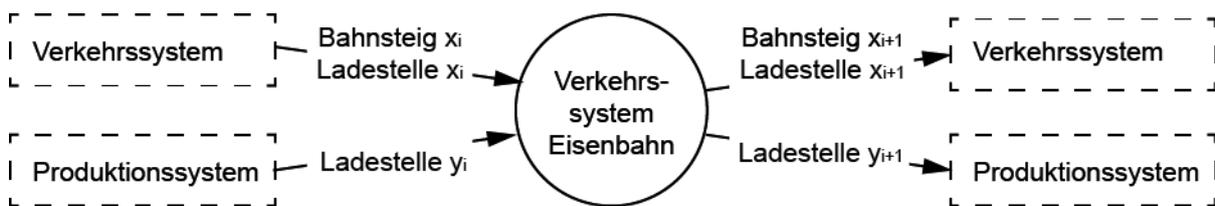


Abbildung 7.12 Struktur eines funktionalen Systems Eisenbahn nach [BOSSE 2010]

Die generische Darstellung des funktionalen Systems ist sehr abstrakt. Das liegt darin begründet, dass der Zugang zum System Eisenbahn nur über die Schnittstellen Bahnsteig (für Personen) und Ladestelle (für Güter) erfolgt. Um zu diesen Schnittstellen zu gelangen, müssen andere Verkehrssysteme als Zubringer existieren. Dabei können grundsätzlich alle Verkehrssysteme mit der Eisenbahn verknüpft werden.¹⁴⁴

Im Güterverkehr besteht zusätzlich die Möglichkeit, die transportierten Waren direkt mit einem Produktionssystem zu verbinden. So können Güter unmittelbar von einem Industriebetrieb oder Bergwerk abgefahren werden und/ oder gelangen ohne Umladen zu einem anderen Produktionssystem (Industriebetrieb, Kraftwerk, Deponie).

Im Personenverkehr werden direkte Verknüpfungen nur zu anderen Verkehrssystemen erstellt. Es ist nicht üblich, dass es Bahnsteige direkt in Wohnhäusern oder anderen funktionalen Gebäuden gibt. Im Regelfall sind bei einer gezielten Erschließung für ein Wohngebiet, ein Einkaufszentrum oder einer Bildungsstätte mindestens Wege¹⁴⁵ mit Zubringerfunktion zu einem Bahnsteig vorhanden.

Die Darstellung des Systems Eisenbahn mit generischen Elementen wird in Abbildung 7.13 skizziert.

¹⁴⁴ Spurwechselstellen werden als Ladestelle eingestuft, bei denen das Transportgut innerhalb eines Eisenbahnwagens von oder zu einem anderen Schienenbahnsystem übergeht, z. B. im Rollwagenverkehr mit Schmalspurbahnen.

¹⁴⁵ Fuß- und Radwege als Teilsysteme des Straßenverkehrs



Abbildung 7.13 Generische Elemente des Systems Eisenbahn

7.6.2 Vorgehen zum Herleiten generischer Betriebsprozesse

Bei der Herleitung der Betriebsprozesse wird von einem einfachsten anzunehmenden Eisenbahnsystem ausgegangen, das von den generischen Funktionen und Elementen hervorgeht. Die Ursprungstopologie besteht aus mindestens einem Infrastrukturelement und wird von einem Fahrzeug (Zug) befahren. Für dieses kleinste, anzunehmende System wird ein UML-Aktivitätendiagramm erstellt, in dem die Bewegungsabläufe des Fahrzeuges nachvollzogen werden können.

Daran anschließend wird die Infrastruktur schrittweise um weitere Fahrwegelemente erweitert. Dabei muss das Aktivitätendiagramm auf notwendige Änderungen hin überprüft und angepasst werden, sobald die neuen Elemente auch neue Aktivitäten erfordern. Die Anzahl der Fahrzeuge bleibt konstant mit einem Fahrzeug. Wenn die Infrastrukturerweiterung einen Punkt erreicht hat, an dem das Aktivitätendiagramm nicht mehr verändert werden muss, dann werden schrittweise weitere Fahrzeuge (Züge) eingefügt und das Aktivitätendiagramm entsprechend angepasst. Es ist anzu-

nehmen, dass auch hier ein Entwicklungsstand erreicht werden kann, an dem beim Einfügen zusätzlicher Fahrzeuge das Aktivitätendiagramm nicht weiter verändert werden muss.

7.6.3 Herleitung und Erweiterung einer generischen Topologie

Für die Herleitung werden folgende Elemente aus Kapitel 7.4.1.3 verwendet und schrittweise von einem einfachsten, anzunehmenden Eisenbahnnetz zu einer generischen Topologie erweitert. Folgende Elemente werden berücksichtigt.

- Gleis
- Gleisabschluss
- Gleiskreuzung
- Weiche

Es werden vorerst nicht alle generischen Fahrweegelemente aus Abbildung 7.3 verwendet, da die allgemeinen Sicherungsfunktionen teilweise sehr ähnlich sind. Bspw. muss eine Gleiskreuzung¹⁴⁶ genauso wie ein Bahnübergang dahingehend überprüft werden, dass keine anderen Fahrzeuge eine Zugdurchfahrt gefährden. Der Unterschied besteht darin, dass bei einer Gleiskreuzung andere systemeigene Fahrzeuge ausgeschlossen werden müssen und bei einem Bahnübergang systemfremde Fahrzeuge. Eine Überprüfung und Sicherung der richtigen Fahrwegstellung ist bei beiden Elementen nicht nötig.

7.6.4 Einfachstes anzunehmendes Eisenbahnsystem

7.6.4.1 System Ringstrecke

Das einfachste anzunehmende Eisenbahnnetz besteht aus einem Gleis und bildet eine Ringstrecke.

Elemente	EUV	1 Zug (Triebwagen, Einrichtungsbetrieb)
	EIU	1 Gleis

¹⁴⁶ Starre Gleiskreuzung, keine Flachkreuzung

Netzform Ohne Zugangsstellen: Das System dient reinem Selbstzweck (Anschauungs- oder Testzweck) und erfüllt keine Verkehrsfunktion.

Eine Zugangsstelle: Das System dient reinem Selbstzweck (Anschauungs- oder Tourismuszweck) und erfüllt keine Verkehrsfunktion.

Zwei Zugangsstellen: Das System erlaubt den Transport zwischen zwei Orten und kann Verkehrsfunktionenerfüllen.¹⁴⁷

Eine Bahnstrecke mit (null oder) einer Zugangsstelle erfüllt keinen Verkehrszweck und dient entweder als technische Versuchsanlage, innerbetriebliche Werkeisenbahn, als Ausbildungsbahn oder kann als Tourismus- und Ausstellungsbahn betrieben werden.

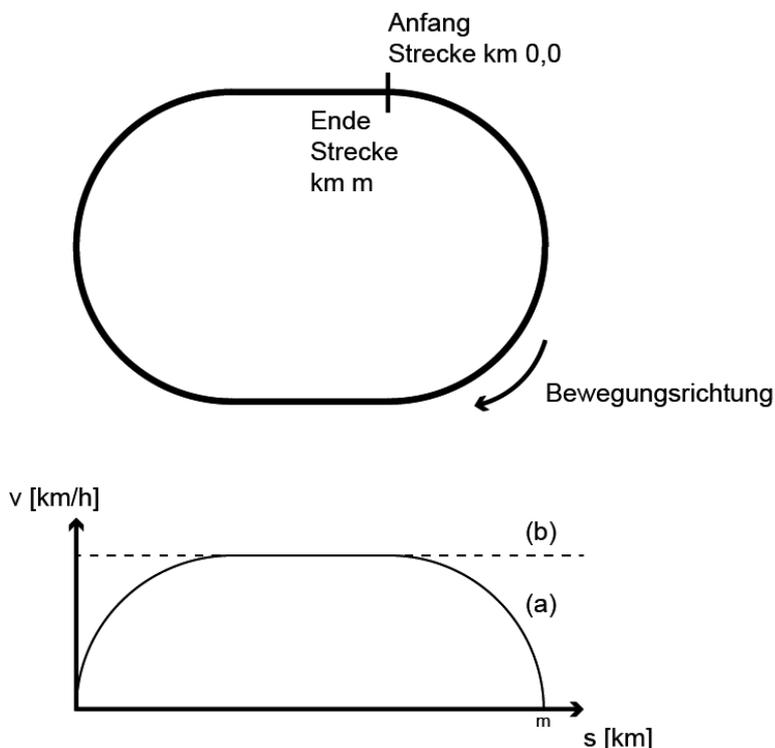


Abbildung 7.14 Ringstrecke Einrichtungsbetrieb

In Abbildung 7.14 ist im oberen Bildbereich die Infrastruktur dargestellt und darunter der physikalische Bewegungsablauf als v-s-Diagramm. Die Kurve (a) stellt eine einzelne Rundfahrt dar, die am Standort km 0,0 beginnt und nach einer Runde dort nach m km wieder endet. Würde der Zug ohne Halt die Strecke befahren, dann entspräche dies der gestrichelten Kurve (b).

¹⁴⁷ Ortsveränderung möglich, vgl. Kapitel 2.1.2

Beispiele¹⁴⁸ mit einer Zugangsstelle:

- Versuchsringstrecken in Deutschland (Wildenrath), Frankreich (Petite-Forêt) oder der Tschechischen Republik (Velim) [SCHWEERS 2013]
- Kindereisenbahnen in Deutschland (Görlitz, Plauen) [KIRSCHKE 1987] und in Russland [SUTJAGIN 2008]
- Monorail im Europapark Rust (Freizeitpark in Deutschland)

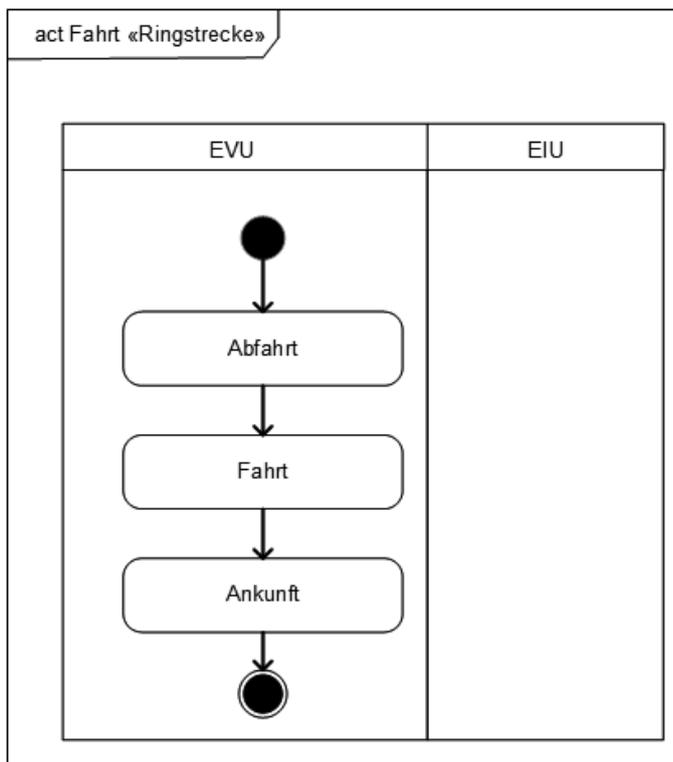


Abbildung 7.15 UML-Aktivitätendiagramm auf Ringstrecke mit einer Haltestation

Das Diagramm in Abbildung 7.15 ist sehr einfach, denn der Zug (Triebwagen) beginnt die Fahrt (Aktivität „Abfahrt“) an der Station, durchfährt anschließend die Strecke mit der maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeit und wird an der Station wieder Halten („Ankunft“). Es ist dabei nicht gesondert anzugeben, ob der Zug ein oder mehrere Male die Ringstrecke befährt, da durchgehend die Aktivität „Fahrt“ durchgeführt wird. Es muss keine Sicherheitsverantwortung im Bereich der Infrastruktur übernommen werden und deshalb wird auf entsprechende Aktivitäten im Diagramm

¹⁴⁸ Die Anlagen besitzen Weichen zu Abstellanlagen und zu Verbindungsstrecken. Die Befahrung erfolgt in der Regel nur auf der Ringstrecke.

verzichtet. Ausgehend von den Schutzfunktionen nach [MASCHEK 2009] in Abbildung 3.10 bedarf es hier keiner Gewährleistung der Sicherheit, denn es sind keine weiteren Fahrzeuge vorhanden (weder systemeigene noch –fremde Fahrzeuge), es werden keine Aussagen zur Umwelt getroffen (kein Eindringen externer Objekte) und das befahrene Gleis weist keine reguläre Unstetigkeit auf.

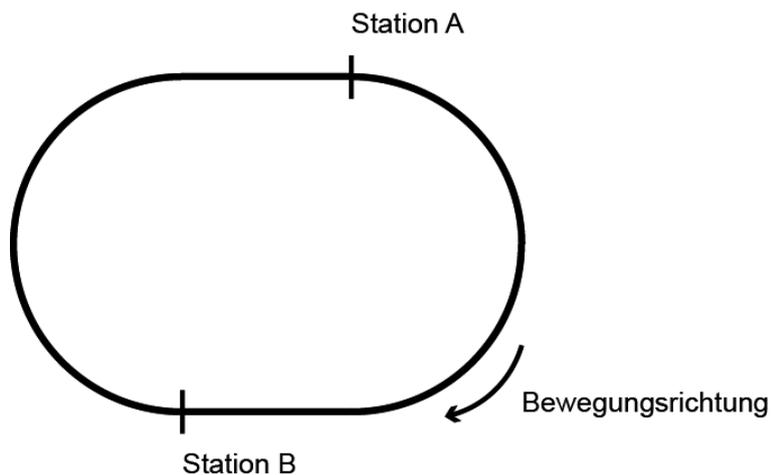


Abbildung 7.16 Ringstrecke mit zwei Stationen

Eine Ringstrecke mit zwei Stationen kann einen Verkehrszweck erfüllen. Die beiden Stationen befinden sich nicht am gleichen Ort und es besteht somit eine Distanz (Abbildung 7.16). Eine Bahnstrecke mit Verkehrszweck als Ringstrecke anzulegen ist an sich als unwirtschaftlich zu betrachten, denn die „Rückfahrt“ entspricht einem Umweg, stellt allerdings den nächsten Schritt zur Entwicklung der generischen Topologie dar. Dieser Umweg ist nur dann zwingend, wenn nur Einrichtungsfahrzeuge zur Verfügung stehen.

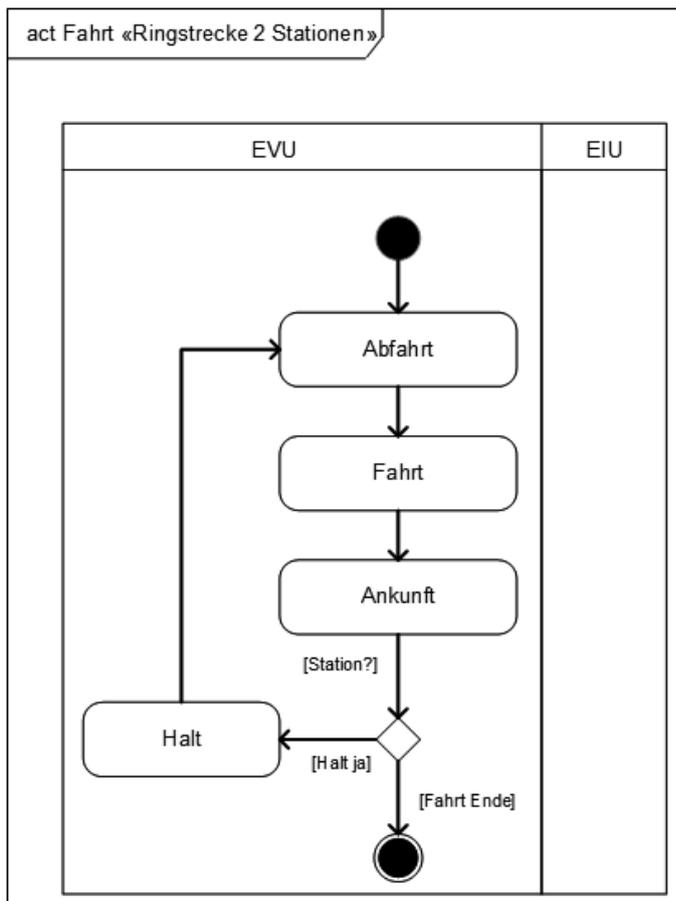


Abbildung 7.17 UML-Aktivitätendiagramm auf Ringstrecke mit zwei Haltepunkten

Anknüpfend an Abbildung 7.15 wurde das Diagramm um eine weitere Aktivität „Halt“ ergänzt, damit der Zug an der zweiten Station nach Bedarf anhalten kann. Dabei ist es unerheblich, ob, wann und wie viele Rundfahrten der Zug vor einem „Halt“ absolviert hat. Vor jedem Halt muss der Zug aus der Aktivität „Fahrt“ in die Aktivität „Ankunft“ übergehen, damit eine „Halt“-Aktivität durchgeführt werden kann. Solange der Zug in Fahrt ist, verbleibt er in der Aktivität „Fahrt“ (vgl. Abbildung 7.17).

Hinsichtlich der Fahrtsicherung bestehen auch hier noch keine Anforderungen, so dass die Spalte „EIU“ weiterhin leer bleibt.

7.6.4.2 System „Ringstrecke Zweirichtungsbetrieb“

Elemente EVU 1 Zug (Triebwagen, Zweirichtungsbetrieb)

EIU 1 Gleis, 2 Stationen

Netzform Ringstrecke

Das Streckennetz bleibt unverändert als Ringstrecke mit zwei Stationen. Für den Zug wurde die Eigenschaft des Richtungswechsels eingeführt und die Strecke kann ab jetzt in beiden Richtungen befahren werden.

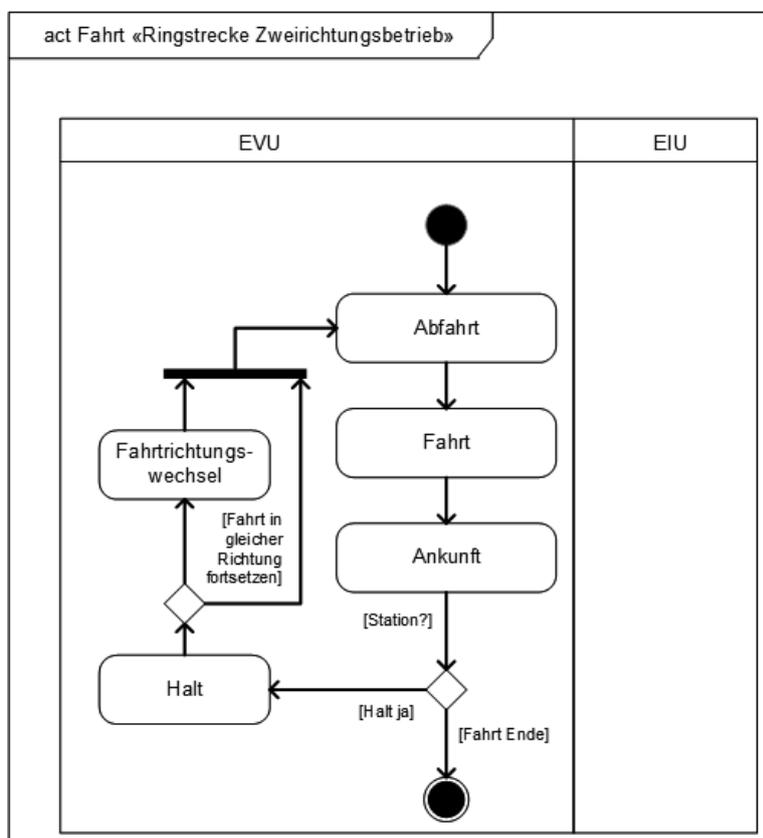


Abbildung 7.18 UML-Aktivitätendiagramm auf Ringstrecke mit Fahrtrichtungswechsel

Die neue Aktivität „Fahrtrichtungswechsel“ wurde nach der Aktivität „Halt“ eingefügt (Abbildung 7.18). Den Fahrtrichtungswechsel früher einzubinden ist nicht möglich, denn der Zug kann während einer Fahrt nicht plötzlich die Richtung ändern. In diesem Diagramm ist es ebenfalls unerheblich, wie oft der Zug die Ringstrecke befährt, wann er an einer Station anhält und zu welchem Zeitpunkt der Fahrtrichtungswechsel erfolgt.

Für einen aktiven Zug und ohne Einwirkungen von außen, muss auch hier die Infrastruktur keine Sicherungs- oder Dispositionsfunktionen übernehmen.

7.6.5 Erster Erweiterungsschritt Infrastruktur

7.6.5.1 Infrastrukturvarianten

Im ersten Erweiterungsschritt wird die Ringstrecke jeweils um einen Elementtyp erweitert. Dadurch ergeben sich drei Untervarianten mit Gleisabschlüssen, Gleiskreuzung und Verzweigungen.

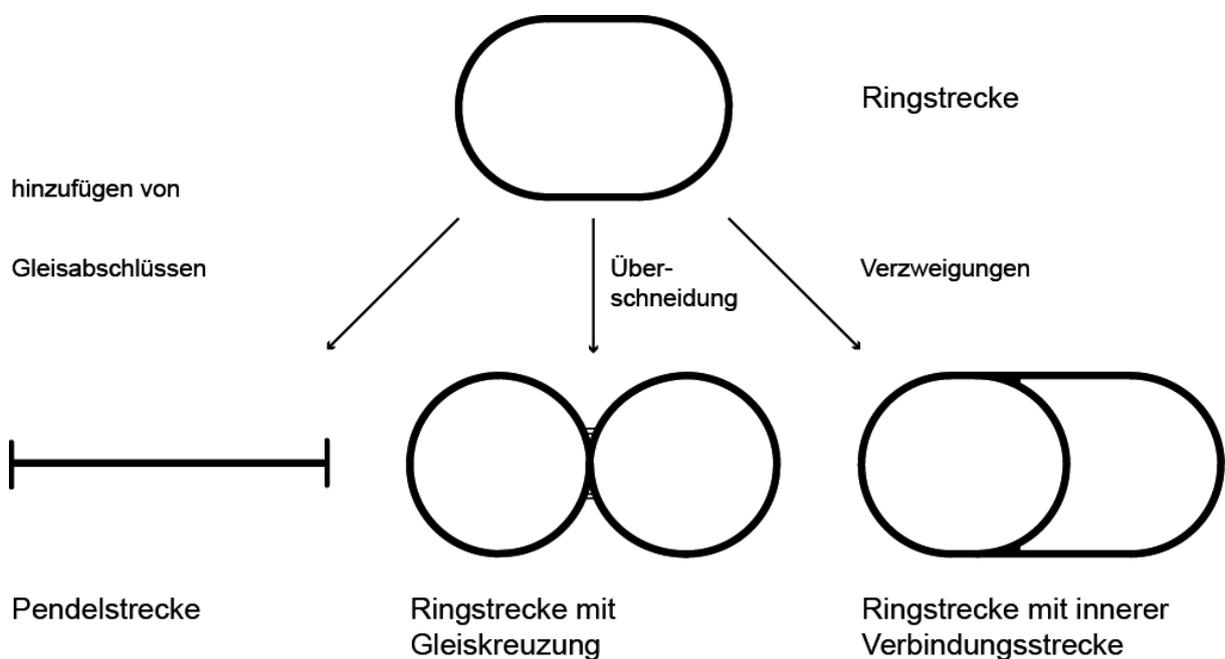


Abbildung 7.19 Erster Erweiterungsschritt Infrastruktur

Die in Abbildung 7.19 dargestellten Ausprägungen sind sehr einfache Varianten. Z. B. hätte die Ringstrecke mit innerer Verbindungsstrecke auch mit zwei in gleicher Richtung verlaufende Verzweigungen (zwei einfache Rechts- oder Linksweichen) gestaltet werden können (siehe Abbildung 7.20). Es wird allerdings davon ausgegangen, dass hierfür keine zusätzliche Aktivität in den Fahrtprozess integriert werden muss.

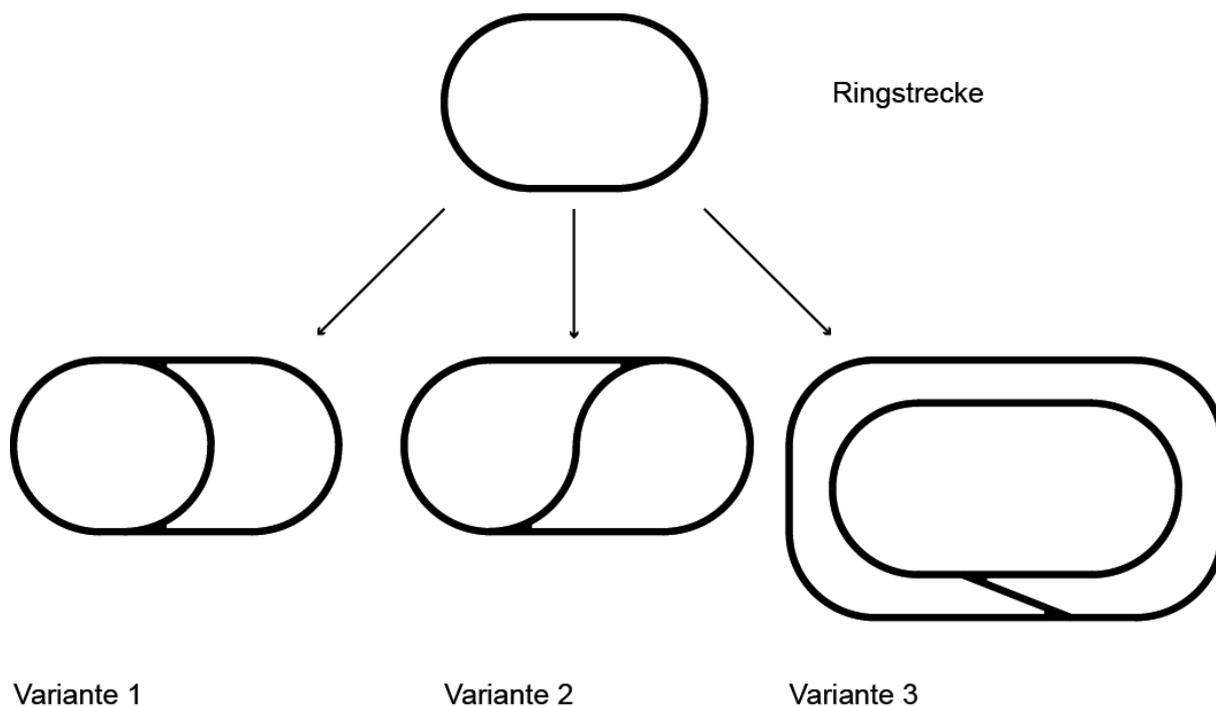


Abbildung 7.20 Varianten von Ringstrecken mit zwei Weichen

Bestimmte Erweiterungsvarianten sind nicht möglich, bspw. wenn nur ein Gleisabschluss oder nur eine Verzweigung integriert werden sollen. In diesen Fällen müssten gleichzeitig weitere Elemente hinzugefügt werden, um eine schlüssige Topologie zu erhalten.

Im nächsten Kapitel wird der Betriebsprozess für eine Pendelstrecke, ausgehend vom Prozess in Abbildung 7.18, erzeugt.

7.6.5.2 System „Pendelstrecke ohne Zwischenstation“

Elemente EVU 1 Zug (Triebwagen, Zweirichtungsbetrieb)

 EIU 1 Gleis, 2 Stationen, 2 Gleisabschlüsse

Netzform Pendelstrecke

Die bisherige Ringstrecke wird aufgeschnitten und in eine Pendelstrecke mit zwei Endpunkten entfaltet (vgl. Abbildung 7.21). Es besteht also „nur“ die Fahrtmöglichkeit von „Station A“ nach „Station B“. Um von „B“ wieder zurück nach „A“ zu gelangen, wird der gleiche Weg in die entgegengesetzte Richtung zurückgelegt.

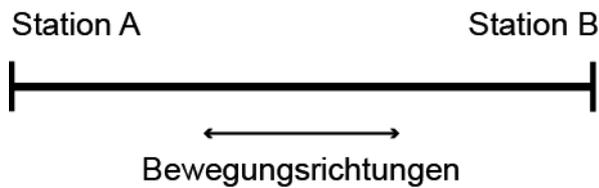


Abbildung 7.21 Pendelstrecke ohne Zwischenstation

Die beiden Stationen werden sich immer an den Endpunkten der Strecke befinden und dazwischen besteht kein Grund für einen Halt. Daraus folgt, dass das Aktivitätendiagramm grundsätzlich dem aus Abbildung 7.15 entspricht. Die Fahrt muss immer an der nächsten (zweiten) Station enden und für die Rückfahrt wird ein neuer Fahrtprozess beginnen. Nimmt man an, dass diese Bahn einen Pendelbetrieb zwischen zwei Punkten durchführt und innerhalb eines Tages mehrere Hin- und Rückfahrten stattfinden, dann kann folgender Prozess in Abbildung 7.22 modelliert werden.

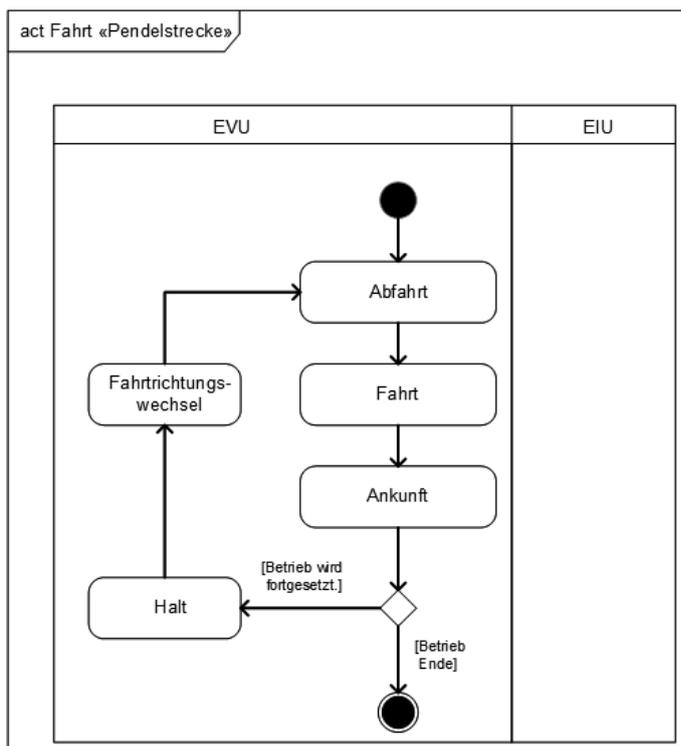


Abbildung 7.22 UML-Aktivitätendiagramm für eine Pendelstrecke ohne Zwischenstation

7.6.5.3 System „Pendelstrecke mit Zwischenstation“

Eingabe EVU 1 Zug (Triebwagen, Zweirichtungsbetrieb)

EIU 1 Gleis, 3 Stationen, 2 Gleisabschlüsse

Netzform Pendelstrecke

Die Infrastruktur besteht aus einer Pendelstrecke mit zwei Endstationen „A“ und „B“ sowie der Zwischenstation „Z“.

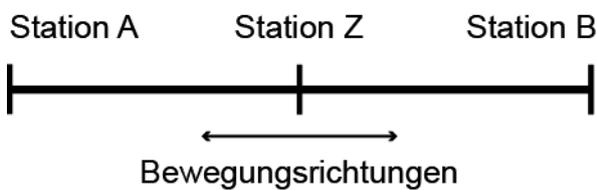


Abbildung 7.23 Infrastruktur Pendelstrecke mit Zwischenstation

Für eine Pendelstrecke mit einer Zwischenstation ergibt sich das gleiche Aktivitätsdiagramm wie für eine Ringstrecke mit zwei Stationen (siehe Abbildung 7.18).

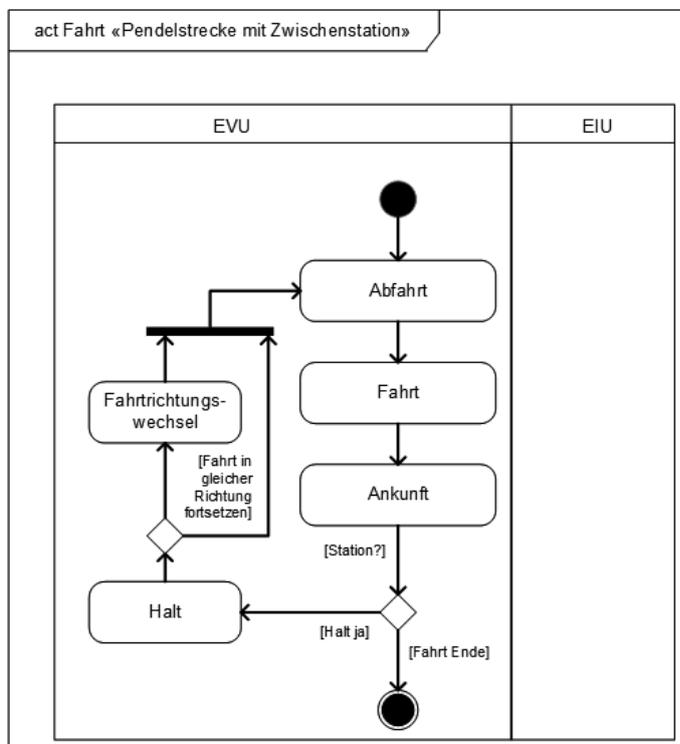


Abbildung 7.24 UML-Aktivitätsdiagramm für Pendelstrecke mit Zwischenstation

Tritt die Situation ein, dass der Zug in „Station Z“ durchfährt, dann wird der Prozess direkt vom Anfang bis zum Ende durchlaufen. Hält der Zug in „Z“, dann wird die Aktivität „Halt“ ausgeführt und anschließend die Kante zur Umgehung des Fahrtrichtungswechsels benutzt, der übrige Prozessverlauf erfolgt analog zum Prozess ohne Halt statt. Wird der Zug in „Z“ einen Fahrtrichtungswechsel vollziehen, dann wird diese Aktivität zusätzlich ausgeführt. Grundsätzlich kann ein ganzer Fahrplantage für diese Strecke mit einem Zug modelliert werden. Es ist dabei unbedeutend, wann und wie oft der Zug zwischen „A“ und „Z“ pendelt, zwischen „Z“ und „B“ pendelt, in „Z“ anhält oder durchfährt.

Das Diagramm bleibt auch dann unverändert, wenn weitere Zwischenstationen in die Pendelstrecke eingefügt werden. Solange der Zug fährt, verbleibt er in der Aktivität „Fahrt“, erfolgt ein Zwischenhalt, dann muss die Aktivität „Halt“ aufgerufen werden und wird der Zug die Richtung ändern, wird zusätzlich die Aktivität „Fahrtrichtungswechsel“ vollzogen. Die Infrastruktur muss auch bei diesem Netz keine Aktivitäten ausführen, da weiterhin nur ein Zug auf der Strecke ist.

7.6.5.4 System „Ringstrecke mit Gleiskreuzung“

Eingabe EVU 1 Zug (Triebwagen, Zweirichtungsbetrieb)
 EIU 2 Gleise, 2 Stationen, 1 Gleiskreuzung
 Netzform Ringstrecke in Form der Ziffer Acht

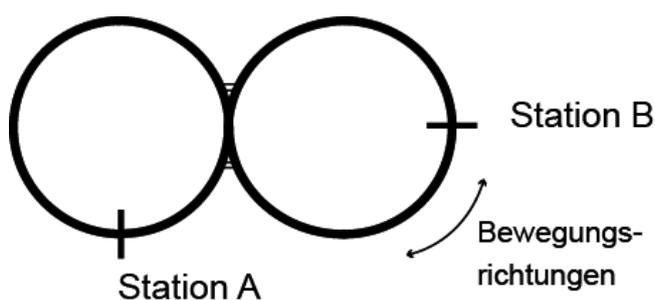


Abbildung 7.25 Ringstrecke mit Gleiskreuzung

Grundsätzlich entspricht die Gestaltung der Strecke in Abbildung 7.25 dem Netz aus Abbildung 7.16 (Ringstrecke).

Auf dem Streckennetz ist kein weiterer Zug unterwegs und die Elemente der Gleiskreuzung werden als starr angenommen, so dass auch hier die Seite der Infrastruktur keine Verantwortung übernehmen muss. Das Aktivitätendiagramm entspricht dem

von Abbildung 7.18 und Abbildung 7.24. Es ist hier lediglich darauf zu achten, dass die maximale Zuglänge unter der Länge der kürzeren Gleisschleife liegt. Anderenfalls gibt es einen Selbstausschluss, wenn die Zugspitze die Gleiskreuzung erreicht, bevor das Zugende diese passiert hat (Deadlock¹⁴⁹).

7.6.5.5 System „Ringstrecke mit innerer Verbindungsstrecke“

Eingabe	EVU	1 Zug (Triebwagen)
	EIU	3 Gleise, 3 Stationen, 2 Weichen
Netzform		Ringstrecke mit gegenläufiger innerer Verbindungsstrecke (Abbildung 7.26)

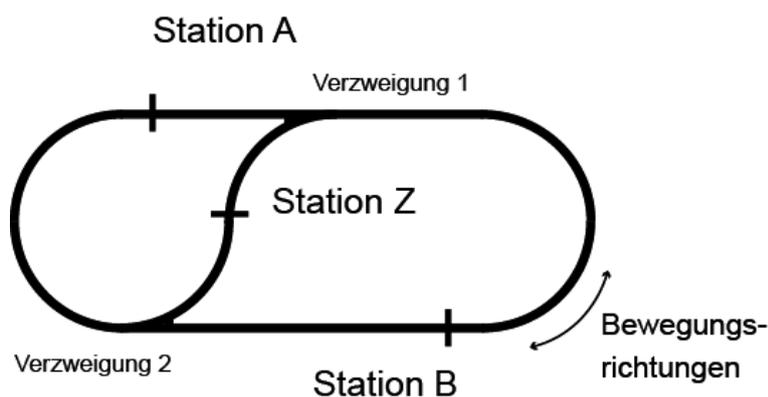


Abbildung 7.26 Ringstrecke mit innerer Verbindungsstrecke

Die Veränderung des Prozessdiagramms wird hier am Beispiel von Variante 2 aus Abbildung 7.20 nachvollzogen. Die Wahl dieser Variante wird damit begründet, dass nach einem Durchfahren der inneren Verbindungsstrecke (via „Station Z“) der Zug auf die Ringstrecke fährt und dort verbleibt, solange er keinen Fahrtrichtungswechsel durchführt. Die beiden Weichen werden dadurch immer stumpf befahren. Soll eine Rückfahrt nach „Z“ stattfinden, dann ist ein Fahrtrichtungswechsel zu vollziehen und die nächste zu befahrende Weiche kann eine Richtungswahl anbieten. Im Gegensatz dazu wird bei Variante 1 in Abbildung 7.20 abwechselnd eine Weiche spitz und eine Weiche stumpf befahren, so dass ohne Fahrtrichtungswechsel nach einer gewissen Zeit jeder Punkt im Streckennetz erreicht werden kann.

¹⁴⁹ Ein Deadlock ist eine „im Regelbetrieb nicht mehr lösbare Konfliktsituation, die meist durch einen Dispositionsfehler [...] entsteht.“ [NAUMANN 2004]

Im Netz befinden sich von jetzt an bewegliche Fahrweegelemente. Vor dem Befahren einer Weiche muss sicher feststehen, dass die Weiche richtig steht und befahrbar ist. Schutzfunktionen wie Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutz müssen nicht beachtet werden, denn es verkehrt weiterhin nur ein Zug mit einem Fahrzeug. Es ist hierbei nur festzulegen, wann der Fahrzeugführer die Kenntnis haben soll, dass er die Weiche befahren darf und welche Geschwindigkeit zulässig ist. Weiterhin ist zu beachten, wer die Weiche stellt und überwacht. Es bestehen folgende zwei Möglichkeiten:

- a) EVU stellt (und überwacht) die Weiche selbst
- b) EIU stellt und überwacht die Weiche

Variante a) EVU stellt Weichen

Der Fahrzeugführer muss vor dem Befahren der Weiche wissen, wie diese eingestellt ist und mit welcher Geschwindigkeit er darüber hinweg fahren darf. Beide Informationen können auf unterschiedliche Art und Weise an den Zug übertragen werden.

- Die Position der Weiche wird an einem definierten Punkt vorher angekündigt. Dieser Punkt ist so weit von der Weiche entfernt, dass der Zug regulär bremsen und dort anhalten kann. Die Länge des Bremsweges ist abhängig von der zulässigen Geschwindigkeit und der Last des Zuges. Am Ankündigungspunkt wird lediglich über die zu erwartende Weiche informiert, deren Stellung und die zulässige Abzweiggeschwindigkeit werden nicht mitgeteilt. Das bedeutet, dass der Zug vor der Weiche anhalten muss und diese vor Ort gestellt wird. An Hand der Weichenstellung wird danach abgeleitet, wie schnell sie befahren werden darf. Diese Information kann vor Ort angezeigt werden oder in einem Dokument (z. B. Fahrplan) auf dem Zug hinterlegt sein. Muss der Zug vor Ort halten, dann ist die Geschwindigkeit zum Befahren der Weiche zwar von untergeordneter Bedeutung, grundsätzlich ist sie jedoch nicht zu vernachlässigen. Bspw. könnte bei einem langen, leichten und beschleunigungsstarken Zug die Geschwindigkeit so schnell ansteigen, dass die letzten Wagen bereits auf der Weiche entgleisen könnten.
- Ist die Stellung einer örtlich bedienbaren Weiche vor dem Ankündigungspunkt (vor Anfang des Bremsweges) bekannt oder kann vom Zug aus vor diesem Punkt die Weiche ferngesteuert und überwacht werden (ähnlich wie bei Straßenbahnen), dann muss nicht zwingend davor gehalten werden. Der Zug kann dann seine Geschwindigkeit anpassen und entsprechend weiterfahren.

Es wird für Variante a) ein Aktivitätendiagramm erstellt (Abbildung 7.27), für das gilt, dass die Weichen vor Ort vom Zugpersonal gestellt werden müssen.

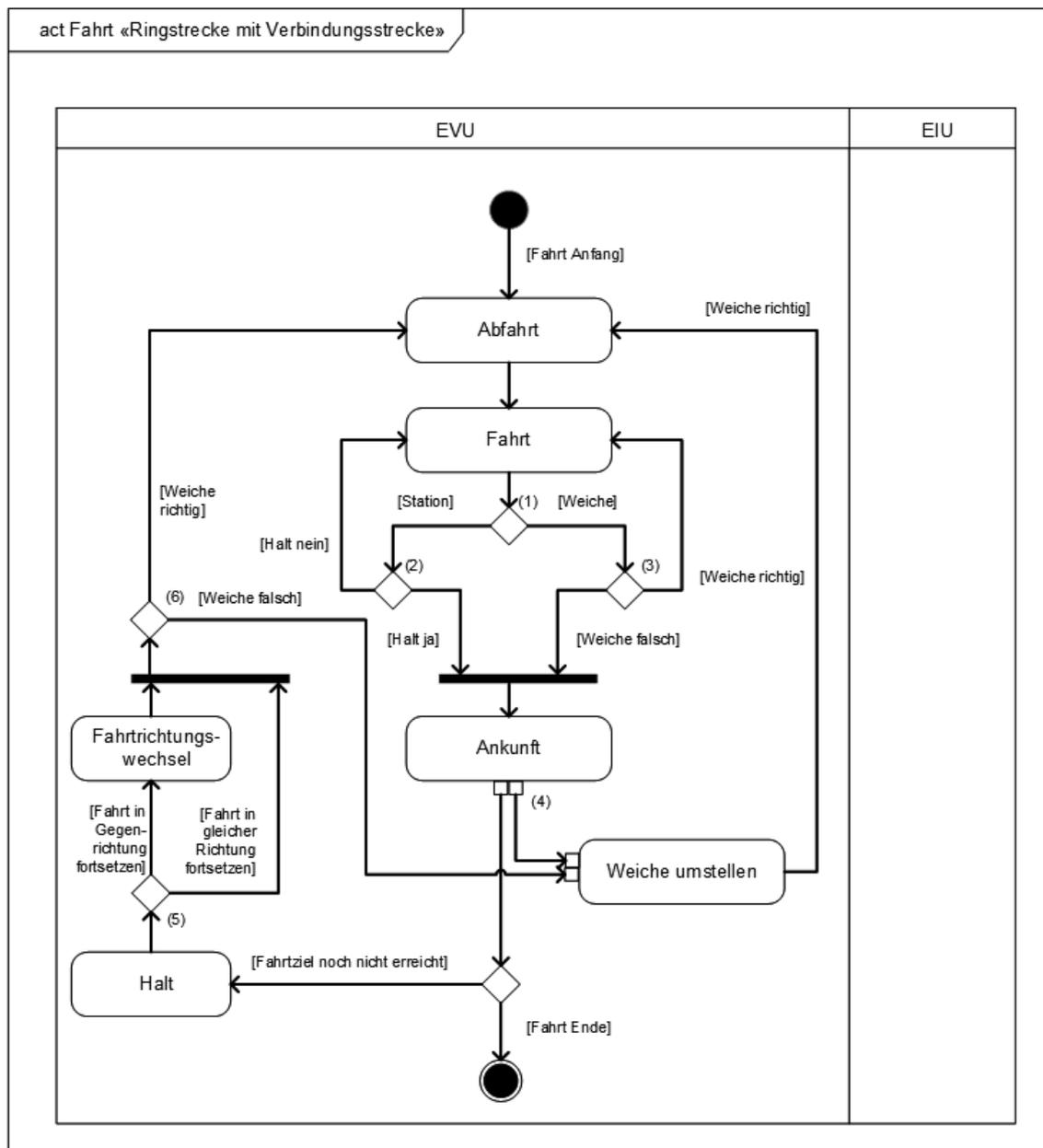


Abbildung 7.27 UML-Aktivitätendiagramm für Ringstrecke mit Selbststellbetrieb

Im Vergleich zu Abbildung 7.24 hat das Prozessdiagramm deutlich an Komplexität gewonnen, obwohl lediglich das neue Fahrweegelement Weiche integriert wurde.

Nach Abfahrt des Zuges an einer beliebigen Stelle im Netz kann als nächster Punkt eine Weiche oder eine Station erreicht werden (siehe Entscheidungsknoten (1) in Abbildung 7.27). Der Zug muss den vor ihm liegenden Weg absuchen und wird eines

der beiden Elemente antreffen, jedoch nicht beide gleichzeitig. Dies gilt auch im Falle, dass eine Weiche und eine Station direkt nacheinander folgen.

Bei einer Station muss der Zug entscheiden, ob er anhalten oder weiterfahren möchte (Entscheidungsknoten (2)). Nähert sich der Zug einer Weiche, muss er wissen, ob die Weiche für die Weiterfahrt richtig oder falsch steht (Entscheidungsknoten (3)). Daraus folgt, dass bei einer falsch stehenden Weiche und bei einem Halt an einer Station der Zug bremsen und anhalten muss (Aktionsknoten „Ankunft“). Vom physikalischen Bewegungsablauf aus betrachtet ist es unerheblich, ob der Zug wegen einer Weiche oder einer Station anhält. Wichtig ist im Prozessverlauf, dass auf Grund eines bestimmten Objektes angehalten wird. Zur besseren Verdeutlichung wird der Kontrollfluss mit Pins (4) ergänzt. Mit Hilfe der Objektpins kann nach dem physikalischen Anhalten entweder zur Aktivität „Weiche umstellen“ oder zur Aktivität „Halt“ (entsprechend der Entscheidungsgründe bei (2) und (3)) übergegangen werden. Wären keine Pins vorhanden, müssten in dieser Darstellung nach der Aktivität „Ankunft“ immer beide Aktivitäten folgen, was bei einzelnen Stationen oder Weichen nicht der Fall ist.

Die Aktivität „Halt“ umfasst nicht näher spezifizierte Vorgänge des Fahrgastwechsels oder des Güterumschlages, welche bei Stillstand des Zuges erfolgen können. Ist diese Aktivität beendet, besteht die Möglichkeit, die Fahrt in gleicher Richtung fortzusetzen oder umzukehren (Entscheidungsknoten (5)). Sind eine Station und eine Weiche so im Netz angeordnet, dass während eines Haltes gleichzeitig die Weiche gestellt werden kann, dann ist diese vor der Weiterfahrt auf ihre richtige Stellung hin zu überprüfen (Entscheidungsknoten (6)). Anschließend kann die Fahrt fortgesetzt werden (Aktivität „Abfahrt“). Das Diagramm kann so oft durchlaufen werden, bis der Fahrt-Prozess beendet wird und den Endknoten erreicht.

Da die Schutzfunktionen Flanken-, Folge- und Gegenfahrtschutz nicht realisiert werden müssen (kein weiterer Zug im Netz), ist eine diesbezügliche Unterstützung durch die Infrastruktur nicht notwendig. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit niedrig und damit wenig wettbewerbsfähig ist, wenn das Netz eine große Anzahl Fahrwegverzweigungen besitzt und damit zusätzliche Halte erzwungen werden.

Variante b) EIU stellt Weichen

Um die Reisegeschwindigkeit zu erhöhen, wird die Verantwortung für das Stellen und Sichern der Weichen von nun an auf das EIU übertragen. Der Fahrweg für den Zug soll von einer Ausgangsstation bis zu einer beliebigen nächsten Station festgelegt werden. Das EIU erteilt daraufhin eine Erlaubnis zur Fahrt an das EVU und gibt an, bis zu welcher Station die Erlaubnis gültig ist. Die Erlaubnis kann vom EVU vom aktuellen Standort des Zuges bis zu einer beliebig entfernten Station erteilt werden. Die Anzahl der dazwischen liegenden weiteren Stationen und Verzweigungen ist unerheblich. Vor dem Erteilen der Fahrerlaubnis müssen folgende Bedingungen bis zur Zielstation erfüllt sein:

- Der Fahrweg muss vor dem Befahren richtig eingestellt sein.
- Der Fahrweg muss während des Befahrens unveränderlich sein.

Je nach aktueller Position des Zuges kann die Fahrerlaubnis abschnittsweise verlängert werden respektive die zurückliegenden Gleisabschnitte wieder frei gegeben werden. Die für einen solchen Prozessablauf notwendigen Aktivitäten sind im nachfolgenden Diagramm abgebildet.

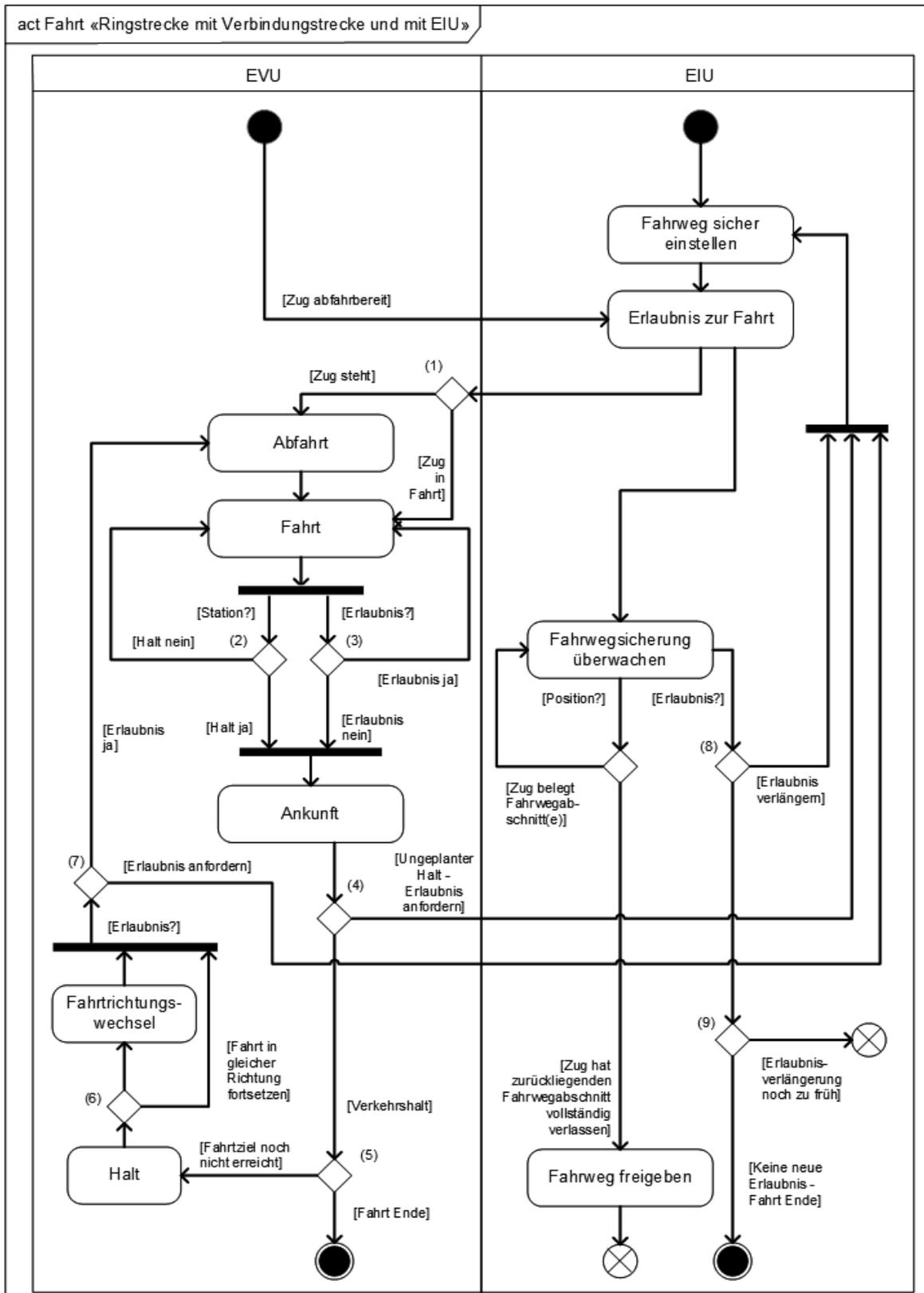


Abbildung 7.28 UML-Aktivitätendiagramm für Ringstrecke mit EIU

Das Aktivitätendiagramm in Abbildung 7.28 wird an Hand einer Beispielfahrt nachvollziehbar erläutert. Als Betriebsprogramm ist eine Fahrt von „Station A“ nach „Station Z“ über „Z“ (ohne Halt), „B“, „A“ (mit Fahrtrichtungswechsel) nach „Z“ durchzuführen (vgl. Abbildung 7.26).

Die Ausgangssituation ist ein stehender und abfahrbereiter Zug. Das Ziel (und der dahinführende Weg) der Fahrt ist dem EIU bekannt, z. B. aus einem Fahrplan oder durch eine direkte Anfrage des Zuges (bspw. per Funk). Daraufhin kann das EIU einen ersten sicheren Fahrweg bis zur „Station B“ einstellen (siehe Abbildung 7.29). Es kann vorerst kein gesicherter Fahrweg für die Gesamtstrecke angeboten werden, da die Weiche 2 dreimal befahren wird, zwischenzeitlich umgestellt werden muss und ein Fahrtrichtungswechsel geplant ist. Es muss also mindestens dreimal eine Erlaubnis an den Zug erteilt werden.

Das EIU stellt einen sicheren Fahrweg von „A“ über Weiche 2 (Stellung abzweigend), „Station Z“, Weiche 1 (Stellung abzweigend) nach „Station B“ ein (Aktivität „Fahrweg sicher einstellen“). Anschließend wird dem Zug die Erlaubnis¹⁵⁰ erteilt, von „Station A“ bis „Station B“ zu fahren. In Abbildung 7.29 wird dargestellt, dass der Zug die „Station A“ nur in Richtung links (grün) verlassen darf, die Fahrt via Weiche 1 direkt nach Station B ist unzulässig (rot).

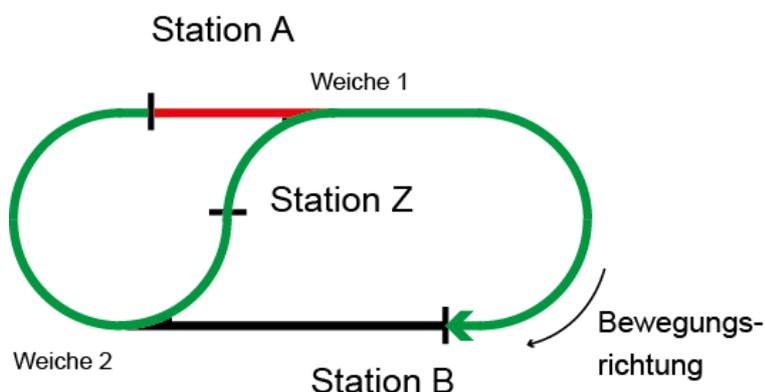


Abbildung 7.29 Erste Fahrterlaubnis von A nach B (grün)

Nach dem Erhalt der Erlaubnis führt der Zug die Aktivitäten „Abfahrt“ und „Fahrt“ durch (siehe Abbildung 7.28). Während der Fahrt muss der Zug darauf achten, ob er sich als Nächstes einer Station nähert oder den Endpunkt der aktuell für ihn gültigen Erlaubnis erreicht. In diesem Beispiel wird der Bereich einer Fahrterlaubnis durch die Stationen begrenzt und damit wird nur der Entscheidungsknoten

¹⁵⁰ Z. B. mit einem Signal oder per Funk

„Station“ (2) benötigt. Das Beachten der Weichenstellung ist für den Zug nicht mehr von Bedeutung, da die richtige Stellung und die Sicherung in der Verantwortung des EIU liegen (Aktivitäten „Fahrweg sicher einstellen“ und „Fahrwegsicherung überwachen“). Der Zug muss lediglich wissen, ob er an der nächsten Station halten muss oder weiterfahren darf. Darf er die Station durchfahren, dann wird am Entscheidungsknoten (2) „Halt nein“ ausgewählt und die Aktivität „Fahrt“ fortgesetzt.

Die „Station Z“ wird wie vorgesehen durchfahren und die Aktivität „Fahrt“ bis „Station B“ ausgeführt. Mit Erreichen der „Station B“ wird am Entscheidungsknoten (2) die Kante „Halt ja“ ausgewählt und der Zug wird anhalten (Aktivität „Ankunft“, Entscheidungen „Verkehrshalt“ und „Fahrziel noch nicht erreicht“, Aktivität „Halt“).

Nach Beenden des Halts in „B“ ist geplant, die Fahrt in gleicher Richtung „Station A“ fortzusetzen. Hierfür wird eine neue Erlaubnis durch des EIU benötigt. Die Aktivität „Fahrtrichtungswechsel“ wird umgangen und an Knoten (7) wird die Entscheidung „Erlaubnis anfordern“ getroffen. Unter der Annahme, dass das EIU noch keine Erlaubnis zur Weiterfahrt erteilt hat, muss der Zug diese anfordern. Das EIU wird zum zweiten Mal einen „Fahrweg sicher einstellen“ (Weiche 2 umstellen und sichern) und anschließend eine „Erlaubnis zur Fahrt“ bis „Station A“ erteilen. Der haltende Zug wird daraufhin wieder die Aktivitäten „Abfahrt“ und „Fahrt“ ausführen.

Die Fahrerlaubnis muss nur dann vom Zug in „Station B“ angefordert werden, wenn das EIU diese nicht bereits selbstständig verlängert und dem Zug signalisiert hat. Über die Entscheidungsknoten (8) und (9) wird entschieden, ob je nach aktueller Position (und Betriebslage) ein neuer Fahrweg eingestellt und gesichert werden kann oder der passende Zeitpunkt hierfür noch nicht erreicht ist.

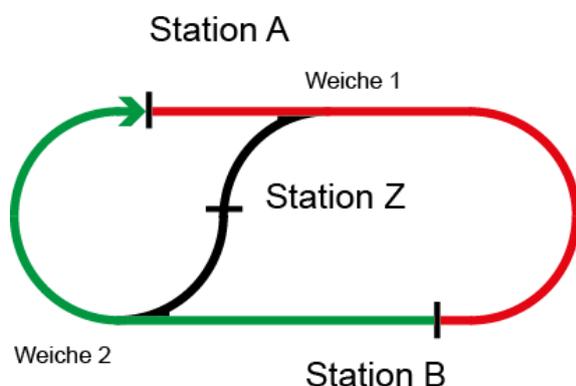


Abbildung 7.30 Zweite Fahrerlaubnis von B nach A (grün)

Die verlängerte Fahrterlaubnis darf nur von „Station B“ über Weiche 2 nach „Station A“ erteilt werden. Eine weitere Verlängerung von „Station A“ über Weiche 2 nach „Station Z“ ist noch nicht möglich, denn das würde zu einer Doppelbelegung der Erlaubnis führen.

Mit dem Erreichen der „Station A“ werden die gleichen Aktivitäten und Entscheidungen vollzogen, wie vorher bei Ankunft in „B“. Zur Fortsetzung der Fahrt nach „Station Z“ muss im UML-Diagramm an Knoten (6) die Entscheidung Richtung Aktivität „Fahrtrichtungswechsel“ fallen. Wird angenommen, dass während dieser Aktivität das EIU den Fahrweg nach „Z“ bereits sicher eingestellt und die Erlaubnis ohne Verzögerung an den Zug erteilt hat, dann kann der Zug am Entscheidungsknoten (7) direkt zur „Abfahrt“ übergehen.

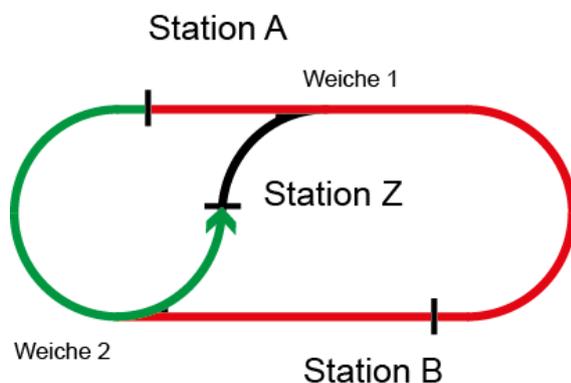


Abbildung 7.31 Dritte Fahrterlaubnis von A nach Z (grün)

Es werden bis zur „Station Z“ die Aktivitäten „Fahrt“, der Knoten (2), die Aktivität „Ankunft“ sowie Knoten (4) und (5) durchlaufen. Die Fahrplanvorgabe war das Erreichen der „Station Z“, so dass am Entscheidungsknoten (5) die Kante zum Endknoten hin ausgewählt wird. Soll eine weitere Fahrt stattfinden, dann muss das EVU mit einem neuen Betriebsprogramm (Fahrplan) am Startknoten den Prozess beginnen.

Die Aufgabe des EIU ist es, dem EVU einen sicheren Fahrweg anzubieten und diesen während der Fahrt zu gewährleisten. Es muss also immer eine Beobachtung des Zuges erfolgen. Kann die Erlaubnis am Anfang der Fahrt nicht durchgehend bis zum Ziel erteilt werden, dann ist es von Vorteil, wenn die Erlaubnis rechtzeitig vom EIU verlängert wird, ohne dass der Zug anhalten muss. Die EIU-Aktivitäten „Fahrweg sicher einstellen“, „Zustimmung zur Fahrt“, „Fahrwegsicherung überwachen“ und „Fahrweg freigeben“ müssen nicht vollständig mit der Zugsbewegung synchron verlaufen. Diese dürfen zeitlich früher erfolgen, wenn absehbar ist, dass eine neue Erlaubnis entsprechend des Betriebsprogrammes benötigt wird. Die Freigabe des

Fahrweges erfolgt durch das EIU, wenn der Zugschluss zurückliegende Fahrwegelemente sicher verlassen hat. Für den Zug selbst ist es unwichtig, ob die Freigabe des zurückliegenden Fahrwegabschnittes sofort oder erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt.

Im beschriebenen Beispiel sind die Begrenzungspunkte der Erlaubnis mit denen der Stationen identisch, so dass an den Knoten (1), (3) und (4) keine Entscheidungen durch den Zug getroffen werden müssen. Theoretisch kann eine Erlaubnis bis zu einem beliebig weit entfernten Punkt erteilt werden. Jedoch sinkt die Streckenkapazität, wenn die Belegung der Strecke zu früh für eine große Distanz erfolgt.

In Abbildung 7.32 wird der Fahrtverlauf noch einmal zusammenfassend dargestellt. Die Erlaubnis wird nun für Fahrwegabschnitte erteilt, die durch Stationierungspunkte festgelegt (begrenzt) werden. Entsprechend werden auch die zurückliegenden Fahrwegabschnitte umgehend wieder freigegeben.

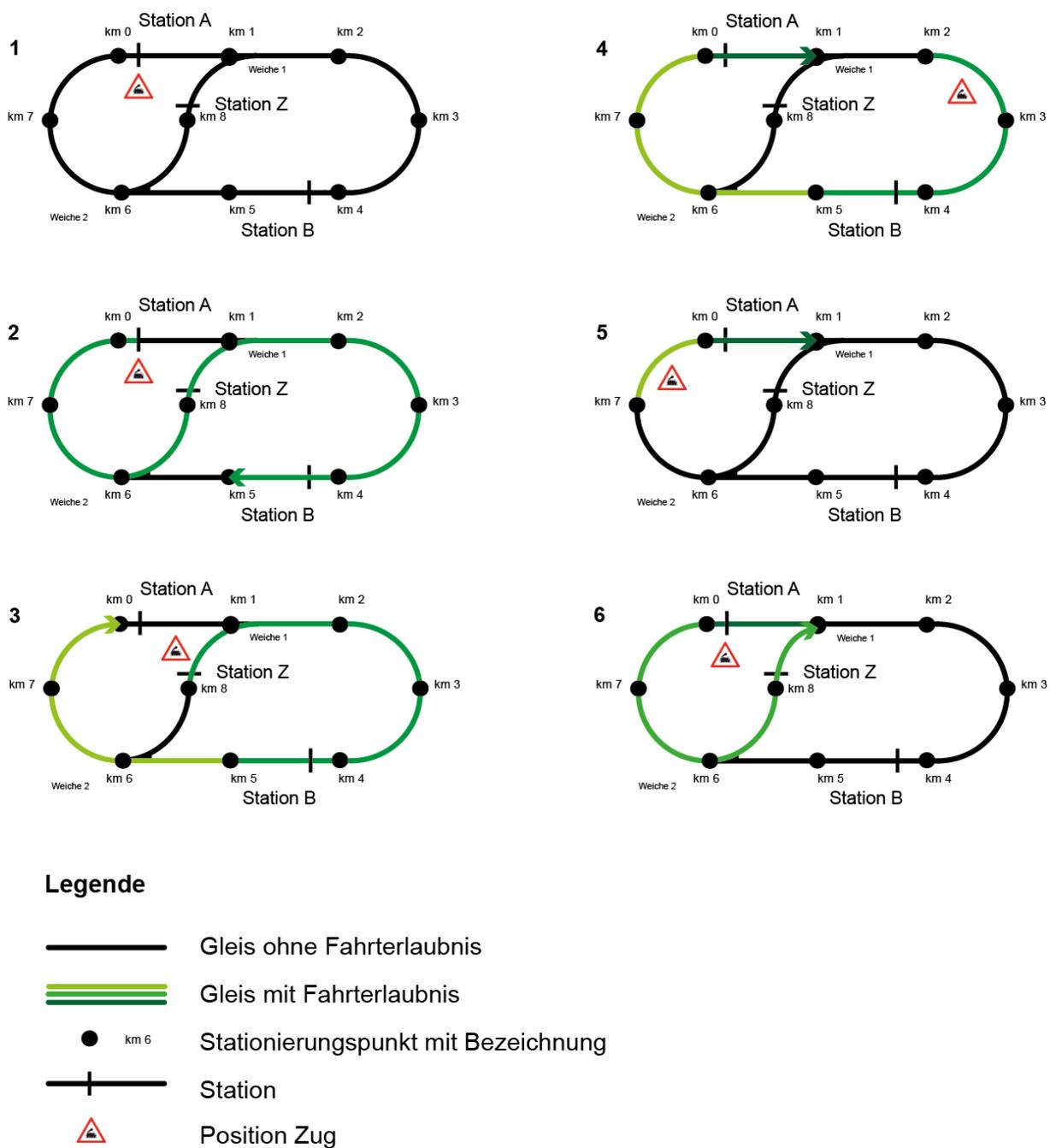


Abbildung 7.32 Beispiel für die schrittweise Verlängerung der Fahrterlaubnis¹⁵¹

Der Zug erhält seine erste Fahrterlaubnis von „Station A“ bis zum Stationierungspunkt km 5. Eine Verlängerung bis km 6 kann noch nicht erfolgen, denn Weiche 2 ist noch für die Zugfahrt in ablenkender Stellung reserviert (Schritt 2). Sobald der Zug den Abschnitt zwischen km 6 und km 8 geräumt hat, kann die Weiche 2 umgestellt

¹⁵¹ Weiche 1 befindet sich vollständig zwischen den Punkten km 1 und km 2 (nicht zwischen km 0 und km 1 und nicht zwischen km 1 und km 8) und Weiche 2 befindet sich zwischen km 5, km 6 und km 8.

werden und die Erlaubnis darf vom EIU bis km 1 verlängert werden (Schritte 3 & 4). In Schritt 5 könnte theoretisch schon die Weiche 2 auf ablenkend zurückgestellt werden und eine Fahrerlaubnis von „Station A“ nach km 8 erteilt werden. Der Zug befindet sich aber noch auf der Fahrt Richtung „A“, so dass er die Erlaubnis für die Gegenrichtung noch nicht benötigt. In „Station A“ wird dann der Fahrtrichtungswechsel vollzogen und die Fahrerlaubnis in Gegenrichtung bis km 1 übermittelt (Schritt 6).

7.6.6 Zweiter Erweiterungsschritt Infrastruktur

7.6.6.1 Infrastrukturvarianten

Im zweiten Erweiterungsschritt der Infrastruktur wird zu den drei einfachen Beispiels Strecken jeweils ein weiterer Elementtyp hinzugefügt (vgl. Abbildung 7.33).

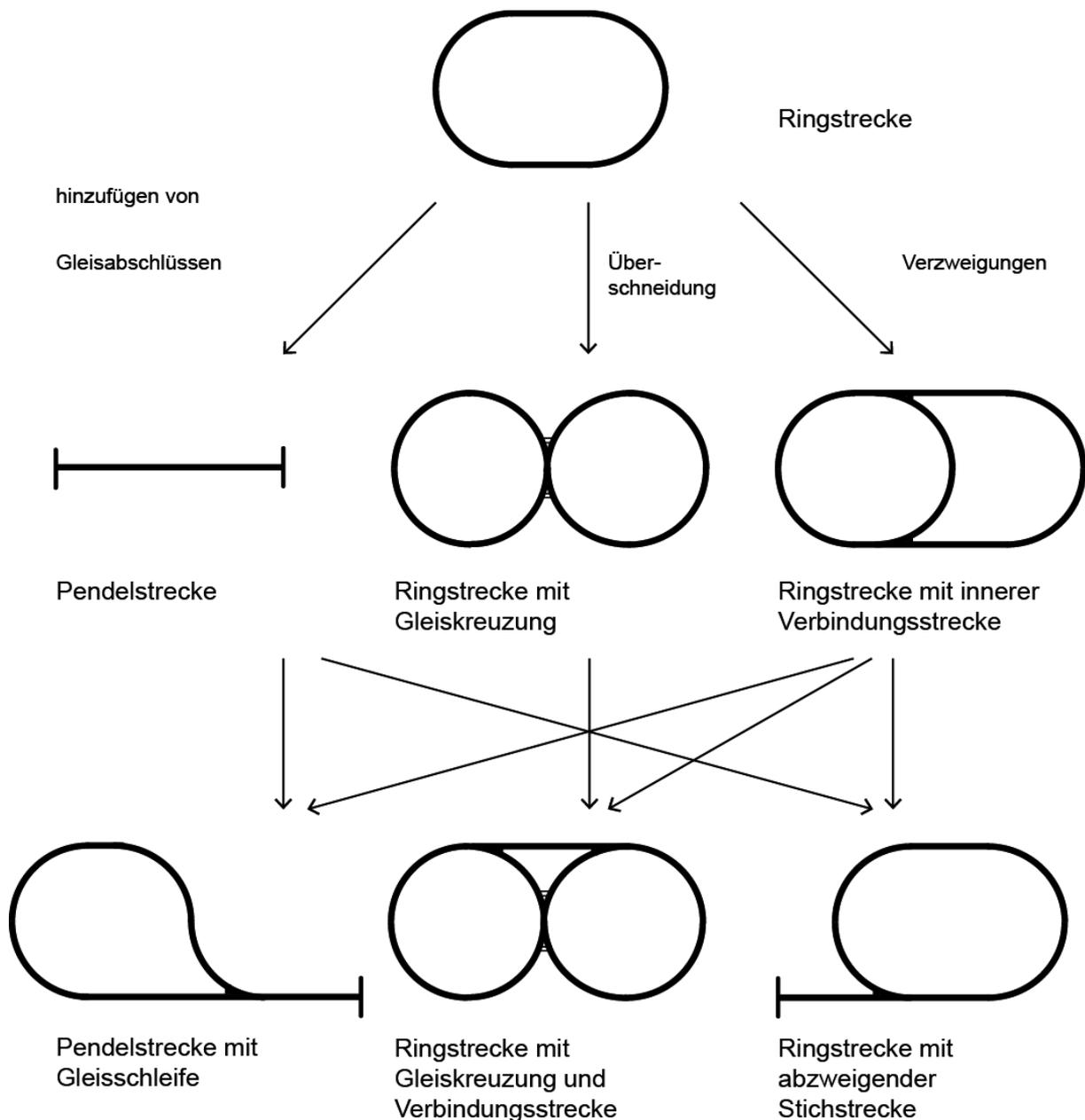


Abbildung 7.33 Zweiter Erweiterungsschritt Infrastruktur

Eine Kombination mit Gleiskreuzung und Gleisabschlüssen ist theoretisch möglich. Es existiert indes keine Möglichkeit, ohne Weiche von der Ringstrecke auf die Pen-

delstrecke zu wechseln. Es bestehen somit zwei „Inselnetze“ (Abbildung 7.34), welche sich lediglich räumlich in einem Punkt überschneiden. Diese Infrastrukturvariante wird für den Betrieb mit einem Zug nicht weiter untersucht.

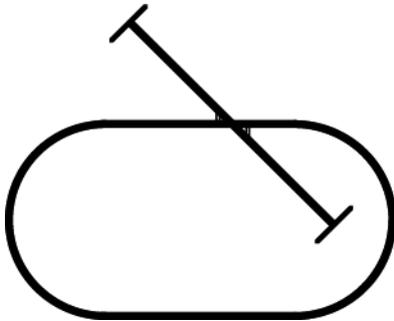


Abbildung 7.34 Infrastrukturvariante mit Gleisabschlüssen und –kreuzung und ohne Weichen

7.6.6.2 System „Ringstrecke mit abzweigender Stichstrecke“

Bei einer einfachen Infrastruktur mit ausschließlicher Verwendung der generischen Elemente Gleis, Gleisabschluss und Weiche bestehen verschiedene Möglichkeiten der Infrastrukturgestaltung. In Abbildung 7.35 sind drei denkbare Varianten dargestellt.

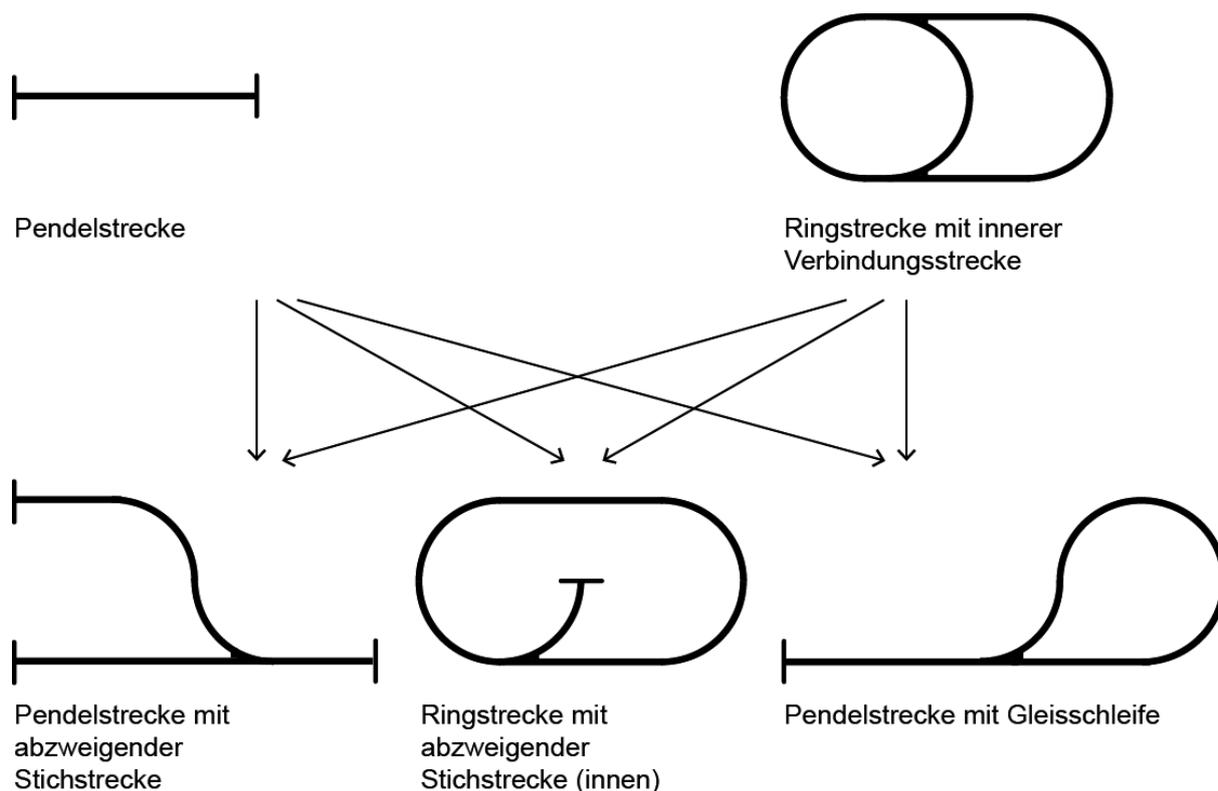


Abbildung 7.35 Ausgewählte Infrastrukturvarianten mit Gleisendabschlüssen und Weichen

Für die Weiterentwicklung des UML-Diagrammes aus Abbildung 7.28 wird aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit die Ringstrecke mit innerer Stichstrecke verwendet, welche ähnlich zur Infrastruktur in Abbildung 7.26 ist. Für die Sicherung der Fahrwege wird ein EIU verantwortlich sein, die Fahrwegabschnitte sind durch Stationierungspunkte gekennzeichnet und es befindet sich weiterhin nur ein Zug im Netz.

Die Beispielfahrt findet auf folgender Route statt:

Zugfahrt A – B – C – A – Z

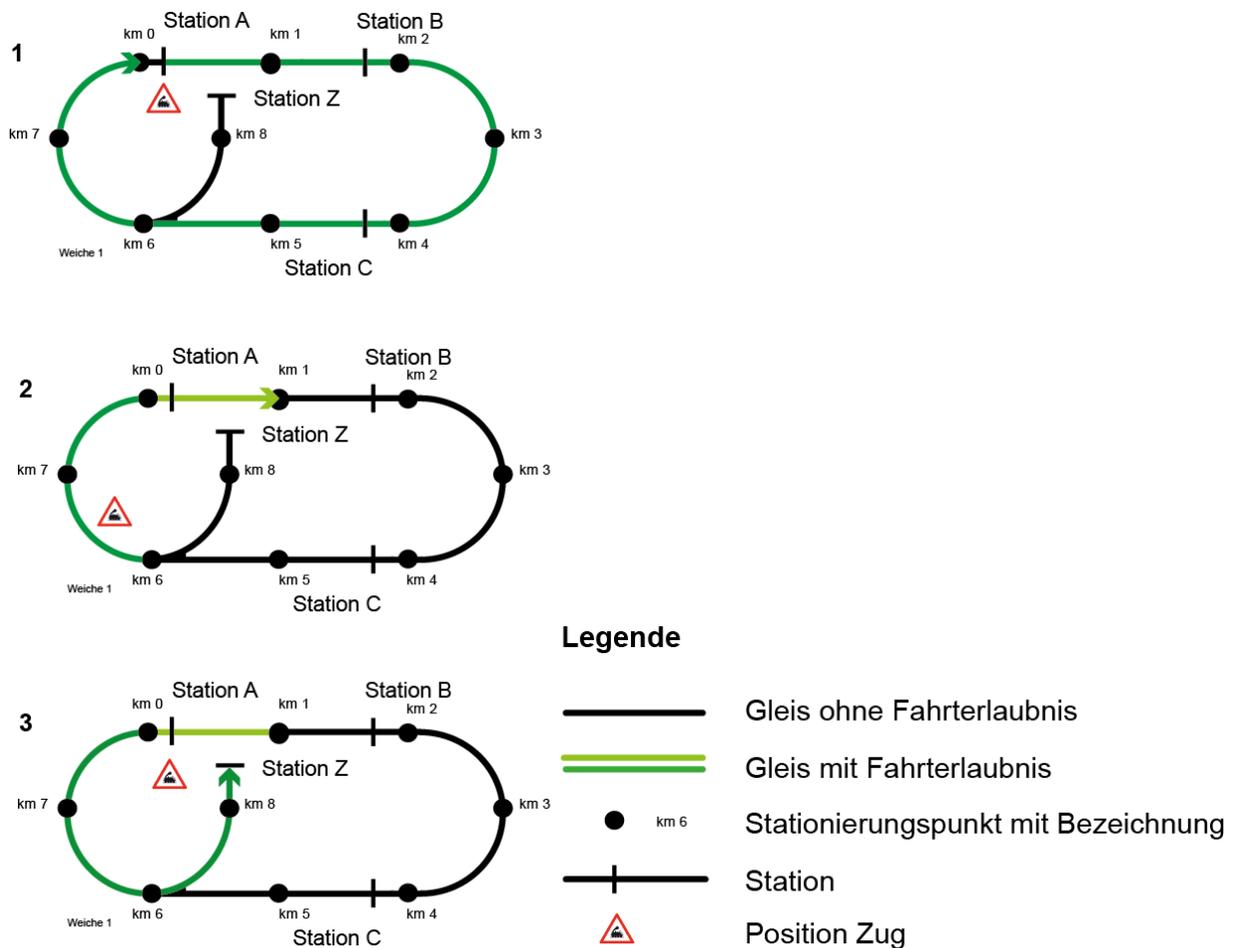


Abbildung 7.36 Fahrtverlauf für Ringstrecke mit Stichstrecke

Das EIU stellt für den Zug den Fahrweg von „A“ über mehrere Fahrwegabschnitte via „B“ und „C“ bis zum Stationierungspunkt „km 0“ ein und erteilt dafür die Fahrterlaubnis (Schritt 1 in Abbildung 7.36). Theoretisch könnte auch die Erlaubnis für die gesamte Ringstrecke erteilt werden, da sich nur ein Zug im Netz befindet und dieser sich nicht selbst gefährden kann. Es ist vorgesehen, dass in einem späteren Entwicklungsschritt mehrere Züge in einem Netz verkehren, so dass für den noch belegten Fahrwegabschnitt zwischen „km 0“ und „km 1“ noch keine Erlaubnis erteilt werden soll (Selbstausschluss). Auf Grund der Spurführung und der dadurch mangelnden Ausweichfähigkeit der Züge darf sich grundsätzlich nur ein Zug in einem Fahrwegabschnitt befinden.

Der Zug wird nach dem Erhalt der Fahrerlaubnis die Aktivitäten „Abfahrt“ und „Fahrt“ durchführen, das EIU wird parallel die Aktivität „Fahrwegsicherung überwachen“ ausführen. Bei Annäherung des Zuges an die Zwischenstationen muss entschieden werden, ob der Zug halten oder durchfahren soll. Zwischenzeitlich kann das EIU prüfen, ob es die Erlaubnis für den Fahrwegabschnitt km 0 – km 1 erteilt, damit der Zug bis „Station A“ verkehren und dort den Fahrtrichtungswechsel vollziehen kann (Schritt 2). Sobald der Zug die „Station A“ erreicht hat, wird die Aktivität „Fahrtrichtungswechsel“ ausgeführt und anschließend mit erteilter Erlaubnis die Fahrt bis „Z“ fortgesetzt und dort beendet.

Es kann festgestellt werden, dass das UML-Aktivitätendiagramm aus Abbildung 7.28 nicht verändert werden muss. Die Integration des Fahrwegelementes „Gleisabschluss“ wirkt sich auf den Fahrtprozess nicht besonders aus. Die ablaufenden Aktivitäten entsprechen denen eines Fahrtrichtungswechsels an einer Zwischenstation.

Das EIU übernimmt auch in dieser erweiterten Infrastruktur die Sicherung und Überwachung der Fahrwegelemente. Ist der Fahrweg frei und befahrbar, dann kann der Zug seine Fahrt beginnen und bis zu einem Zielpunkt fortführen. Durch diese Fahrwegabsicherung des EIU wird dem EVU garantiert, dass sich das Zugpersonal auf die eigentlichen fahrdynamischen Prozesse konzentrieren kann und keine Gefährdungen erwarten muss.

7.6.7 Dritter Erweiterungsschritt Infrastruktur

7.6.7.1 Infrastrukturvariante

Im dritten Erweiterungsschritt werden die Elemente Gleis, Gleisabschluss, Gleiskreuzung und Weiche in ein gemeinsames Netz integriert. Auch hier sind wieder unterschiedliche Topologien möglich, es wird sich jedoch auf eine Variante beschränkt (Abbildung 7.37).

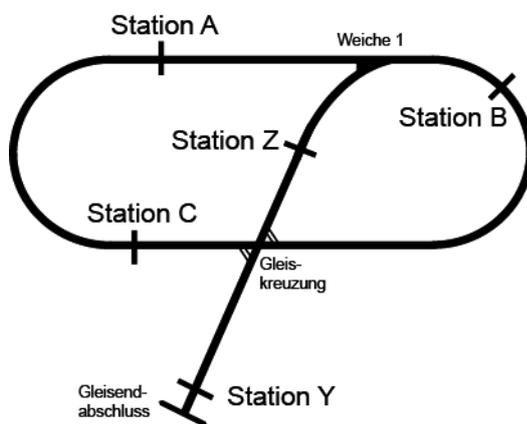


Abbildung 7.37 Infrastrukturvariante mit Weichen, Gleiskreuzung und -abschluss

7.6.7.2 System „Ringstrecke mit Gleiskreuzung“

Die in Kapitel 7.6.5.5 entwickelten UML-Diagramme werden auf notwendige Änderungen hin überprüft und es wird weiterhin nur ein Zug eingesetzt.

Die Erweiterung durch die Gleiskreuzung bedarf wie in Kapitel 7.6.5.4 keiner besonderen Ergänzung, da bei einem aktiven Zug keine gefährliche Belegung durch einen anderen Zug stattfinden kann. Die Stellung und Sicherung des Fahrweges wird in unveränderter Abfolge verlaufen (siehe UML-Diagramm in Abbildung 7.28) und auch der Gleisabschluss wird mit der Möglichkeit des Fahrtrichtungswechsel berücksichtigt.

Die Infrastrukturvariante in Abbildung 7.37 ist zwar im Vergleich zu einem realen Eisenbahnnetz sehr einfach aufgebaut, es ist aber zu erkennen, dass mit Ausnahme von „Station Y“ alle anderen Stationen über verschiedene Wege angefahren werden können. „Station Y“ liegt am Ende der Stichstrecke und kann deshalb nur über Weiche 1 und die Gleiskreuzung erreicht werden bzw. die Rückfahrt kann nur über diese Strecke erfolgen. Bei allen übrigen Stationen bestehen verschiedene Möglichkeiten

der Fahrwegwahl. So kann die Fahrt von „Station A“ nach „Station B“ direkt über Weiche 1 erfolgen, alternativ aber auch über „Station C“. Es ist also notwendig, dass der gewünschte Fahrweg zwischen dem EVU und dem EIU abgestimmt wird. Diese Abstimmung ist besonders dann wichtig, wenn während der Fahrt der vorgegebene Weg nicht mehr befahren werden kann und eine Umleitung erfolgen soll.

Aus diesem Grund werden die Aktivitäten „Fahrwegwunsch“ und „Fahrweg prüfen“ integriert (siehe Abbildung 7.38). Die Aktivität „Fahrwegwunsch“ besteht darin, beim EIU einen gewünschten Fahrweg zu erfragen. Kann diesem Wunsch entsprochen werden, dann kann das EIU den Fahrweg einstellen und nach erfolgter Sicherung dem Zug die Erlaubnis zur Fahrt erteilen. Bei einer generischen Beschreibung ist es nicht wesentlich, wie der Fahrwegwunsch geäußert wird. Im Regelfall erfolgt dies auf einer planerischen Ebene, in dem das EVU eine Fahrplantrasse bestellt und das EIU dafür einen Fahrplan zur Verfügung stellt.

Die Fahrwegwahl kann aber auch sehr kurzfristig bzw. während des Fahrtprozesses erfolgen, wenn z. B. aus verschiedenen Gründen eine andere Fahrroute gewählt werden muss. Als Ursachen können Störungen der Infrastruktur auftreten (betriebliche Störung, Umwelteinflüsse), Störungen am Zug oder eine Fehlleitung durch das EIU eintreten (siehe Kapitel 7.7.2).

Allgemein muss dem Zug (EVU) und dem EIU der befahrene Weg bekannt sein. Dies ist wichtig, da zahlreiche Besonderheiten an den Fahrzeugen und der Infrastruktur zu beachten sind, die eine besondere Sorgfalt erfordern. Zum Beispiel kann ein elektrischer Zug¹⁵² nicht über eine nicht elektrifizierte Strecke umgeleitet werden, Personenzüge können nicht alternativ in Gleisen ohne Bahnsteig halten, Fahrzeugbegrenzungslinien können abweichen (Lademaßüberschreitung), die Last eines Zuges kann für eine bestimmte Strecke zu hoch sein usw. Der Abstimmungsvorgang wird vor dem Einstellen des Fahrwegs in das UML-Diagramm integriert und kann als Schleife durchlaufen werden, falls mehrere Optionen der Routenwahl geprüft werden müssen.

Weiterhin werden die Aktivitäten „Fahrweg sicher einstellen“ und „Erlaubnis zur Fahrt“ zur Aktivität „Fahrweg sichern und Erlaubnis zur Fahrt erteilen“ zusammengefasst. Grundsätzlich stellt das EIU nur dann einen Fahrweg ein, wenn ein Fahrtwunsch besteht. Ist dieser Fahrweg eingestellt und auf seine Befahrbarkeit hin überprüft, dann ist das Erteilen der Fahrerlaubnis der Abschluss dieser Aktivität.

¹⁵² Triebfahrzeug wird über eine Fahrleitung mit Energie versorgt.

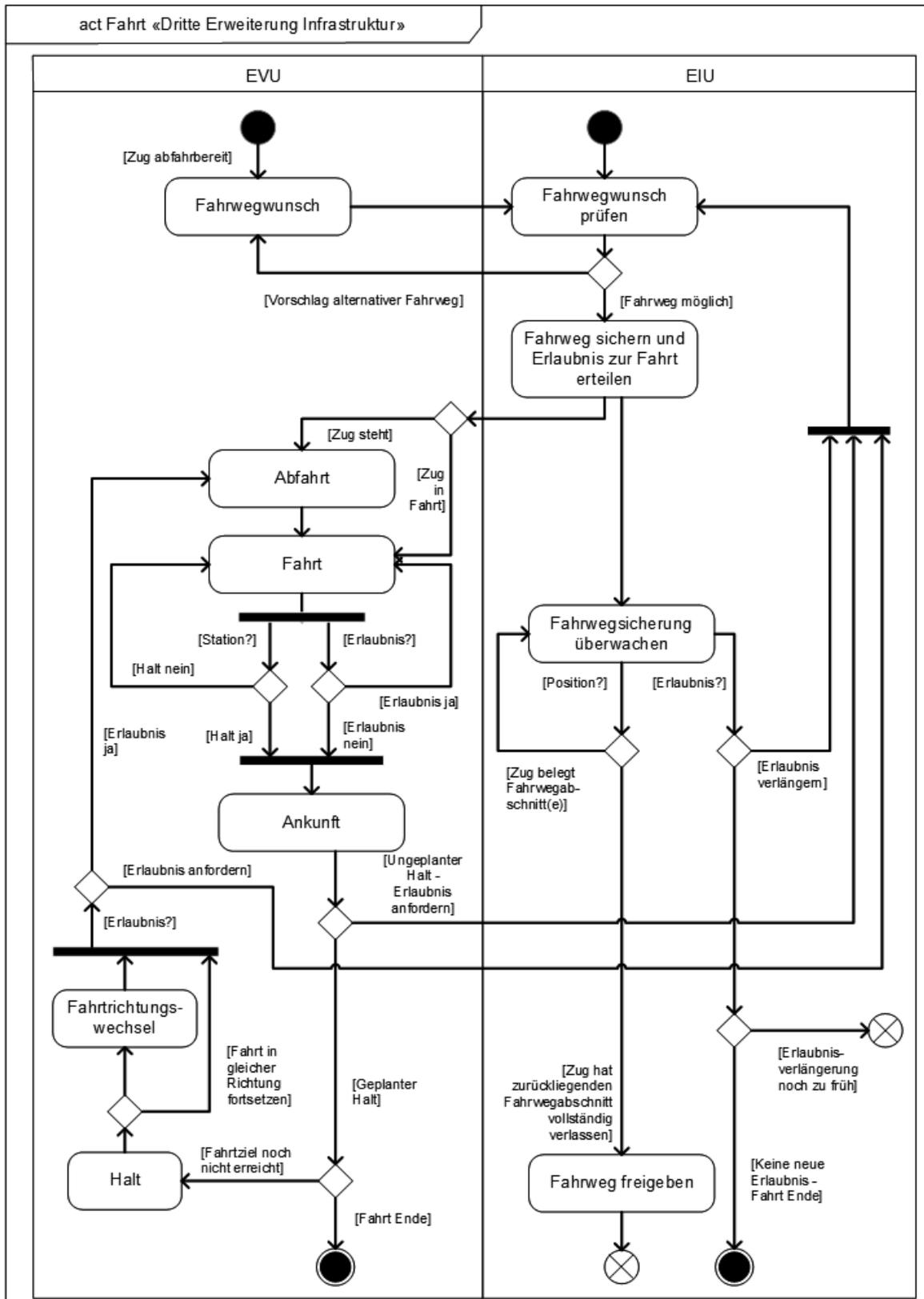


Abbildung 7.38 UML-Aktivitätendiagramm für dritte Infrastrukturerweiterung (mit EIU)

Würde man die Infrastruktur in Abbildung 7.37 um weitere Gleise, Weichen und Kreuzungen erweitern, dann würde zwar die Auswahl an Fahrtmöglichkeiten steigen, der Prozess muss dafür jedoch nicht verändert werden. Das UML-Diagramm (Abbildung 7.38) weist somit die größtmögliche Komplexität auf, bei der ein Zug in einem Bahnnetz verkehrt.

7.6.8 Zusammenfassung Kapitel 7.6

Es werden in diesem Kapitel die generischen Funktionen des EVU und des EIU unter der Bedingung zusammengefasst, dass sich nur ein Zug im Netz befindet und dieser seinen Fahrweg nicht selbst einstellen und sichern muss.

Das EIU nimmt einen Fahrtwunsch des EVU entgegen. Kann dem Wunsch nicht entsprochen werden, z. B. wegen eines nicht befahrbaren Gleisabschnittes, dann muss das EIU dies dem EVU kommunizieren. Kann ein festgelegter Fahrweg befahren werden, dann ist das EIU dafür verantwortlich, dass alle beweglichen Fahrweegelemente entlang des Fahrweges richtig eingestellt werden und bis zur vollständigen Vorbeifahrt des Zuges in der geforderten Stellung verbleiben. Besteht ein gesicherter Fahrweg, dann wird anschließend die Erlaubnis für die Zugfahrt an den Zug erteilt, wobei es aus generischer Sicht unerheblich ist, ob dies über Führerstands- oder Außen-signalisierung, per schriftlichem Befehl oder mündlich (per Funk) erfolgt. Wichtig ist, dass mit dem Erteilen der Erlaubnis die Zustimmung zur Fahrt besteht und dem EIU als auch dem EVU eindeutig bewusst ist, bis wohin diese gilt. Ist die Erlaubnis nicht bis zur Zielstation gültig, dann sollte sie rechtzeitig verlängert werden, ohne dass der Zug unnötig bremsen und eine neue Fahrerlaubnis anfordern muss.

Es muss nicht überprüft werden, ob das Gleis von anderen Fahrzeugen frei ist, da bisher nur ein Zug mit einem Fahrzeug angenommen wurde.

Generische Funktionen EIU

- Bestätigung des gewünschten Fahrweges
- Einstellung des richtigen Fahrweges
- Sicherung des richtigen Fahrweges
- Erteilung der Fahrerlaubnis an den Zug (inkl. Restriktionen)
- Freigabe des Fahrweges nach vollständiger Vorbeifahrt des Zuges

Das EVU muss dem EIU mitteilen, welchen Weg es befahren möchte. Dies erfolgt aus generischer Sicht mit einem Fahrplan, könnte aber auch direkt vor Fahrtbeginn dem EIU mitgeteilt werden (z. B. bei Fahrt eines Zusatzzuges). Erhält der Zug die Fahrerlaubnis für seinen gewünschten Fahrweg, dann kann sich dieser in Bewegung setzen und seinen Produktionsauftrag durchführen. Ist die Fahrerlaubnis nicht bis zur Zielstation gültig, dann sollte sie rechtzeitig vom EIU verlängert werden.

Generische Funktionen EVU

- Anforderung des Fahrweges
- Bestätigung eines alternativen Fahrwegvorschlages des EIU
- Richtige Interpretation der Fahrerlaubnis (inkl. Restriktionen)
- Durchführung der Fahrt

Grundsätzlich sind in einem Eisenbahnnetz mehrere Fahrzeuge gleichzeitig unterwegs, so dass im nächsten Kapitel die UML-Beschreibung der Zugfahrt mit mehreren verkehrenden Zügen überprüft wird.

7.7 Erweiterung der Betriebsprozesse für mehrere Züge

7.7.1 Einleitung

Die generische Beschreibung des Fahrtprozesses erfolgte bisher unter schrittweiser Erweiterung der Infrastruktur. In diesem Kapitel wird die mögliche Veränderung des UML-Aktivitätendiagramms bei Berücksichtigung weiterer Züge untersucht. Da sich ein Zug nur in einem eindimensionalen Raum bewegen kann (siehe Kapitel 7.3), wird die Entwicklung nur bis zur Integration eines dritten Zuges ins Netz fortgeführt. Eine größere Anzahl an Zügen zu untersuchen ist nicht notwendig, da ein Zug maximal nur einen Zug vor und einen Zug hinter sich beachten muss. Züge in Nachbargleisen oder vor/ hinter einem anderen Zug sind allgemein unbedeutend, weil sie auf Grund der fehlenden individuellen Überholmöglichkeiten nicht miteinander in Berührung kommen können.

7.7.2 Allgemeine Anforderungen an die Disposition

Zur Vermeidung von Belegungskonflikten müssen Prozesse der Disposition ablaufen, um Verspätungen zu verhindern oder zu verringern. Belegungskonflikte treten dann auf, wenn ein Fahrwegelement gleichzeitig von mehr als einem Fahrzeug (Zug) beansprucht werden soll. Weil eine Mehrfachbeanspruchung nicht möglich ist, darf nur der erste Zug das entsprechende Fahrwegelement belegen und jeder weitere Zug muss warten, bis dieses wieder frei gefahren und verfügbar ist. Zur Vermeidung von Belegungskonflikten werden in großen und heterogenen Eisenbahnnetzen Fahrpläne erstellt, die eine Zuteilung konkreter Fahrplantrassen an die Züge darstellen.

Nach [FRANK 2013] sind folgende Belegungskonflikte zu berücksichtigen:

- Folgefahrt
- Gegenfahrt
- Einfädelung
- Ausfädelung
- Abfolge
- Kreuzung

Durch das ungeplante Auftreten von Störungen kann es zu Abweichungen vom Fahrplan (Regelbetrieb) kommen, wenn ein Zug zu spät (oder zu früh) verkehrt und Belegungskonflikte erzeugt. Die Konflikte wirken sich dann auf andere Züge aus, so dass diese wiederum verspätet werden. In diesem Fall ist es Aufgabe der Disposition, „den gestörten Betrieb in den Regelbetrieb zurückzuführen.“¹⁵³

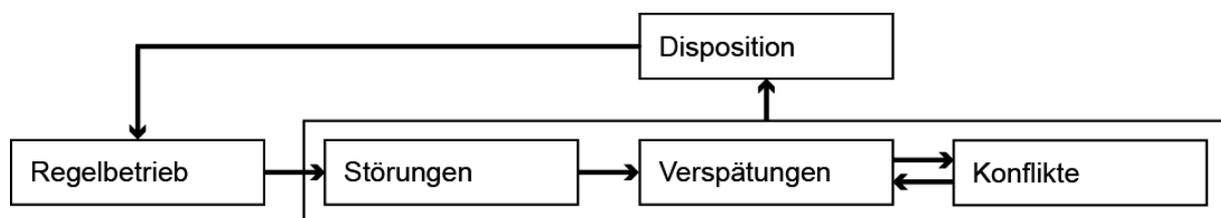


Abbildung 7.39 Abhängigkeiten der Betriebszustände [WEIDMANN 2013]

¹⁵³ Zitat aus [WEIDMANN 2013], Seite 87

Die betriebliche Disposition gliedert sich zeitlich in drei Phasen [WEIDMANN 2013]:

- Vordisposition, Sofortmaßnahmen nach Eintritt des Störereignisses
- Hauptdisposition, abgestimmte Maßnahmen bei lang anhaltenden Störungen
- Nachdisposition, Maßnahmen zur Wiederherstellung des Regelbetriebes

Allgemein ist die **Disposition** eine „Tätigkeit zur Regulierung bzw. Beeinflussung des Betriebsablaufs auf der Grundlage einer exakten Erfassung u. Analyse. Disposition ist allg. Bestandteil der Leitungstätigkeit u. wird vor allem bei der unmittelbaren Leitung der Transportdurchführung (operativer Dienst) erforderlich. Zu unterscheiden sind: Triebfahrzeugdisposition, Wagendisposition, Zugdisposition.“¹⁵⁴

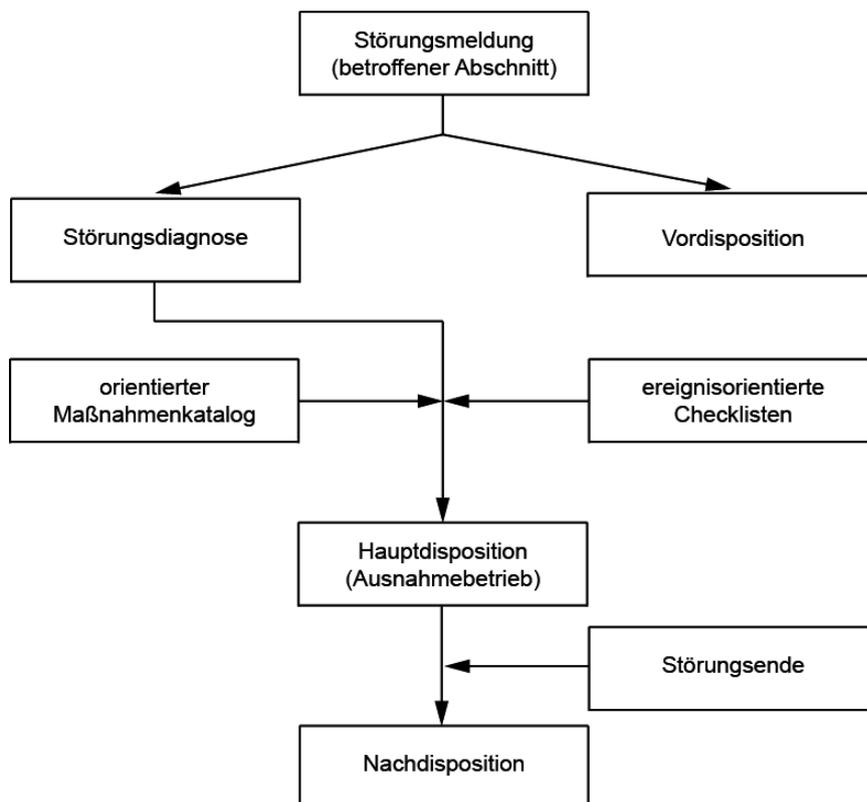


Abbildung 7.40 Dispositionsablauf im Störfall [WEIDMANN 2013]

¹⁵⁴ Zitat aus [ADLER 1990], Seite 185

Die betriebliche Disposition mit direkter Verknüpfung zwischen EIU und Zugpersonal umfasst folgende Maßnahmen [JACOBS 2003][WEIDMANN 2013]:

- Änderung der Zugreihenfolge
- Haltezeitverlängerung oder Brechen von Anschlüssen
- Fahrzeitverlängerung (-verkürzung)
- Fahrwegalternative
- Verlegung oder Aufhebung von Zugkreuzungen oder Überholungen
- Vorzeitiges Wenden eines Zuges
- Einfügen eines zusätzlichen Zughaltes
- Aufheben eines geplanten Zughaltes
- Ersatzzug einsetzen
- Zusätzliche Zugfahrten anbieten
- Erstellung eines neuen Soll-Fahrplans

Diese betrieblichen Maßnahmen sind unabhängig von der Sicherung der Zugfahrt und ausschlaggebend für die Qualität des Dienstleistungsproduktes Transport. Die Disposition soll zukünftig Bestandteil der Aktivität „Fahrwegwunsch prüfen“ sein (siehe Abbildung 7.47).

7.7.3 Zwei Züge

Es wird für die Weiterentwicklung der Betriebsprozesse die Infrastruktur aus Abbildung 7.37 geringfügig angepasst und um eine innere Verbindungsstrecke erweitert. Das Netz wird in einzelne Fahrwegabschnitte untergliedert und durch Stationierungspunkte (km ...) begrenzt. Die Anzahl der Züge wird auf zwei unabhängig voneinander verkehrende Triebwagen erhöht.

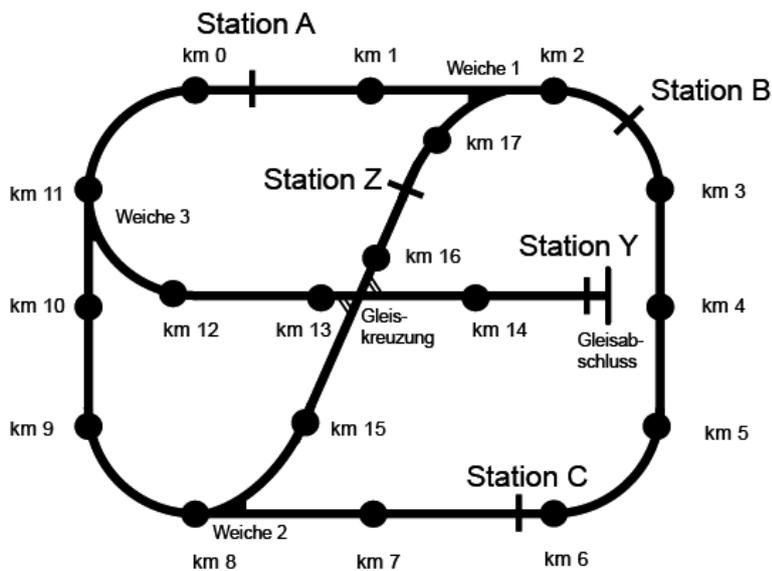


Abbildung 7.41 Infrastruktur mit Stationierung

Die beiden Zugfahrten finden gleichzeitig statt, halten auf allen Unterwegsstationen und werden folgenden Weg benutzen:

Zug 1 Y – A – B – C

Zug 2 B – Z – A – B – C

Der Fahrtverlauf beider Züge wird schrittweise nachvollzogen und die zugelassenen Fahrterlaubnisse sowie die belegten Fahrwegabschnitte farblich dargestellt. Bedingung ist, dass ein Zug mindestens einen Fahrwegabschnitt belegen muss.

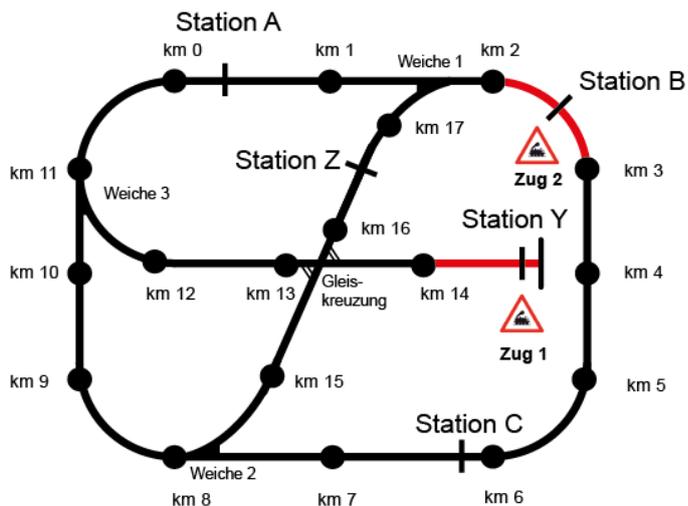


Abbildung 7.42 Ausgangssituation mit zwei Zügen im Netz zum Zeitpunkt 0

In Abbildung 7.42 befinden sich die beiden Züge in ihren Ausgangsstationen und belegen jeweils einen Fahrwegabschnitt. Entsprechend des Fahrtverlaufes werden zwei Konfliktbereiche auftreten, in denen beide Züge die gleichen Fahrwegelemente beanspruchen. Das ist zum einen die Gleiskreuzung und zum anderen das Gleis von Weiche 3 über „Station A“, Weiche 1 und „Station B“ nach „Station C“. Aus diesem Grund kann die Erlaubnis für beide Züge nicht durchgehend bis zur Zielstation erteilt und muss schrittweise erneuert werden. Es müssen von nun an die Funktionen Flanken-, Folge- und Gegenfahrtschutz zwischen den beiden Zügen realisiert werden. Das bedeutet, dass das EIU vor dem Erteilen einer Fahrerlaubnis weitere Bedingungen¹⁵⁵ prüfen muss:

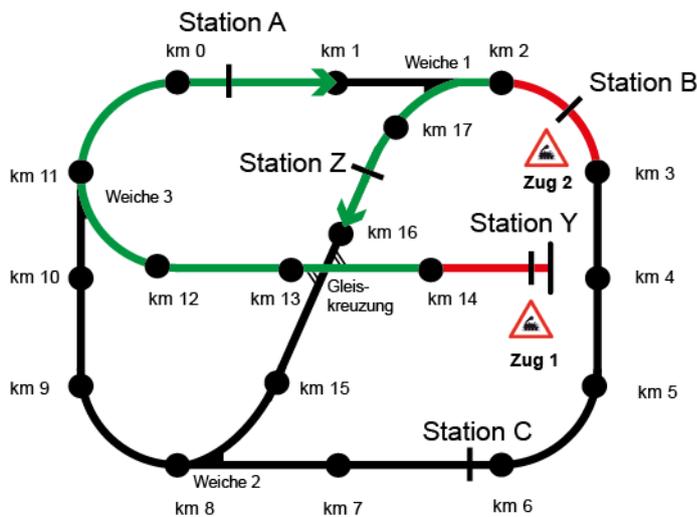
- Fahrweg muss frei von anderen Fahrzeugen sein.
- Fahrzeuge dürfen nicht in einen Gleisabschnitt einfahren, für den bereits eine Fahrerlaubnis besteht.

Zu Beginn kann das EIU folgende Fahrten zulassen:

Zug 1 von „Station Y“ über die Gleiskreuzung und Weiche 3 bis „km 1“

Zug 2 von „Station B“ über Weiche 1 bis „km 16“

¹⁵⁵ Siehe Kapitel 7.6.5.5, Abschnitt b)



Legende

- Gleis ohne Fahrerlaubnis
- Gleis mit Zugbelegung
- Gleis mit Fahrerlaubnis
- km 6 Stationierungspunkt mit Bezeichnung
- Station und Gleisabschluss
- Position Zug

Abbildung 7.43 Fahrerlaubnis besteht für beide Züge zum Zeitpunkt 1

In Abbildung 7.43 hat das EIU Zug 1 den Vorrang bei Belegung der Gleiskreuzung gegeben (Realisierung Flankenfahrtschutz), da Zug 2 einen geplanten Halt in „Station Z“ hat und wahrscheinlich später an der Kreuzung eintreffen wird. Hätte Zug 2 den Vorrang an diesem Konfliktpunkt bekommen, dann hätte man ihm die Erlaubnis über Weiche 2 und „Station A“ bis km 1 erteilen können. Die daraus resultierende zeitliche Belegung wird als sehr groß angenommen und Zug 1 müsste in „Station Y“ länger warten (oder würde nur ein kurzes Stück bis km 14 vorfahren).

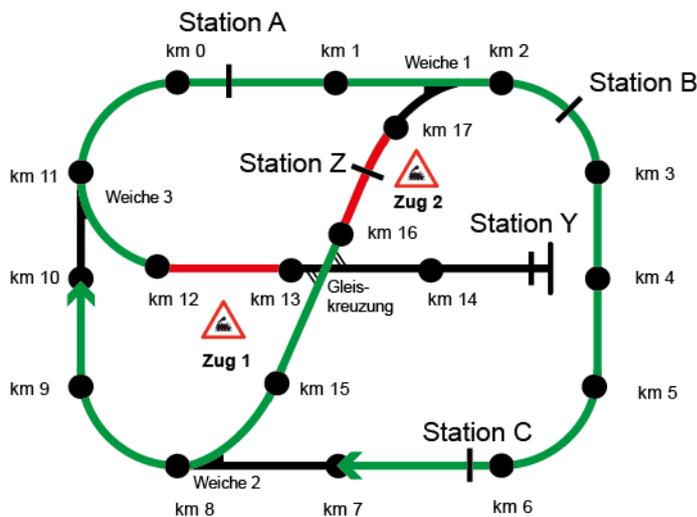


Abbildung 7.44 Fahrterlaubnisse für beide Züge zum Zeitpunkt 2

In Abbildung 7.44 fährt Zug 1 im Abschnitt km 12 – km 13 und Zug 2 hält in „Station Z“. Die Belegung der Gleiskreuzung konnte nach vollständigem Durchfahren aufgehoben werden und eine neue Belegung durch Zug 2 erfolgen. Die Erlaubnis für Zug 2 kann bis km 10 verlängert werden. Eine Erweiterung ist noch nicht möglich, denn in Weiche 3 ist noch die Erlaubnis für Zug 1 gültig. Die Belegung von Weiche 1 durch Zug 2 wurde zwischenzeitlich aufgehoben, so dass das EIU die Erlaubnis für Zug 1 bis km 7 verlängert hat (Fahrt bis Zielstation möglich).

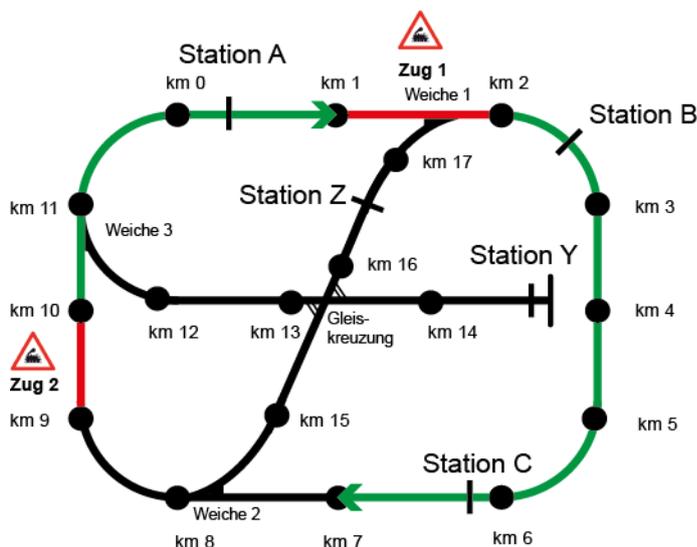


Abbildung 7.45 Fahrterlaubnisse für beide Züge zum Zeitpunkt 3

Beide Züge sollen nach dem gegebenen Fahrplan ab Weiche 3 in gleicher Richtung bis „Station C“ fahren. Das EIU muss hier den Folgefahrschutz garantieren, indem es die Fahrterlaubnis für Zug 2 immer nur dann erweitert, wenn Zug 1 einen vorauslie-

genden Fahrwegabschnitt frei gefahren hat. Das wiederholt sich so lange, bis Zug 1 „Station C“ erreicht hat und die Fahrt beendet. Das bedeutet aber für Zug 2, dass er nur bis zum Fahrwegabschnitt km 5 – km 6 folgen kann. Er darf „Station C“ nicht anfahren, weil dort Zug 1 den dazugehörigen Fahrwegabschnitt belegt und kein zweites Gleis verfügbar ist.

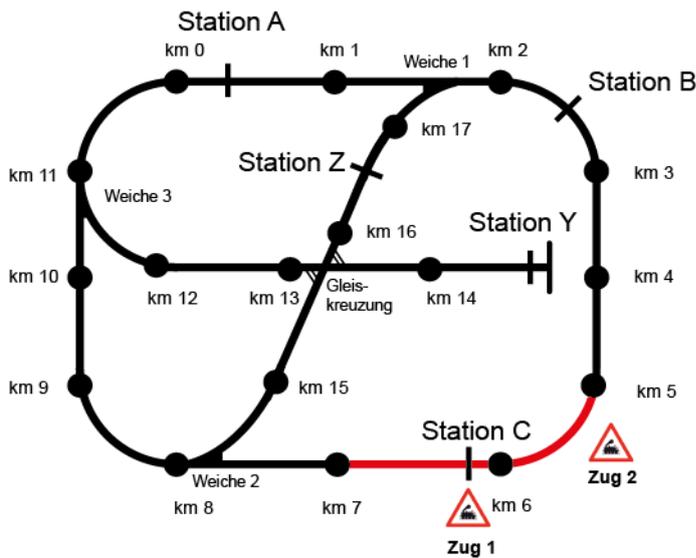


Abbildung 7.46 Schlusssituation für beide Züge in Station C

Damit Zug 2 seinen Fahrauftrag beenden kann, muss Zug 1 mindestens bis in den Fahrwegabschnitt km 6 – km 7 vorfahren und Zug 2 kann anschließend die Fahrerlaubnis bis „Station C“ erhalten.

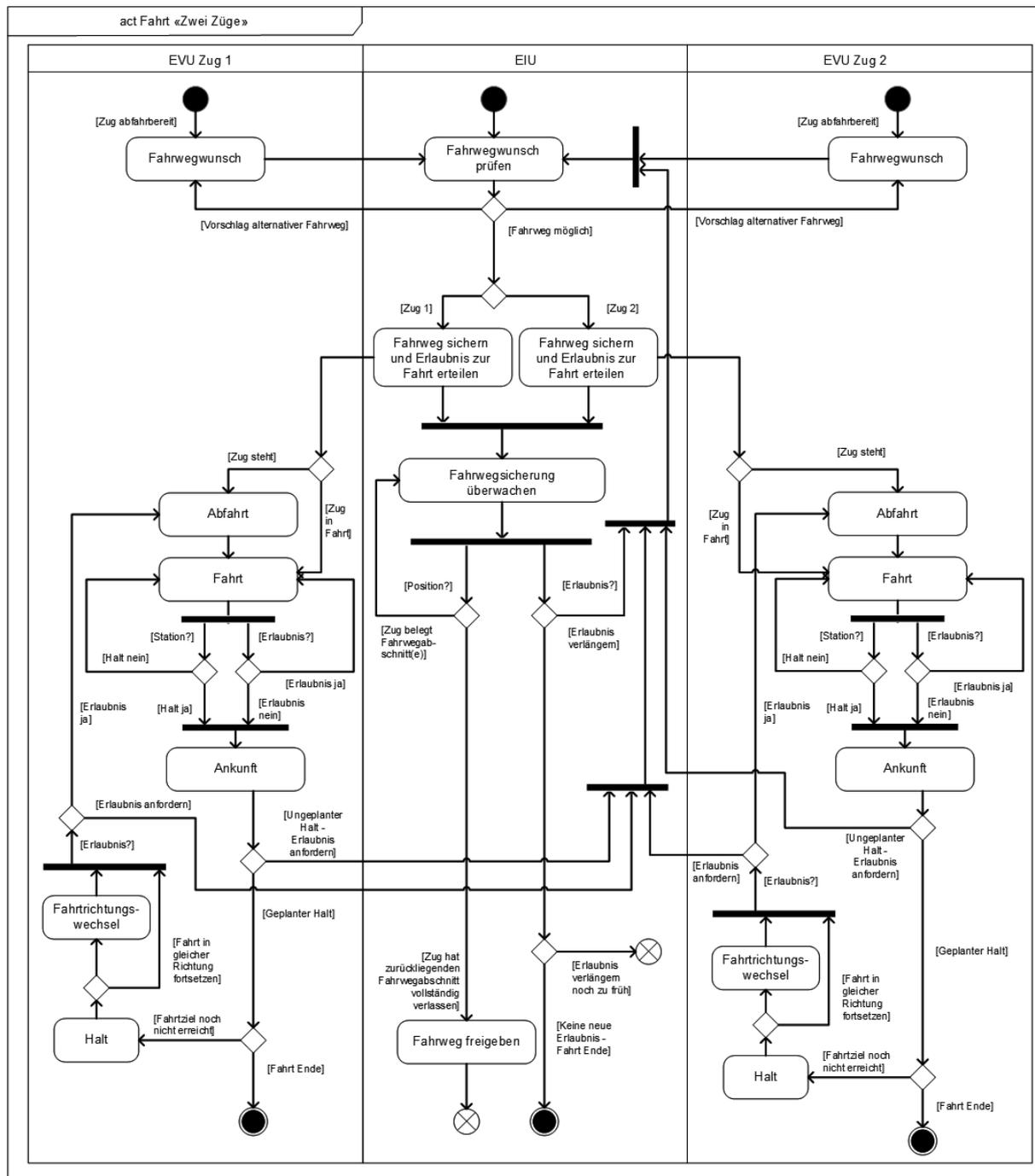


Abbildung 7.47 UML-Aktivitätendiagramm für 2 Züge in einem Netz

Das UML-Diagramm in Abbildung 7.47 wird gegenüber Abbildung 7.38 (ein Zug im Netz) lediglich um einen weiteren Verantwortungsbereich ergänzt (EVU Zug 2) und entsprechend mit dem EIU-Bereich verknüpft. Es werden keine neuen Aktivitäten oder Entscheidungen eingefügt. Durch die Integration des zweiten Zuges müssen ab jetzt alle generischen Schutzfunktionen der LST aus Kapitel 7.5.4 erfüllt werden. Die

Fahrweegelemente müssen auf das Freisein von anderen Fahrzeugen überprüft werden, um Zusammenstöße zu vermeiden.

Mit der räumlichen Trennung der beiden Züge durch das EIU sind keine Verknüpfungen zwischen den EVU-Bereichen notwendig.

7.7.4 Drei Züge

Wie in Kapitel 7.7.3 bereits aufgezeigt wurde, werden die Züge durch das EIU räumlich voneinander getrennt. Die Erlaubnis wird an einen Zug übermittelt, sobald die Möglichkeit besteht, den Zug in den nächsten freien Fahrwegabschnitt einfahren zu lassen (entsprechend des Fahrtwunsches). Da die Züge sich nicht selbst organisieren, ist es für eine Zugfahrt unter Betrachtung der Sicherheitsaspekte nicht entscheidend, ob der davor und/ oder der zurückliegende Fahrwegabschnitt von einem anderen Zug beansprucht wird.

Bei Erweiterung des Aktivitätendiagramms Fahrt (Abbildung 7.47) müsste lediglich ein zusätzlicher Verantwortungsbereich für den dritten Zug hinzugefügt werden. Es werden keine neuen Knoten benötigt, so dass nur zusätzliche Kontrollflüsse zum Verantwortungsbereich EIU eingefügt werden. Die Verknüpfungen würden in gleicher Weise wie für EVU Zug 1 und Zug 2 hergestellt werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird an dieser Stelle auf ein Diagramm verzichtet.

Eine direkte Verknüpfung mehrerer Züge ist notwendig, wenn diese während des Produktionsauftrages in ihrer Fahrzeugreihung verändert werden und dadurch in direktem Kontakt mit anderen Fahrzeugen stehen müssen. Es muss hierfür eine Aufhebung der absoluten räumlichen Trennung erfolgen. Betriebsprozesse, die die Aufnahme oder Ausgliederung von Fahrzeugen aus dem Zugverband ermöglichen, werden nachfolgend in den Kapiteln 10.2 (Rangierfahrten) und 10.3 (Zugbildung) untersucht.

7.7.5 Der Begriff Fahrdienstleiter

In Kapitel 7.5.3 wurde festgestellt, dass für den Eisenbahnbetrieb infrastrukturseitige Anlagenfahrer benötigt werden, deren Funktionen die Sicherung der Zugfahrten und die Durchlassfähigkeit der Infrastruktur umfassen. Diese Anlagenfahrer stehen in direktem Kontakt mit dem Zugpersonal (Lokführer) und werden allgemein als Fahr-

dienstleiter bezeichnet. Diese Bezeichnung wird in den DACH-Staaten verwendet und deren Definitionen werden nachfolgend aufgeführt.

In Deutschland wird die Folge der Züge „durch Zugfolgestellen [...] geregelt. Für die Zugfolge ist der Fahrdienstleiter verantwortlich. Örtlich nicht besetzte Zugfolgestellen sind einem Fahrdienstleiter zuzuordnen.“¹⁵⁶ In [FDV D 2012] wird die Bezeichnung Fahrdienstleiter sinngemäß für den Mitarbeiter verwendet, der die Durchführung der Zugfahrten regelt.

In Österreich wird die Bezeichnung Fahrdienstleiter für den Verantwortlichen eines Bereiches verwendet, der den Betriebsdienst regelt und erledigt. Für einzelne Aufgaben des Fahrdienstleiters können andere Mitarbeiter vorgesehen werden, welche in den örtlich gültigen „Anordnungen bestimmter betrieblicher Maßnahmen“ benannt sind [FDV A 2012].

Die schweizerische FDV definiert, dass der Fahrdienstleiter „der Verantwortliche für die Sicherung und Regelung des Zugverkehrs und der Rangierbewegungen“¹⁵⁷ ist. Nach Ansicht des Verfassers ist die Schweizer Begriffsbestimmung am Allgemeinen, müsste jedoch um den Hinweis eines infrastrukturseitigen Mitarbeiters ergänzt werden und allgemeingültig auf alle Fahrzeugbewegungen in seinem Verantwortungsbereich bezogen werden. Im weiteren Text wird unter **Fahrdienstleiter** (Fdl) ein infrastrukturseitiger Mitarbeiter verstanden, der für einen zugewiesenen Infrastrukturbereich verantwortlich ist und darin die Sicherung und Disposition der Fahrzeugbewegungen veranlasst.

Es ist dabei nicht näher bestimmt, über welche Größe der Verantwortungsbereich verfügt, welche technischen Mittel der LST vorhanden sind und ob andere Mitarbeiter den Fdl in seiner Tätigkeit unterstützen. Es ist unterschiedslos, ob der Fahrdienstleiter Zugfahrten in einer Betriebsstelle koordiniert oder den Betrieb einer ganzen Strecke leitet [SCHEPPAN 2006].

¹⁵⁶ Zitat aus [D EBO 2012], § 39, Absatz (1)

¹⁵⁷ Zitat aus [FDV CH 2012], Seite 36

7.8 Vereinfachung der UML-Diagramme

7.8.1 Einleitung

Eine Anforderung an das ausgewählte Beschreibungsmittel ist die Möglichkeit der Hierarchiebildung zur Darstellung von Unterprozessen (siehe Kapitel 6.3). In diesem Kapitel werden Unterprozesse zur Vereinfachung des Aktivitätendiagramms aus Abbildung 7.47 erstellt. Es werden die Aktivitäten während der Fahrt, des Haltes sowie der Disposition berücksichtigt.

7.8.2 Unterprozess „Zug fahren“

Der Unterprozess „Zug fahren“ wird aus den Aktivitäten „Abfahrt“, „Fahrt“ und „Ankunft“ gebildet. Die drei Aktivitäten sind zu einem Unterprozess (siehe Abbildung 7.48) zusammenfassbar, denn sie verlaufen faktisch in einer gemeinsamen Reihenfolge und haben keine dazwischenliegenden Kontrollflüsse zum EIU-Bereich. Alle eingehenden Kontrollflüsse können auf die Aktivität „Abfahrt“ bezogen werden und ausgehende Kontrollflüsse sind nach der Aktivität „Ankunft“ eingebunden.

Weiterhin stellen alle drei Aktivitäten Bewegungsprozesse dar (vgl. Tabelle 7.2) und sind bei deren Ausführung an eine Erlaubnis gebunden. Es ist vorerst noch nicht von Bedeutung, wie exakt die Aktivitäten gegeneinander abgegrenzt werden. Es wird angenommen, dass die Aktivität „Abfahrt“ nach einem „Halt“ beginnt und die „Ankunft“ vor der Aktivität „Halt“ beendet ist. Diese beiden Aktivitäten und die Aktivität „Fahrt“ werden demzufolge bei einer Geschwindigkeit $v > 0$ ausgeführt und können zu einem Unterprozess zusammengefasst werden.

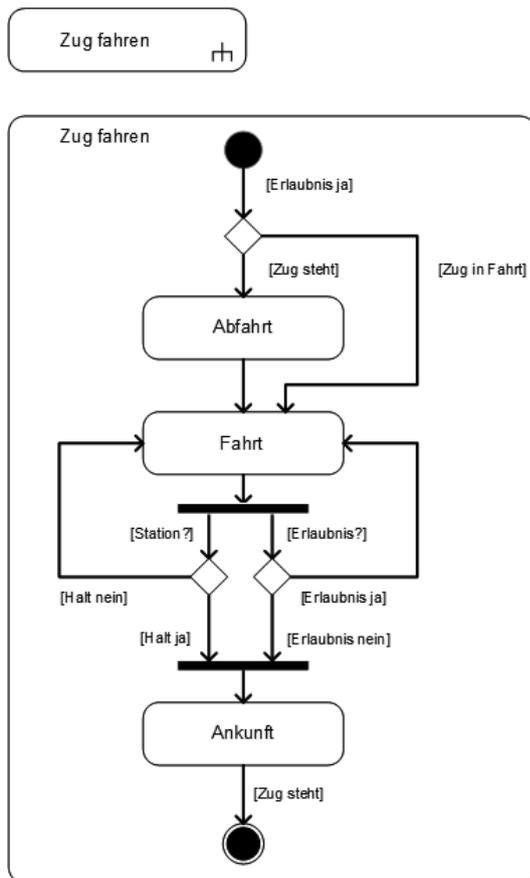


Abbildung 7.48 UML-Aktivitätendiagramm für Unterprozess „Zug fahren“

7.8.3 Unterprozess „Zughalt“

Weiterhin kann ein Unterprozess „Zughalt“ gebildet werden (siehe Abbildung 7.49), indem alle Knoten zwischen dem Eingangsfluss zur Aktivität „Halt“ und dem Ausgangsfluss aus dem Synchronisationsknoten (nach Fahrtrichtungswechsel) vereinigt werden. Auch hier bestehen keine Zwischenverknüpfungen und die Aktivitäten „Halt“ sowie „Fahrtrichtungswechsel“ werden im Stillstand ausgeführt (vgl. Abbildung 7.1). Das Vorliegen einer Erlaubnis ist für diesen Unterprozess nicht von Bedeutung und es findet keine Ortsveränderung statt.

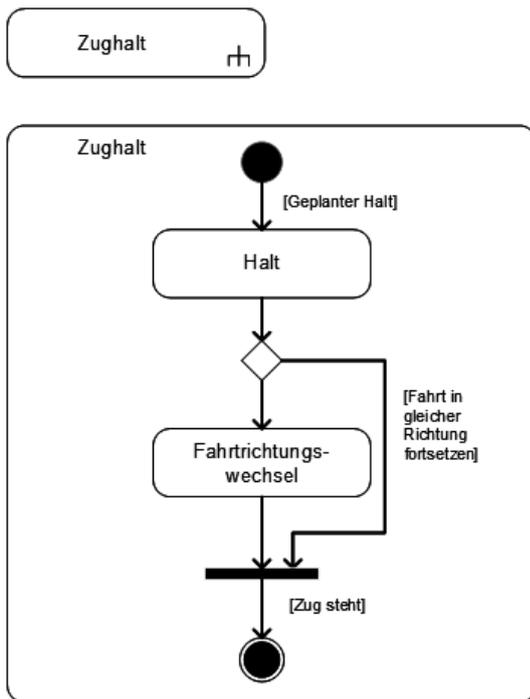


Abbildung 7.49 UML-Aktivitätendiagramm für Unterprozess „Zughalt“

7.8.4 Integration der Disposition

Die Disposition wird ab dem Zeitpunkt benötigt, ab dem mehr als ein Zug im Streckennetz verkehrt (vgl. Kapitel 7.7.3) und durch Störungen ungeplante Konflikte entstehen können. Dabei laufen die Prozesse der Disposition mehrheitlich im Hintergrund (bzw. unternehmensintern) ab und sollen zu Problemlösungen im operativen Betriebsgeschehen führen. Ein Bestandteil der Dispositionsprozesse ist die Kommunikation zwischen Zug und Infrastruktur oder auch zwischen den dispositiven Ebenen EVU und EIU. Diese Kommunikation dient dabei der Analyse der aktuellen betrieblichen Situation sowie der Mitteilung von Dispositionsentscheidungen. Solange bei einer Behinderung keine Dispositionsentscheidung festgelegt und dem Zug mitgeteilt wurde, kann keine Aktivität „Fahrweg sichern und Erlaubnis zur Fahrt erteilen“ stattfinden. Je nach Art und Dauer der Störung werden die Kanten zwischen den Aktivitäten „Fahrwegwunsch“ (EVU) und „Fahrwegwunsch prüfen“ (EIU) mehr oder weniger häufig durchlaufen.

Steht eine Dispositionsentscheidung fest und ist diese dem Zug mitgeteilt worden, dann kann der Prozess „Fahrt“ fortgeführt werden und der Zug darf weiterfahren. Der Verfasser schreibt dem EIU die größere Entscheidungsbedeutung zu, da auf Grund der Spurführung einem Zug nur von der Infrastruktur ein neuer Fahrweg zugewiesen

werden kann. Darüber hinaus muss das EIU den vollständigen Überblick über alle Fahrzeugbewegungen besitzen, während ein EVU sich auf die eigenen Züge konzentrieren kann und entsprechend die Zustimmung der Infrastruktur abwartet. Es darf hierbei nicht vergessen werden, dass auch auf der Seite des EVU dispositive Prozesse ablaufen, um Fahrzeuge, Personal und Kunden entsprechend zu koordinieren und zu informieren.

Die Disposition wird der Betriebsleitebene zugeschrieben und muss keine Prozesse mit Sicherheitsrelevanz umfassen. Prozesse mit Sicherheitsrelevanz betreffen die darunter liegenden Ebenen der Steuerungs- und Feldebene im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik [MASCHEK 2012]. Dort findet die direkte Kommunikation zwischen dem Zug und der Infrastruktur statt und ist dann außerordentlich wichtig, wenn von der regulären Betriebsdurchführung abgewichen werden muss (z. B. bei Ausfall von Stellwerken).

Für die Disposition wird keine eigene Aktivität in den Prozessablauf integriert, sondern der Aktivität „Fahrwegwunsch prüfen“ zugewiesen (neue Bezeichnung „Fahrwegwunsch prüfen/ Disposition“). Im Anschluss wird an drei Beispielen die Verfahrensweise kurz erläutert.

Beispiel a) Disposition im Regelbetrieb

Ist ein Zug abfahrbereit und liegen keine Störungen vor, dann laufen die Aktivitäten „Fahrwegwunsch“, „Fahrwegwunsch prüfen/ Disposition“ und „Fahrweg sichern und Erlaubnis zur Fahrt erteilen“ nacheinander ab. Der „Fahrwegwunsch“ ist in diesem Fall die unmittelbare Bestätigung des Fahrplanes¹⁵⁸ durch den Zug. Das EIU prüft daraufhin den geplanten Fahrweg auf Befahrbarkeit und wird anschließend die Erlaubnis erteilen. Die Dispositionsentscheidung entspricht in diesem Fall der Fahrplanvorgabe und findet praktisch nicht statt.

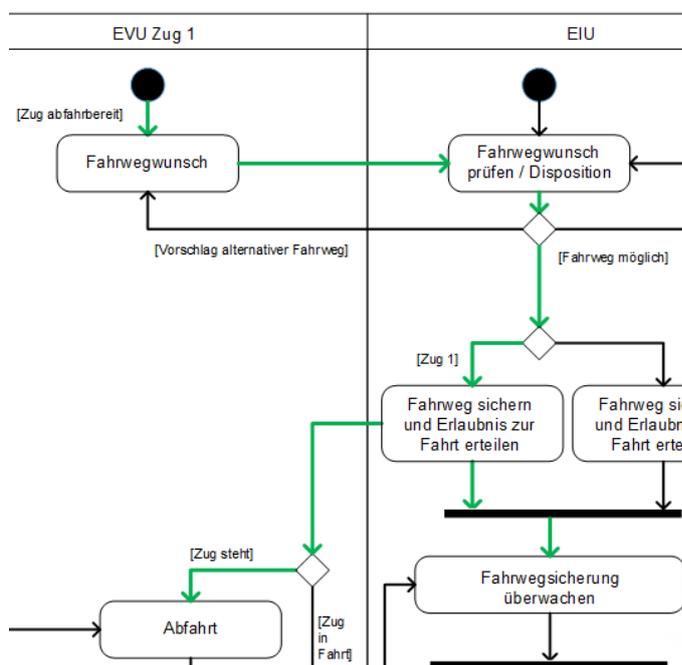


Abbildung 7.50 „Disposition“ im Regelbetrieb¹⁵⁹

¹⁵⁸ Bedingung: Der gemeinsame Fahrplan ist dem EVU und EIU bekannt.

¹⁵⁹ Es wird nur der Teil des Aktivitätendiagramms aus Abbildung 7.47 (Fahrt Zwei Züge) berücksichtigt, der für die Beschreibung des Beispiels relevant ist. Gleiches gilt auch für die Bsp. b) und c).

Beispiel b) Disposition bei Störung am Zug

Tritt vor Beginn oder während einer Fahrt eine Störung am Zug auf (z. B. eine Türstörung), dann meldet das Zugpersonal dem EIU eine Abweichung vom Fahrplan. Das EIU wird darüber in Kenntnis gesetzt, dass der Zug später abfahren wird und wartet mit der Einstellung des Fahrweges. Ist die Störung komplexer und länger andauernd, dann wird eine regelmäßige Kommunikation zwischen EVU und EIU stattfinden (rote Pfeile in Abbildung 7.51).

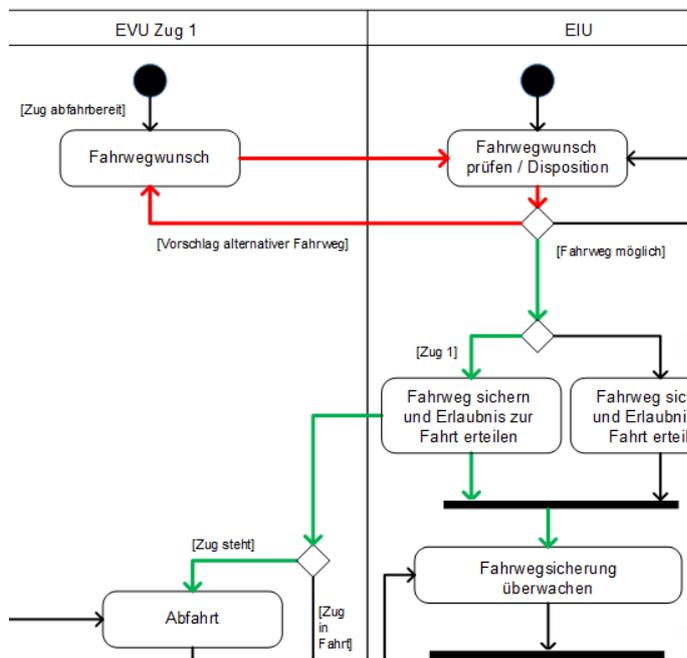


Abbildung 7.51 Disposition im Betriebsprozess mit einem Zug

Konnte die Störung behoben werden und wurde eine Dispositionsentscheidung getroffen, dann darf ein Fahrweg eingestellt und die Erlaubnis erteilt werden (grüne Pfeile).

Beispiel c) Disposition bei Störung durch einen anderen Zug

Wenn die Zugfahrt durch eine andere Störung beeinflusst wird, z. B. durch einen anderen Zug, dann informiert das EIU den betroffenen Zug über mögliche Dispositionsentscheidungen. In diesem Beispiel wird eine Behinderung durch einen zweiten Zug gemeldet (blaue Pfeile in Abbildung 7.52). Der ursprüngliche Fahrweg ist für den ersten Zug nicht mehr möglich, wenn Zug 2 einen Triebfahrzeugschaden hat und bspw. längere Zeit einen Abschnitt blockiert. Die Information über eine Umleitung von Zug 1 erfolgt wieder entlang der roten Pfeile. Stimmt Zug 1 dem zu, dann kann die Dispositionsentscheidung umgesetzt und ein alternativer Fahrweg eingestellt werden (grüne Pfeile).

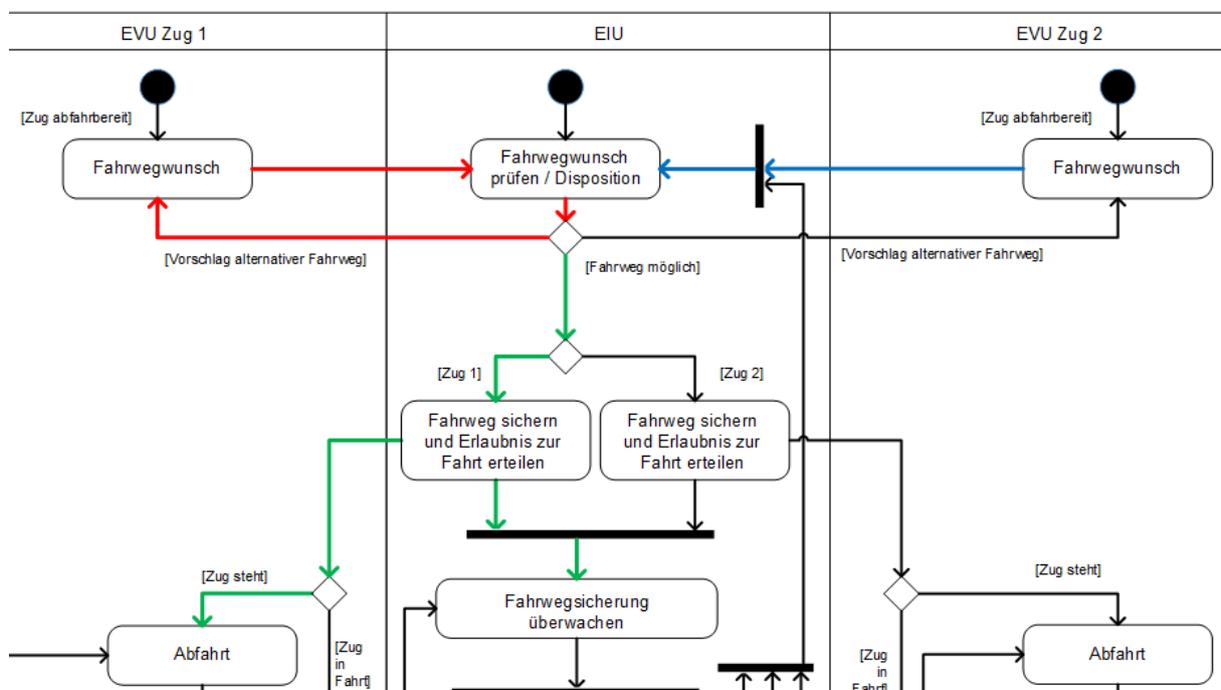


Abbildung 7.52 Disposition im Betriebsprozess mit zwei Zügen

7.8.5 Generischer Betriebsprozess „Fahrt“

Der vereinfachte Prozess „Fahrt“ wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

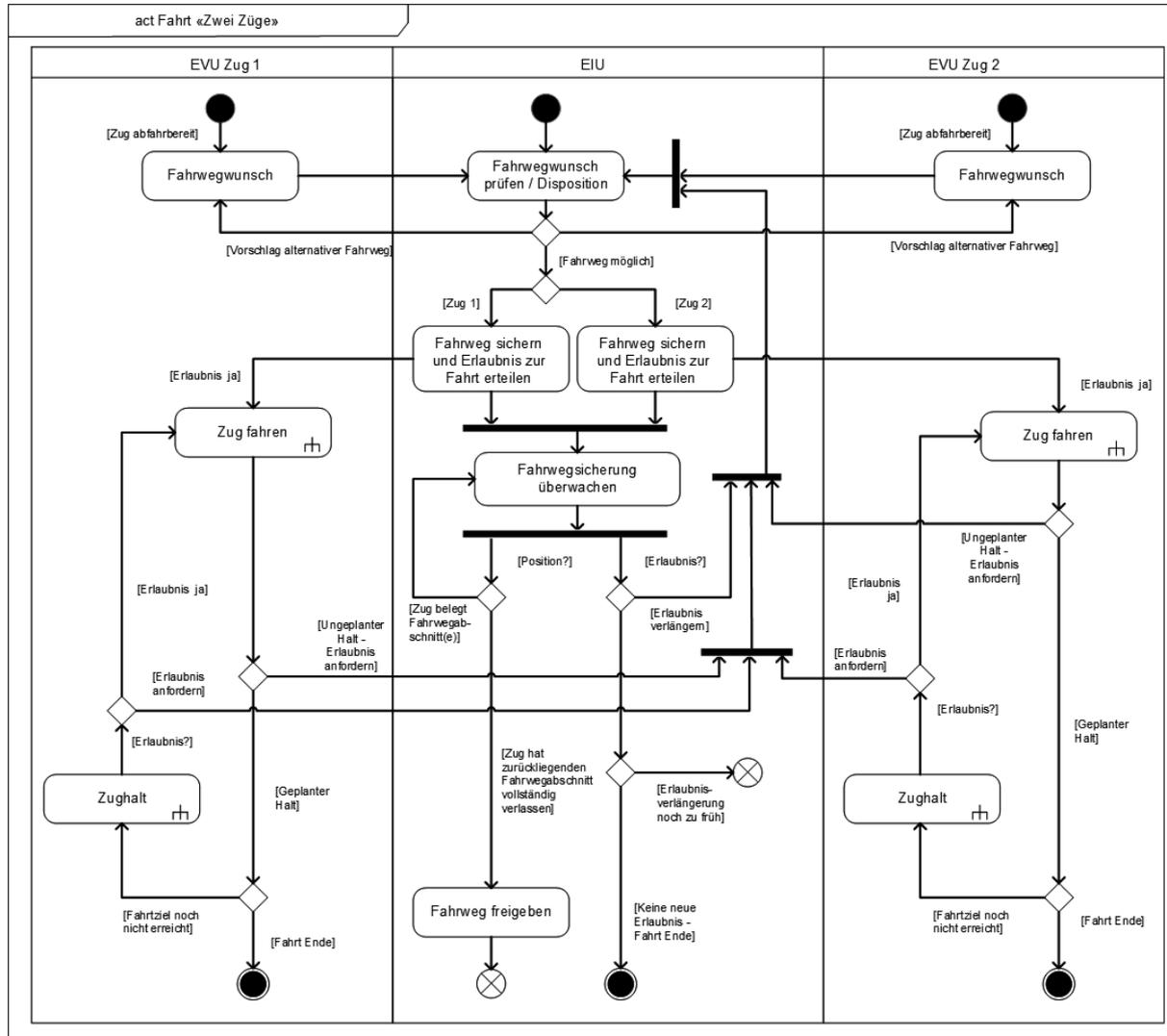


Abbildung 7.53 Vereinfachtes UML-Aktivitätendiagramm für zwei Züge im Netz

Eine der Herleitungsbedingungen ist die Betrachtung des Zuges als eine Einheit (Punkt). Da die Infrastruktur eine räumliche Ausdehnung hat, kann zu einem beliebigen Zeitpunkt ein Zug sich nur in einem EIU-Verantwortungsbereich befinden. Andererseits können sich mehrere Züge gleichzeitig im Netz eines EIU befinden. Die Koordination der Züge wird über das EIU erreicht, so dass es in einem Teilnetz nur einen Verantwortungsbereich EIU geben kann, im Gegensatz zu einer beliebig großen Anzahl EVU-Partitionen. Die Prozessabläufe bleiben innerhalb eines Verantwortungsbereiches unverändert, nur die Anzahl der Kontrollflüsse von und zum EIU-Bereich wird entsprechend erhöht.

Es ist daher ausreichend, wenn ein generischer Zugfahrtprozess mit je einem Verantwortungsbereich EIU und EVU vereinfacht abgebildet wird (Abbildung 7.54).

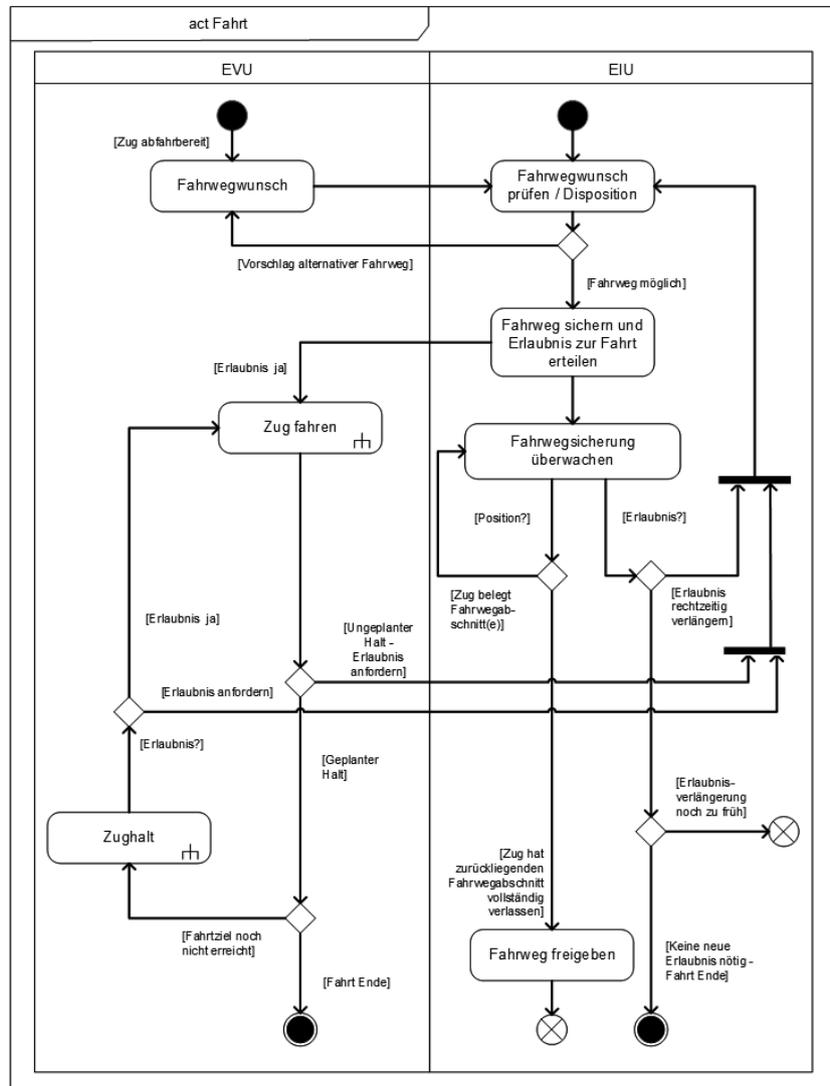


Abbildung 7.54 Generischer Betriebsprozess „Fahrt“

Es besteht zusätzlich die Möglichkeit, den Entscheidungsknoten „Position“ und die Aktivität „Fahrweg freigeben“ in die Aktion „Fahrwegweisung überwachen“ zu integrieren, denn an der Fahrwegfreigabe ist der Zug nicht direkt beteiligt und es bestehen keine Verknüpfungen zu anderen Knoten. Es wird jedoch angenommen, dass die Übersichtlichkeit des Modells nicht wesentlich verbessert wird und deshalb auf eine weitere Vereinfachung verzichtet wird.

Aus dem Prozessmodell „Fahrt“ können an Hand der darin abgebildeten Aktivitäten folgende einheitliche Regelungen für eine Zugfahrt extrahiert werden:

- Der Fahrweg des Zuges muss dem Zugpersonal und dem Infrastrukturbeobachter gleichermaßen bekannt sein (Fahrwegwunsch; Fahrwegwunsch prüfen/ Disposition).
- Die Infrastruktur stellt den Fahrweg sicher ein und erteilt die Erlaubnis zur Fahrt an den Zug.
- Es darf sich kein anderer Zug in diesem Fahrweg befinden oder zwischenzeitlich hineinfahren. Ebenfalls darf die Stellung der beweglichen Fahrwegelemente vor und während der Überfahrt des Zuges nicht verändert werden.
- Der Zug darf nur mit einer gültigen Erlaubnis fahren und darf innerhalb des Erlaubnis-Gültigkeitsbereiches anhalten und weiterfahren. Besteht keine gültige Erlaubnis, muss er anhalten und auf eine neue warten bzw. diese bei der Infrastruktur erfragen.
- Die Infrastruktur beobachtet die Zugfahrt und darf den zurückliegenden Fahrwegabschnitt erst wieder freigeben, wenn darin keine Fahrzeuge zurückgelassen wurden.
- Im Allgemeinen muss zwischen der Infrastruktur und den Zügen die Kommunikation möglich sein.
- Es gilt folgender Grundsatz: Ein Zug wird räumlich gegenüber anderen Fahrzeugen abgegrenzt und gesichert (Fahren im festen Raumabstand).

An Hand dieser Charakteristiken wird der Bewegungsablauf im Prozess „Fahrt“ als Zugfahrt bezeichnet und nachfolgend definiert.

Eine **Zugfahrt** ist die Bewegung eines Zuges, dessen zulässige Geschwindigkeit es nicht erlaubt, den Bremsweg bis zu einem möglichen Gefahrpunkt zu überblicken. Für das Leiten und Sichern einer Zugfahrt bedarf es eines Infrastrukturbeobachters, der die Erlaubnis zur Fahrt erteilen und entziehen kann und in Kommunikation mit dem Zugpersonal steht.

7.9 Zusammenfassung

Die Bewegung von Schienenfahrzeugen kann mit Hilfe physikalischer Bewegungszustände modelliert werden. Das allein reicht jedoch noch nicht aus, um die charakteristischen Betriebsabläufe der Eisenbahn erkennbar darstellen zu können. Aus diesem Grund werden die generischen Betriebsmittel der Infrastruktur und der Fahrzeuge entsprechend ihrer funktionalen Eigenschaften aufgelistet und klassifiziert. Damit können Überlegungen für ein hypothetisches Eisenbahnsystem entwickelt werden, in dem die Züge sich selbst organisieren und individuell verkehren.

Ein individuelles Eisenbahnsystem benötigt eine sehr aufwändige Topologie. Diese wäre notwendig, um die zufälligen Begegnungs- und Überholungskonflikte allerorts lösbar zu gestalten. Weiterhin müssten die Züge einen kurzen Bremsweg einhalten können und das Zugende müsste vom Fahrerplatz immer einsehbar sein. Solche Charakteristiken sind nur unter einfachen Bedingungen einzuhalten, indem kurze Züge mit kurzen Bremswegen verkehren, welche in ein homogenes Betriebsprogramm eingegliedert sind und in einem Netz mit zahlreichen Ausweichmöglichkeiten verkehren (z. B. Straßenbahnnetze).

Um zu gewährleisten, dass Züge mit großer Länge und hoher Masse bei einer hohen Geschwindigkeit verkehren können, wird ein infrastrukturseitiger Koordinator benötigt, welcher durch Leit- und Sicherungstechnik unterstützt wird. Daraufhin kann aufbauend auf den Überlegungen von [BOSSE 2010] das Generische Referenzsystem für die Eisenbahn definiert werden. Das Referenzsystem umfasst eine allgemeine Systemdefinition sowie eine innere und äußere Bestimmung der Systemfunktionen und -abgrenzungen. Die technischen Betriebsmittel werden für die Durchführung der Betriebsprozesse benötigt, mit Hilfe denen die verkehrlichen Anforderungen erfüllt werden. Für den geordneten Ablauf der Prozesse werden wie in jedem anderen soziotechnischen System betriebliche Regeln benötigt.

Für die Herleitung der generischen Betriebsprozesse wird in Kapitel 7 von einer einfachsten anzunehmenden Topologie ausgegangen, auf der ein Zug verkehrt. Hierfür wird ein einfaches UML-Aktivitätendiagramm erstellt und damit die Bewegung des Zuges modelliert. Anschließend wird schrittweise das Gleisnetz um weitere Grundelemente ergänzt, bis ab einem gewissen Punkt keine Erweiterung oder Änderungen des Prozessmodells nötig sind. Anschließend wird die Anzahl der gleichzeitig verkehrenden Züge etappenweise erhöht und das Prozessmodell auf Anpassungen überprüft. Es müssen jedoch nicht mehr als drei Züge integriert werden, da ein Zug sich

nur im eindimensionalen Raum bewegt und dieser maximal einen vor- und einen nach ihm fahrenden Zug beachten muss. Für die sichere Durchführung wird eine räumliche Abgrenzung erzwungen, so dass die Züge betrieblich in keinem direkten Kontakt stehen und über den zuständigen Infrastrukturbeobachter koordiniert werden.

In Kapitel 7 wird abschließend ein generisches Prozessdiagramm „Fahrt“ für Zugfahrten erzeugt, welches je einen Verantwortungsbereich der Infrastruktur und der Züge umfasst und durch zwei Unterprozesse ergänzt wird. Es konnte damit der methodische Nachweis erbracht werden, dass die generische Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen möglich ist.

8 Ansatz für einen harmonisierten Fachwortschatz

8.1 Einleitung

Im vorherigen Kapitel wurde ein allgemeiner Verfahrensablauf für Eisenbahnfahrten entwickelt, welcher die fundamentalen Eigenschaften einbezieht und die notwendige Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug berücksichtigt. Der Betriebsprozess „Fahrt“ stellt einen Ausgangspunkt für die weitere Beschreibung von speziellen Betriebsabläufen dar und kann durchaus als Grundbaustein für den Aufbau eines interoperablen Betriebsverfahrens mit harmonisierten Termini gesehen werden.

Die Verwendung einer semiformalen Sprache wie UML ermöglicht neben der Verwendung von graphischen Elementen auch natürlich-sprachliche Textformen. Die vorangehend in UML entwickelten und beschriebenen Diagramme gebrauchen bereits eisenbahnbetriebliche Bezeichnungen, die als generisch betrachtet werden und innerhalb dieser Arbeit zu benutzen sind. Diese Bezeichnungen werden teilweise bei den Eisenbahnen der DACH-Staaten verwendet, wobei Unterschiede in der Begriffsbestimmung einzukalkulieren sind.

Die Schaffung einer Grundlage für die Harmonisierung der Betriebsprozesse und –regeln wird durch die Verwendung einheitlicher Termini wesentlich unterstützt. Bei einer Harmonisierung der Bezeichnungen ist jedoch zu berücksichtigen, dass neben der verkehrswissenschaftlichen Begriffsbestimmung auch sprach- sowie rechtswissenschaftliche Aspekte beachtet werden sollten. Eine vollständige Harmonisierung der bereits hier verwendeten Fachausdrücke würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit weit übersteigen. Aus diesem Grund soll im ersten Teil (Kapitel 8.2) auf Differenzen bei der Harmonisierung hingewiesen und Vorschläge bei der Bearbeitung unterbreitet werden. Der zweite Teil (Kapitel 8.3) stellt ein Glossar für diese Arbeit dar, in dem die hier verwendeten Begriffe mit Ihren Definitionen aufgelistet sind.

8.2 Hinweise zur Harmonisierung der Termini

8.2.1 Sprachwissenschaftliche Aspekte

Wie bereits in Kapitel 6.2 aufgeführt, besitzt die heute verbreitete Beschreibungsform Defizite, welche eine Harmonisierung der Betriebsprozesse erschweren. Aus diesen Gründen wurde zur generischen Beschreibung ein semiformales Beschreibungsmittel gewählt, welches angesichts des hohen Abstraktionsgrades nicht für die praktische Anwendung geeignet ist. Deswegen muss die generische Beschreibung in eine natürlich-sprachliche Form zurück übersetzt werden. Dabei spielen die Betriebsprache und die Glossare eine entscheidende Rolle (siehe Kapitel 1.3).

Mit dem technischen Fortschritt der Eisenbahn fand auch eine Weiterentwicklung und Erweiterung des Fachwortschatzes statt. Der Eisenbahnbetrieb war bisher überwiegend national geprägt, und selbst zwischen Ländern mit gleicher Landessprache sind Differenzen in der Verwendung der Fachwörter als auch deren Begriffsbestimmungen zu erkennen.

Für das bessere Verständnis werden nachfolgend die hier einbezogenen sprachlichen Termini aufgelistet und bestimmt. hierfür wird die [DIN 2342] berücksichtigt (vgl. Tabelle 8.1), welche „der Verständigung in Wissenschaft und Technik, Wirtschaft und Verwaltung“¹⁶⁰ dient. Eine Diskussion abweichender Begriffsbestimmungen der sprachwissenschaftlichen Termini wird den spezialisierten Fachrichtungen überlassen und ist nach Ansicht des Verfassers für die Harmonisierung der Eisenbahnbetriebsprozesse nicht zwingend.

¹⁶⁰ Zitat aus [DIN 2342], Seite 4

Tabelle 8.1 Sprachwissenschaftliche Begriffsbestimmungen nach [DIN 2342]

Begriff	Begriffsbestimmung¹⁶¹
Allgemeinbegriff	„Begriff, der ausgehend von mehr als einem Gegenstand durch Abstraktion gebildet wird.“
Begriff	„Denkeinheit, die aus einer Menge von Gegenständen unter Ermittlung der diesen Gegenständen gemeinsamen Eigenschaften mittels Abstraktion gebildet wird. Anmerkung: Begriffe sind nicht an einzelne Sprachen gebunden; sie sind jedoch von dem jeweiligen gesellschaftlichen und kulturellen Hintergrund einer Sprachgemeinschaft beeinflusst.“
Begriffsharmonisierung	„Begriffsangleichung; Maßnahmen, die darauf abzielen, Unterschiede zwischen ähnlichen Begriffen zu verringern oder zu beseitigen“
Benennung	„Terminus, Fachausdruck, sprachliche Bezeichnung eines Allgemeinbegriffs aus einem Fachgebiet“
Bezeichnung	„Repräsentation eines Begriffs mit sprachlichen oder anderen Mitteln Anmerkung: In der Terminologearbeit unterscheidet man zwischen Symbol, Formel, Benennung und Name.“
Definition	„Begriffsbestimmung mit sprachlichen Mitteln Anmerkung: Die für die Terminologearbeit wichtigste Form der Definition ist die Inhaltsdefinition.“
Inhaltsdefinition	„Intensionale Definition; Definition, bei der ausgehend von dem Oberbegriff die einschränkenden Merkmale angegeben werden, die den zu definierenden Begriff von anderen Begriffen derselben Abstraktionsstufe unterscheiden.“
Synonymie	„Beziehung zwischen verschiedenen Bezeichnungen in derselben Sprache, die denselben Begriff repräsentieren“
Terminus	„Fachausdruck; sprachliche Bezeichnung eines Allgemeinbegriffs aus einem Fachgebiet“
Terminologie	„Fachwortschatz; Gesamtbestand der Begriffe und ihrer Bezeichnungen in einem Fachgebiet.“
Terminologielehre	„Wissenschaft von den Begriffen und ihren Bezeichnungen in den Fachsprachen“

¹⁶¹ Alle Begriffsbestimmungen sind aus [DIN 2342] zitiert.

Der Ausdruck Terminus setzt sich zusammen aus einer Bezeichnung und einer Definition und soll kurz an einem Beispiel erläutert werden (vgl. Abbildung 8.1). Der Terminus Gleissperre trägt in den DACH-Staaten unterschiedliche Bezeichnungen (Gleissperre, Entgleisungsvorrichtung, Sperrschuh) und kann als Gegenstand zur Entgleisung von sich unbeabsichtigt bewegenden Fahrzeugen begriffen werden. Die gegenseitige Verwendung der Bezeichnungen als Synonym ist nicht möglich (siehe Kapitel 8.2.3.1).

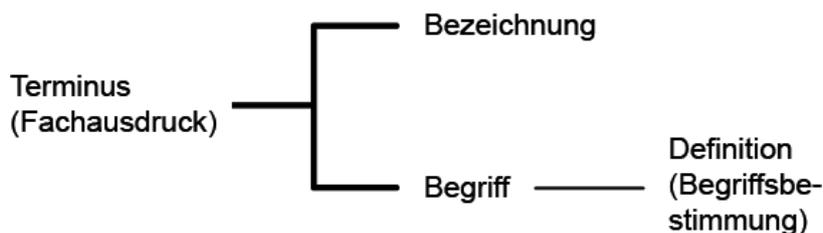


Abbildung 8.1 Verständnis für Terminus

Wird ein Terminus einheitlich begriffen und ist er eindeutig definiert, dann kann der Fachausdruck auch in eine andere Sprache übersetzt werden. Bei der heutigen Verwendung der Eisenbahn-Termini können innerhalb einer Sprache abweichende Definitionen auftreten oder fehlen.¹⁶² In diesem Fall ist die Übersetzung in eine andere Sprache nicht zweifelsfrei möglich. Um den steten Wandlungsprozess zu begleiten, ist bei einer Harmonisierung der Einbezug weiterer Wissenschaftsbereiche zu empfehlen.

Der Begriff (und die dazugehörige Begriffsbestimmung) kann abweichen, indem der Umfang der entsprechenden Eigenschaften unterschiedlich abstrahiert wird. Es ist auch möglich, dass ein bestimmter Terminus in einem Land überhaupt keine Verwendung findet und praktisch unbekannt ist. Ein Beispiel hierfür ist der Terminus „Bahnhof“, der eisenbahnbetrieblich in den DACH-Staaten verwendet wird, in Großbritannien in dieser Form jedoch fremd ist. Gebraucht man andererseits den populären Begriff „Bahnhof“, der eine große Gleisanlage mit Bahnhofsgebäuden und Zugangsmöglichkeiten darstellt, dann ist dieser durchaus in die englische Sprache übersetzbar und wird vielfach als „Railway Station“ oder nur „Station“ bezeichnet. Der betriebliche britische Fachausdruck „Station“ benennt nach [VANTUONO 2002] wiederum einen namentlich gekennzeichneten Punkt in einem Fahrplan. Auf die fehlen-

¹⁶² Eine fehlende Definition bedeutet nicht, dass ein bestimmter Begriff nicht existiert und verwendet (bezeichnet) wird. Die Begriffsbestimmung leitet sich dann meist über die Berufsausbildung und den fachlichen Gebrauch ab und ist den Mitarbeitern aus den Zusammenhängen ihrer Tätigkeit bekannt.

de Übersetzbarkeit des Terminus „Bahnhof“ wurde bereits in [PACHL 2001] hingewiesen und folglich konnte auch in [SCHMIDT 2007] dieser nicht in der Terminologie aufgelistet werden.

Wird ein Begriff in verschiedenen Staaten einheitlich verwendet, lediglich unterschiedlich bezeichnet, dann erscheint dieser als in eine andere Sprache übersetzbar. Es ist dabei hilfreich, wenn der Begriff innerhalb einer natürlichen Fachsprache bereits einheitlich bezeichnet wird. Auf jeden Fall muss überprüft werden, dass eine Bezeichnung nicht mit anderen Begriffsbestimmungen im Zusammenhang steht. In diesem Fall müssen mehrere Begriffe und Bezeichnungen neu definiert werden, um eine einheitliche Anwendung zu ermöglichen.

Wie und unter welchen die Begriffsharmonisierung zu realisieren ist, muss unter Einbezug der Terminologielehre erfolgen. Werden Begriffe vereinheitlicht, deren Begriffsbestimmung in Rechtsnormen festgelegt ist, dann sind auch die juristischen Fachbereiche einzubinden (vgl. Kapitel 2.1.6).

8.2.2 Empfehlungen für das Erstellen eines Fachwörterbuchs

Es werden wie im vorangehenden Kapitel die wesentlichen sprachlichen Begriffe aufgelistet.

Tabelle 8.2 Sprachwissenschaftliche Begriffsbestimmungen zu Wörterbüchern nach [DIN 2342]

Begriff	Begriffsbestimmung ¹⁶³
Fachsprache	„Bereich der Sprache, der auf eindeutige und widerspruchsfreie Kommunikation in einem Fachgebiet gerichtet ist und dessen Funktionieren durch eine festgelegte Terminologie entscheidend unterstützt wird“
Fachwörterbuch	„Wörterbuch, das Elemente einer oder mehrerer Terminologien enthält“
Glossar	„Wörterbuch, das Definitionen oder Erklärungen enthält“
Wörterbuch	„geordnete Sammlung von Wortschatzelementen einer Sprache oder mehrerer Sprachen einschließlich der zugeordneten Eintragsinformationen“

¹⁶³ Alle Begriffsbestimmungen sind aus [DIN 2342] zitiert.

Es wird darauf hingewiesen, dass in [DIN 2342] die Benennungen Lexikon und Enzyklopädie als Synonym für Wörterbuch abgelehnt und auch nicht definiert werden. Ergänzend wird die Begriffsbestimmung Lexikon aus [GLÜCK 2010] aufgeführt. Ein Lexikon ist eine „systematische (z. B. alphabetisch) Auflistung des Wortschatzes einer Sprache [...]“¹⁶⁴ bzw. eine „systematische Darstellung eines bestimmten Wissensgebietes in Form von Artikeln zu relevanten Stichwörtern.“¹⁶⁵

Für die Herleitung und Beschreibung der generischen Prozesse in UML werden Begriffe gebraucht, deren Bezeichnungen mit den Bezeichnungen bereits verwendeter Termini der eisenbahnbetrieblichen Regelwerke konkurrieren. Die Bezeichnungen orientieren sich an den deutschsprachigen Eisenbahnen und werden zur Erhaltung des Leseflusses der Fachsprache entlehnt. Das Erzeugen künstlicher Benennungen wird für diese Arbeit als nicht hilfreich angesehen (Bsp.: Schienenfahrzeugverbund statt Zug). Weiterhin werden den Termini Begriffsbestimmungen zugeordnet und in einem Glossar zusammenfassend aufgelistet (siehe Kapitel 8.3). Es handelt sich nicht um ein Fachwörterbuch, dessen Termini fachlich überprüft und abgestimmt sind. Die im Glossar enthaltenen Definitionen sind nur im Rahmen dieser Arbeit gültig und dienen dem besseren Leseverständnis.

Die Beschreibung der Eisenbahnbetriebsprozesse in semiformalen Sprachen ist an sich zweifelsfrei, wenn die darin verwendeten Wörter eindeutig einem Fachwörterbuch zugeordnet oder in einem ergänzenden Glossar beschrieben werden. Da die generischen Prozesse für die Anwendung zu abstrakt sind, müssen diese in eine natürliche Sprache transformiert werden. In diesem Fall muss zur Erreichung der betrieblichen Interoperabilität zwingend ein harmonisiertes Fachwörterbuch verwendet werden.

Bei der Erstellung eines Fachwörterbuchs kann natürlich auf bestehende Fachwörterbücher und Glossare zurückgegriffen werden, indem diese bereinigt, ergänzt oder zusammengeführt werden. Ist ein harmonisiertes Fachwörterbuch verfügbar, dann können auf den generischen Prozessen basierende Regeln ausgearbeitet und formuliert werden. Hierbei sind die bisher verwendeten Richtlinien und Regelwerke zu beachten, deren Regeln in bestimmten Fällen weiterverwendet werden können oder nur geringfügig angepasst werden müssen. Eine dafür mögliche Methode wird nachfolgend in Kapitel 9 vorgeschlagen.

¹⁶⁴ Zitat aus [GLÜCK 2010], Stichwort Lexikon

¹⁶⁵ Zitat aus [GLÜCK 2010], Stichwort Lexikon

Im weiteren Verlauf wird in diesem Kapitel auf ausgewählte Beispiele verwiesen, die im Umgang mit den verschiedenen FDV aufgetreten sind und Differenzen in der Begriffsbestimmung besitzen (Kapitel 8.2.3). Weiterhin sollen die für diese Arbeit verwendeten Definitionen in einem Glossar zusammengefasst werden (Glossar siehe Kapitel 8.3).

8.2.3 Beispiele ähnlicher Termini der DACH-Staaten

8.2.3.1 Entgleisungsvorrichtung, Gleissperre, Gleissperrung, Sperrschuh

Die deutschsprachigen FDV verwenden die Bezeichnungen Gleissperre, Gleissperrung und Entgleisungsvorrichtung. Diese Bezeichnungen werden mit abweichenden Begriffen verwendet, jedoch nicht in jedem Fall definiert.

Terminus 1

Begriff – Über den Schienenkopf klappbare technische Vorrichtung zur Entgleisung von (sich unbeabsichtigt bewegenden) Schienenfahrzeugen

Die deutsche FDV bezeichnet diesen Begriff als Gleissperre und verwendet ihn an verschiedenen Textstellen im Zusammenhang mit anderen technischen Infrastrukturelementen, welche bedient werden können.¹⁶⁶ Die österreichische FDV gebraucht ebenfalls diesen Begriff, verwendet allerdings die Bezeichnung Sperrschuh.¹⁶⁷ In der Schweizer FDV wird ein solches Element als Entgleisungsvorrichtung bezeichnet. Es ist dabei zu beachten, dass dieser Begriff nicht mit dem Begriff Sperrschuh verwechselt werden darf, welcher häufig zusammen mit einer Entgleisungsvorrichtung genannt wird.¹⁶⁸

Die in den jeweiligen Ländern verwendeten Begriffe sind weder in der verwendeten FDV noch im jeweils direkt übergeordneten Gesetz definiert. Der richtige Gebrauch dieser Wörter hängt von der Ausbildung und der Anwendung im dazugehörigen Bahnnetz ab. In der Fachliteratur wurde bereits auf Differenzen bei dieser Begriffs-

¹⁶⁶ Bsp.: „Ist die Signalabhängigkeit einer Weiche, Gleissperre oder eines Sperrsignals [...] aufgehoben, müssen Sie Sperre nach Modul 408.0403 Nr. 13 anbringen bzw. eingeben.“ Zitat aus [FDV D 2012], Modul 408.0601, Seite 2

¹⁶⁷ Bsp.: „Weichen, Sperrschuhe und Signale dürfen nur von den dazu bestimmten Mitarbeitern bedient werden.“ Zitat aus [FDV A 2012] § 4 (3), Seite 107

¹⁶⁸ Bsp.: „Sperrsignale in der Bauart drehbarer Weichenlaterne werden in Verbindung mit abklappbaren Entgleisungsvorrichtungen oder Sperrschuhen sowie vor Weichen von Schutzstumpen [...] angewendet.“ Zitat aus [FDV CH 2012], R300.2, Kapitel 2.1.2, Seite 59

bestimmung hingewiesen.¹⁶⁹ Eine Beschreibung des deutschen Begriffs Gleissperre findet sich in [ADLER 1990] und [NAUMANN 2004].

Terminus 2

Begriff – Betriebliche Maßnahme (Prozess) zur Verhinderung des Befahrens eines Gleises durch reguläre (planmäßige) Zugfahrten

In Deutschland wird dieser Begriff als Gleis sperren oder Gleissperrung bezeichnet. Eine eigene Definition ist in [FDV D 2012] nicht enthalten, erscheint aber auch nicht als zwingend, da das Vorgehen zum Sperren von Gleisen in einem eigenen Kapitel behandelt wird (Modul 408.0902). In Österreich ist die Sperre eines Gleises (oder Gleissperre) „eine Schutzmaßnahme, wenn das Gleis nicht oder nur unter bestimmten Bedingungen befahren werden darf.“¹⁷⁰ Dem gesamten Prozess ist auch hier ein eigener Textabschnitt vorbehalten. In der Schweiz wird wie in Deutschland ebenfalls die Bezeichnung Gleissperrung (oder Sperrung von Gleisen/ Weichen) für einen betrieblichen Vorgang verwendet (Beschreibung siehe [FDV CH 2012], Kapitel 3.2.4).

Bei der Analyse der verwendeten Bezeichnungen für diesen Terminus ist anzumerken, dass die Fachwörter eine große Ähnlichkeit aufweisen, jedoch nicht gleich sind und ohne zusätzliche Erläuterung bzw. ohne Beachtung des Kontextes mit *Terminus 1* verwechselt werden könnten.

Terminus 3

Begriff – Technische Einrichtung gegen das unbeabsichtigte Einstellen eines Fahrweges in einer sicherungstechnischen Stelleinrichtung (Stellwerk)

Die Bezeichnung Gleissperre wird in der Schweiz auch in Verbindung mit dem Vorgang Gleissperrung (Sperren von Gleisen) in Bahnhöfen verwendet, indem man darunter die technische Möglichkeit vorsieht, unbeabsichtigte Bedienungen bei Gleissperrungen zu verhindern. So können in der Schweiz Relaisstellwerke (RSTW) als auch ESTW diese Funktion nutzen (über die Fernsteuerung ILTIS¹⁷¹ möglich).

¹⁶⁹ Maschek vermerkt in [FENDRICH 2007], Kapitel 13, zusätzlich die A- und CH-Bezeichnung für eine deutsche Gleissperre.

¹⁷⁰ Zitat aus [FDV A 2012], § 85 (1), Seite 703

¹⁷¹ Integriertes Leit- und Informationssystem

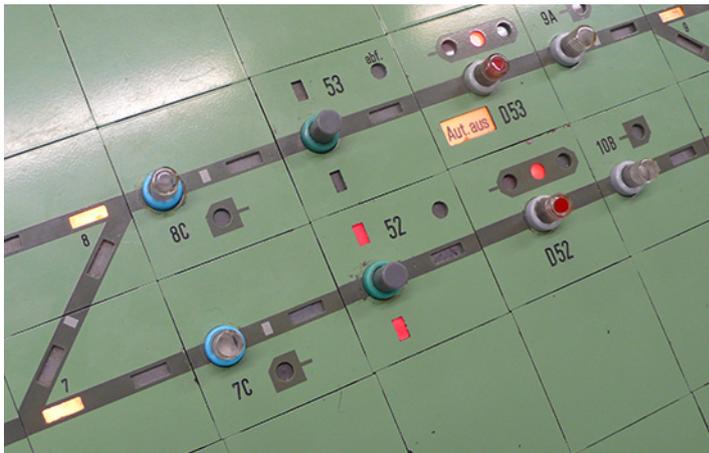


Abbildung 8.2 Gleissperre Gleis 52 in einem schweizerischen RSTW

Ähnliche Funktionen (Begriffe) sind auch in Deutschland bekannt und werden als Zielsperre (RSTW Bauform GS II Sp 64b [ARNOLD 1987]) oder als Befahrbarkeitssperre (ESTW [ZOELLER 2008]) bezeichnet. Das Sperren von Fahrstraßenziel- len wird in Österreich als Befahrbarkeitssperre oder Zielsperre bezeichnet.¹⁷²

Terminus 4

Begriff – Klappbare technische Vorrichtung, die auf den Schienenkopf geklappt wird und zum Anhalten von (sich unbeabsichtigte bewegendem) Schienenfahrzeugen dient

Die schweizerische Bezeichnung Sperrschuh steht für ein Fahrwegelement, dessen Funktionsweise dem einer schweizerischen Entgleisungsvorrichtung entspricht, die Wirkungsweise jedoch das Abbremsen des Fahrzeuges ist (keine Entgleisung beabsichtigt). Der Sperrschuh ist eine Art Hemmschuh, der zur Vermeidung von Gefahrensituationen verwendet wird und beim regulären Befahren von der Schiene weggeklappt wird (siehe Abbildung 8.3).

¹⁷² Vgl. [FDV A 2012], § 86 (5), Seite 703



Abbildung 8.3 Schweizerischer Sperrschuh (aufliegend/ umgeklappt)

Die Vorrichtung entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und wird nicht mehr neu eingebaut. Es ist nicht bekannt, ob solche Fahrwegelemente auch bei deutschen und österreichischen Bahnen zur Anwendung kommen.

Zum besseren Verständnis werden die Bezeichnungen der aufgeführten Termini in einer Übersicht dargestellt.

Tabelle 8.3 Übersicht der Bezeichnungen für Prozesse und Fahrwegelemente

	Terminus 1	Terminus 2	Terminus 3	Terminus 4
Begriff	Fahrwegelement Entgleisung	Betriebsprozess Fahrweg sperren	LST-Element Fahrweg sperren	Fahrwegelement Anhalten
Deutschland	Gleissperre	Gleissperrung, Gleis sperren	Befahrbarkeits- sperre, Zielsper- rung	-
Österreich	Sperrschuh	Gleissperre	Befahrbarkeits- sperre, Zielsperre	-
Schweiz	Entgleisungsvor- richtung	Gleissperrung, Gleis sperren	Gleissperre	Sperrschuh

In Tabelle 8.3 ist deutlich zu erkennen, dass gleiche oder ähnliche Bezeichnungen in Verbindung mit anderen Begriffen stehen. Für *Terminus 1* (Fahrwegelement Entgleisung) werden drei verschiedene Bezeichnungen verwendet. Weiterhin kann jede Bezeichnung in einem der anderen beiden Ländern wieder für einen anderen Begriff stehen.

Unter der Annahme, dass man *Terminus 1* harmonisieren möchte und sprachwissenschaftliche Methoden vorerst vernachlässigt werden, würde sich in diesem Bei-

spiel die Bezeichnung „Entgleisungsvorrichtung“ anbieten. Der Ausdruck „Entgleisungsvorrichtung“ ist nahezu selbsterklärend und wird weder in der deutschen noch österreichischen FDV anderweitig verwendet, so dass die Harmonisierung mit einem einfachen Wechsel der Bezeichnung vollzogen werden könnte.

Juristische Aspekte müssen (wahrscheinlich) nicht weiter einbezogen werden, denn in keinem der drei Staaten wird der Begriff in einer der direkt übergeordneten Rechtsnormen verwendet.

8.2.3.2 Zwergsignal, Sperrsignal

Ein weiteres Beispiel beschreibt die Bezeichnung von Signalen, die zum einen auf der Gestaltungsform beruht und zum anderen auch in einem betrieblichen Zusammenhang begriffen werden muss.

Terminus 5

Bezeichnung – Zwergsignal

In der Schweiz dienen Zwergsignale „der Regelung von Rangierbewegungen sowie dem gegenseitigen Schutz von Rangierbewegungen unter sich oder gegen Zugfahrten. [...] Zwergsignale befinden sich in Bodennähe. Sie können ausnahmsweise erhöht [...] angebracht werden [...]“¹⁷³ „Zwergsignale zeigen bei eingestellter Zugfahrstrasse Fahrt. Signalisiert ein Haupt- oder Sperrsignal *Halt*, zeigt das vorausgehende Zwergsignal *Fahrt mit Vorsicht*.“¹⁷⁴ Ein Zwergsignal muss in der Schweiz von Rangier- als auch Zugfahrten beachtet werden.

¹⁷³ Zitat aus [FDV CH 2012], R 300.2, Seite 69

¹⁷⁴ Zitat aus [FDV CH 2012], R 300.2, Seite 70



Abbildung 8.4 Zwergsignal Schweiz (Signalbegriff „Halt“)

Die Bezeichnung Zwergsignal¹⁷⁵ leitet sich aus ihrer regulären Gestaltungsform ab und wird für eine Klasse von Signalen verwendet, zu der eigene Signalbilder und Regeln gehören.

Im Gegensatz dazu wird die Bezeichnung Zwergsignal in den deutschen und österreichischen Fahrdienst- und Signalvorschriften nicht gebraucht. Es werden jedoch in beiden Ländern niedrig stehende Signale verwendet, die auf Grund ihrer Bauform als Zwergsignale bezeichnet werden, sich aber hinsichtlich ihrer Funktion unterscheiden können. Zwergsignale können sowohl Haupt- als auch Rangier-, Vershub- oder Sperrsignale sein [NAUMANN 2004][HAGER 1994]. Welches Signal am jeweiligen Standort genau verstanden (begriffen) werden muss, leitet sich aus angebrachten Zusatztafeln (z. B. Mastschilder) oder den angezeigten Signalbildern ab.

¹⁷⁵ In der französischsprachigen Version der FDV der Schweiz werden diese Signale ebenfalls als „Zwergsignale“ (Signaux nains) bezeichnet und in der italienischsprachigen Version als „kleine Signale“ (Segnali bassi) benannt.



Abbildung 8.5 Hauptsignal in Bauform eines Zwergsignals (Bereich ehem. Deutsche Reichsbahn)

Der Terminus Zwergsignal müsste nicht zwingend harmonisiert werden, da er nur in der Schweiz mit einer offiziellen betrieblichen Begriffsbestimmung verwendet wird. Würde man die Signalbilder und -begriffe¹⁷⁶ harmonisieren, dann wäre es denkbar, dass ein Zwergsignal als ein äquivalentes Rangier-, Verschub-, Schutz- oder Sperrsignal betrachtet wird. Es wäre dann anzunehmen, dass die Schweiz die Bezeichnung ändern muss, da diese aus der Gestaltungsform abgeleitet wurde und nicht aus der Funktionsklasse (bzw. aus dem Begriff).

Terminus 6

Bezeichnung – Sperrsignal

Ein Schweizer Sperrsignal gilt für Zug- und Rangierfahrten und fordert den Halt vor diesem Signal. Es kann als Lichtsignal oder als Laternen-Signal (z. B. an Entgleisungsvorrichtungen) ausgeführt werden und zeigt ausschließlich *Halt* oder keinen Signalbegriff. Muss an einem *Halt* zeigenden Sperrsignal vorbeigefahren werden, dann nur auf besondere Anweisung des FdI¹⁷⁷ [FDV CH 2012].

¹⁷⁶ Ein Signal-Begriff ist ein mit Signalmitteln erteilter Befehl [ADLER 1990].

¹⁷⁷ Siehe [FDV CH 2012], R 300.2, Seite 59, und R 300.9, Seite 449

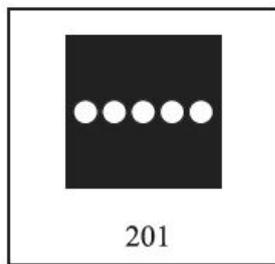


Abbildung 8.6 Sperrsignal Schweiz (Signalbegriff „Halt“) [FDV CH 2012]

Ein österreichisches Sperrsignal wird vor Stumpfgleisabschlüssen, Gleistoren, Waggons, Drehscheiben, Schiebebühnen und an Sperrschuhen aufgestellt. An einem Sperrsignal können die Begriffe *Weiterfahrt verboten* und *Weiterfahrt erlaubt* angezeigt werden [ÖBB V2 2012]. Grundsätzlich gelten die Signale für alle Fahrzeugbewegungen.



Abbildung 8.7 Österreichisches Sperrsignal (links) und Verschubsignal als Zwergsignal (rechts) an einem Sperrschuh

Sperrsignale werden in Deutschland in unterschiedlichen Arten für verschiedene Zwecke verwendet. Eine Gemeinsamkeit besteht darin, dass diese Signale keine Zustimmung für Zugfahrten (keine Anzeige von Fahrtsignalbildern) anzeigen. Sie müssen aber grundsätzlich von allen Fahrzeugbewegungen beachtet werden und dienen der Regelung von Rangierfahrten¹⁷⁸, als Zugdeckungssignale, zeigen die Befahrbarkeit von Drehscheiben und Schiebebühnen an und können in Verbindung mit Rückfallweichen verwendet werden [DB301 2012][FDV D 2012][NAUMANN 2004].

¹⁷⁸ Inkl. der Kennzeichnung von Gleisabschlüssen sowie die Vorbeifahrt an Gleissperren



Abbildung 8.8 Deutsches Sperrsignal in Bauform eines Zwergsignals

8.2.3.3 Begriffe für Eisenbahnfahrten in den DACH-Staaten

Für die Durchführung von Fahrzeugbewegungen werden unterschiedliche Bezeichnungen von Fahrten verwendet, bei denen andere Regeln zu beachten sind und auch andere Signale gelten. In dieser Arbeit werden die Termini Zug- und Rangierfahrt¹⁷⁹ verwendet, welche nicht deckungsgleich mit denen der deutschsprachigen Bahnen sein müssen.

Die einzige Gemeinsamkeit stellt die Bezeichnung regulärer Fahrten dar, die im festen Raumabstand erfolgen und als „Zugfahrten“ bezeichnet werden. Wird von dieser Grundvariante abgewichen, z. B. zur Durchführung von Zugbildungsprozessen oder auf Grund gesperrter Gleise, dann treten in den jeweiligen Ländern andere Begriffe in Kraft. Für die Analyse der Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen diesen Fahrten wird auf den Vergleich in der Fachliteratur¹⁸⁰ verwiesen. Die nachfolgende Tabelle stellt eine zusammenfassende Übersicht der Fahrzeugbewegungen dar.

¹⁷⁹ Siehe Kapitel 10.2

¹⁸⁰ Siehe [FDV CH 2012], R 300.2, Seite 59, und R 300.9, Seite 449

Tabelle 8.4 Einteilung der Fahrten in den deutschsprachigen Staaten [FENDRICH 2007]

Art der Fahrzeugbewegung	Betriebliche Zuordnung in		
	Deutschland	Österreich	Schweiz
Durch Hauptsignal geregelte Fahrt	Zugfahrt	Zugfahrt	Zugfahrt
Ohne Hauptsignal geregelte Fahrt gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung einer zweigleisigen Strecke	Zugfahrt	Zugfahrt	Rangierfahrt auf die Strecke
Fahrt unter vereinfachten Bedingungen im Bahnhof ohne Fahrplan	Rangierfahrt	Verschubfahrt	Rangierfahrt
Fahrt zum Bedienen einer Anschlussstelle	Zugfahrt, ggf. als Sperrfahrt	Nebenfahrt	Rangierfahrt auf die Strecke
Fahrt im gesperrten Streckengleis	Zugfahrt als Sperrfahrt	Nebenfahrt	Rangierfahrt auf die Strecke
Fahrt in einem Streckengleis, das für Bauarbeiten außer Betrieb genommen wurde	Rangierfahrt	Verschubfahrt	Rangierfahrt
Fahrt auf die Strecke mit Fahrzeug, durch das Gleisschaltmittel nicht sicher betätigt werden	Zugfahrt als Sperrfahrt	Nebenfahrt	Rangierfahrt auf die Strecke
Fahrt im Bahnhof mit Fahrzeug, das Gleisschaltmittel nicht sicher betätigt	Rangierfahrt	Nebenfahrt	Rangierfahrt

8.2.4 Erkenntnisse

Die Ausführungen in Kapitel 8.2 betreffen die Probleme unterschiedlicher Bezeichnungen und Begriffsbestimmungen für eisenbahnbetriebliche Termini. Ohne umfassende Vertiefung konnte an Hand weniger Beispiele gezeigt werden, dass ein umfangreicher Harmonisierungsaufwand besteht, wenn man einheitliche Bezeichnungen für gemeinsam abgegrenzte Begriffe mit eindeutigen Definitionen erhalten möchte. Erst das ermöglicht die Übersetzbarkeit in andere Fachsprachen und unterstützt das gemeinsame Verständnis.

Für eine nachhaltige Harmonisierung der Termini, welche keine kurzfristigen Änderungen auf Grund der technischen Weiterentwicklung benötigen, wird der Einbezug der Sprach- und Rechtswissenschaften empfohlen. Es ist neben der richtigen Anwendung linguistischer Methoden auch auf die im Kontext zu Rechtsnormen stehenden Begriffe zu achten.

Harmonisierte Fachbegriffe allein sind jedoch noch nicht ausreichend für die Erstellung einer interoperablen Beschreibung der Betriebsprozesse, die für den tatsächlichen Gebrauch durch das Betriebspersonal geeignet ist. Es muss weiterhin darauf geachtet werden, welche Regeln wie formuliert werden und in welchem Detaillierungsgrad sie beschrieben und gegebenenfalls erläutert werden. Für den Vergleich von Regeln und Richtlinien wird auf Kapitel 9 verwiesen. Hierzu muss im Weiteren die ausformulierte Form der Regelwerkstexte untersucht werden und auf entsprechende Anpassungen hin analysiert werden.

8.3 Glossar

8.3.1 Hinweis zu diesem Glossar

Die nachfolgend aufgelisteten Definitionen dienen dem Verständnis innerhalb dieser Arbeit, sind weitestgehend generisch formuliert und können in Rechtsnormen oder anderen betrieblichen Richtlinien (FDV) abweichende Begriffsbestimmungen haben. Definitionen, die aus Quellen übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet und müssen nicht zwingend allgemeingültig formuliert sein. Die Definitionen können durch zusätzliche Beispiele ergänzt werden, um einen praktischen Bezug herzustellen und gegenüber ähnlichen Begriffen eine bessere Abgrenzung zu erzielen.

8.3.2 Liste Termini

Bahnhof

Ein Bahnhof ist [...] eine Bahnanlage mit „mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen. Als Grenze zwischen Bahnhöfen und der freien Strecke gelten im allgemeinen die Einfahrtsignale [...]“¹⁸¹ (vgl. Kapitel 10.2.2)

Bahnsteig

Generische Schnittstelle für Personen zur Eisenbahn

¹⁸¹ Zitat aus [D EBO 2012], § 4, Absatz 2

Betriebsform

Art der Durchführung des Eisenbahnbetriebes innerhalb eines Betriebsverfahrens, bei dem die örtlichen Bedingungen hinsichtlich funktionaler Anforderungen und technischer Ausstattung berücksichtigt werden. Von der regulären Betriebsform kann abgewichen werden, wenn vorübergehende Änderungen des Betriebsablaufes dies erfordern. Dabei wird das Betriebsverfahren beibehalten. Bsp.: Rechtsverkehr, Bevorzugung des in Fahrtrichtung rechten Streckengleises bei zweigleisigen (doppelspurigen) Strecken.

Betriebsverfahren

„System betrieblicher Regeln und technischer Mittel zur Durchführung von Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen auf einer Eisenbahninfrastruktur. Hinsichtlich der Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt lassen sich Betriebsverfahren in zwei grundsätzlich zu unterscheidende Kategorien einteilen:

- Betriebsverfahren mit Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt durch Signaleinrichtungen
- Betriebsverfahren mit Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt durch mündliche [...] Aufträge“¹⁸²

Bsp.: Verfahren nach Richtlinie 408 in Deutschland [FDV D 2012], Betriebsvorschrift V3 in Österreich [FDV A 2012] oder nach [FDV CH 2012] in der Schweiz

Betriebsweise

Allgemeiner Grundsatz, an dem sich die allgemeine Betriebsführung und das Systemverständnis orientiert. Bsp.: Deutsche Betriebsweise in DACH, Skandinavien, Osteuropa und auf dem Balkan

Eisenbahnbetriebsprozess(e)

Regeln und Verfahren zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Schienenfahrzeugfahrten. Bsp.: Zugbildung und Bremsprobe, Fahren eines Zuges, Abstellung von Fahrzeugen

¹⁸² Zitat aus [NAUMANN 2004], Seite 33

Eisenbahnfahrzeug

Schienenfahrzeug, das für Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur verwendet wird.

Eisenbahninfrastruktur

Gesamtheit aller immobilen (ortsfesten) Anlagen des Systems Eisenbahn. Bsp.: Gleise, Bahnsteige, Bahnhofsgebäude, Umschlaganlagen

Eisenbahninfrastruktur, betriebliche

Gesamtheit aller immobilen (ortsfesten) Anlagen, die der direkten Erfüllung der Verkehrsfunktionen dienen. Bsp.: Gleise, Weichen, Signale, Fahrleitungsanlagen

Fahrdienstleiter (Fdl)

Der Fahrdienstleiter ist ein infrastrukturseitiger Mitarbeiter, der für einen zugewiesenen Infrastrukturbereich verantwortlich ist und darin die Sicherung und Disposition der Fahrzeugbewegungen veranlasst.

Fahrleitungsanlagen

„Teil der Bahnenergieversorgung und [...] Oberbegriff für Oberleitungen, Dritte Schienen, Stromschienen-Oberleitungen und Sonderfahrleitungen [...].“¹⁸³ Bsp.: Oberleitung, Schutzabschnitte, Masten, Tragwerke

Fahrweg

„Weg, den ein Schienenfahrzeug nach Lage der Gleise und Weichen nehmen kann.“¹⁸⁴

Fahrwegelement

Untergliederung des Fahrweges in starre und bewegliche Bestandteile. Bsp.: Gleis, Weiche, Gleiskreuzung, Bahnübergang, Drehscheibe

generisch

Wortbedeutung: im allgemeinen Sinne [DUDEN 2014]

¹⁸³ Zitat aus [KIESSLING 2014], Seite 38

¹⁸⁴ Zitat aus [FENDRICH 2007], Seite 561

Interoperabilität

„Eignung eines Eisenbahnsystems für den sicheren und durchgehenden Zugverkehr, indem den für diese Strecken erforderlichen Leistungskennwerten entsprochen wird. Diese Eignung hängt von den gesamten ordnungsrechtlichen, technischen und betrieblichen Voraussetzungen ab, die zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen gegeben sein müssen.“ (Definition nach [2008/57/EG]).

Ladestelle

Generische Schnittstelle für Güter zur Eisenbahn

Lokomotive

Triebfahrzeug, dessen Zweck die Bewegung von Wagen ist. Bsp.: Dampflokomotive, Diesellokomotive, Elektrische Lokomotive

Rangierfahrt

Eine Rangierfahrt ist eine Bewegung mit Eisenbahnfahrzeugen, deren Höchstgeschwindigkeit dadurch begrenzt wird, dass innerhalb der vom ersten Fahrzeug aus einsehbaren Distanz vor einem möglichen Gefahrpunkt rechtzeitig angehalten werden kann. Rangierfahrten, welche in von FdI überwachten Bereichen verkehren, benötigen die Erlaubnis des FdI (vgl. Kapitel 10.2.2).

Regelfahrzeug

Eisenbahnfahrzeug, das für die Durchführung des gewerblichen Transports zum Zweck des Personen-, Güter- und Nachrichtentransports vorgesehen ist. Das Fahrzeug entspricht der Gesetzgebung für öffentliche Eisenbahnen (vgl. Kapitel 10.2).

Rf-Bereich

Gleisbereich, der nicht von einem Fahrdienstleiter überwacht wird und in dem nur Rangierfahrten zulässig sind.

Sonderfahrzeug

Eisenbahnfahrzeug, das nicht für den gewerblichen Transport vorgesehen ist, einem nichtöffentlichen Zweck dient oder für Hilfs- und Rettungsdienste verwendet wird. Das Fahrzeug muss nicht der Gesetzgebung für öffentliche Eisenbahnen entsprechen. Bsp.: Schneepflug, Gleisbaufahrzeug, Zwei-Wege-Bagger

Topologie

„Konfiguration von Netzwerkknoten und –verbindungen. Die Gleistopologie zeigt die Anordnung sowie die gegenseitige Lage und Verknüpfung der topologischen Grundelemente“¹⁸⁵ bzw. der generischen Fahrweegelemente. Bsp.: Spurplan eines Bahnhofs

Triebfahrzeug

Regelfahrzeug mit Antriebsanlage, das selbständig fahren kann. Bsp.: Lokomotive, Triebwagen

Triebwagen

Triebfahrzeug, das einem Transportzweck dient. Ein Triebwagen kann mit anderen Fahrzeugen verbunden sein und einen Zug bilden. Bsp.: Triebwagen der Baureihen 771 & 772 der DB AG [FRIEDRICHS 2010]

Triebwagenzug

Fester Verbund aus Fahrzeugen, die einem Transportzweck dienen und deren Antriebsanlage über mehrere Fahrzeuge verteilt ist. Ein Triebwagenzug kann nur mit der für ihn vorgegebenen Anzahl und in der vorgesehenen Fahrzeugreihung verkehren. Ein Triebwagenzug kann mit anderen Regelfahrzeugen/ Eisenbahnfahrzeugen in einem Zug verkehren. Bsp.: Triebwagenzüge der Baureihen 411 & 415 der DB AG [BÄZOLD 1997]

Wagen

Ein Wagen ist ein Regelfahrzeug, das einem Transportzweck dient und nicht selbständig fahren kann. Für die Durchführung von Fahrten muss es mit einem Triebfahrzeug verbunden sein. Bsp.: Personenwagen, Güterwagen, Gepäckwagen

¹⁸⁵ Zitat aus [WEIDMANN 2012], Seite 51

Zf-Bereich

Gleisbereich, der von einem Fahrdienstleiter überwacht wird und in dem Zug- und Rangierfahrten zulässig sind.

Zug

Ein Zug ist ein Verbund aus Fahrzeugen, in denen mindestens ein Triebfahrzeug vorhanden ist und der selbständig fahren kann.

Zugfahrt

Eine Zugfahrt ist die Bewegung eines Zuges, dessen zulässige Geschwindigkeit es nicht erlaubt, den Bremsweg bis zu einem möglichen Gefahrpunkt zu überblicken. Für das Leiten und Sichern einer Zugfahrt bedarf es eines Infrastrukturbeobachters, der die Erlaubnis zur Fahrt erteilen und entziehen kann und in Kommunikation mit dem Zugpersonal steht.

9 Methodik zum Vergleich von Richtlinien

9.1 Einleitung

Die Harmonisierung der Eisenbahnbegriffe unterstützt das gemeinsame Verständnis, sie ist allerdings noch nicht ausreichend für eine Angleichung der Betriebsprozesse. Eisenbahnbetriebliche Fachbegriffe sind in den Fließtexten von Richtlinien eingebunden und werden durch weitere informale Beschreibungsmittel unterstützt (Tabellen, Graphiken). Für die Harmonisierung der Betriebsprozesse ist es wichtig, das bestehende Regeln miteinander verglichen werden können, neue Normen hinzugefügt oder veraltete entfernt werden. Bahnbetriebliche Regelwerke werden regelmäßig verändert und entsprechend der technischen Entwicklung als auch bezüglich der sicherungstechnischen Ansprüche angepasst. Deshalb sind über einen langen Zeitraum sehr umfangreiche Handlungsrichtlinien entstanden, welche hinsichtlich der Struktur, der Detaillierungstiefe als auch dem Regelungsumfang sehr unterschiedlich sind. Bereits der Blick in die Inhaltsübersicht der FDV der DACH-Staaten lässt deutliche Unterschiede erkennen.

Aus diesen Gründen bietet sich ein strukturiertes Vorgehen zur Analyse, dem Vergleich und der Anpassung von Rechtsnormen und Richtlinien an. Allein durch die wiederkehrenden Aktualisierungen der TSI-Richtlinien sind regelmäßige Angleichungen mit den FDV nötig. Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurde für das schweizerische Bundesamt für Verkehr eine Methodik entwickelt, die für den Vergleich und die Anpassung von Richtlinien behilflich ist. Die Methode eignet sich grundsätzlich auch für die Analyse von anderen technischen Richtlinien und ist nicht auf den Bahnbetrieb beschränkt [HÖPPNER 2011].

Der Ablauf untergliedert sich in die fünf folgenden Hauptarbeitsschritte, welche teilweise eigene Unterbearbeitungsschritte haben:

1. Abstimmung der Anfangsbedingungen
2. Grobgliederung des Inhaltes
3. Feingliederung des Inhaltes
4. Vergleich und Regeländerung
5. Prüfung auf Vollständigkeit

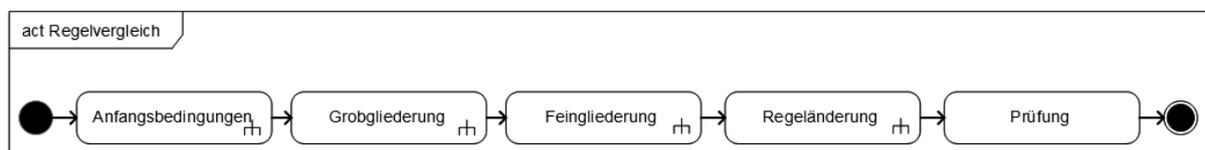


Abbildung 9.1 Hauptarbeitsschritte Vergleichsmethodik als UML-Diagramm

Die Methode wird als Top-Down-Prozess durchgeführt und vertieft systematisch den Inhalt der Richtlinien. Gleichzeitig werden die Regeln entsprechend ihres Sachverhaltes gruppiert und können anschließend unter ständiger Beachtung des Kontextes verglichen werden. Im Vergleich wird festgestellt, ob sich Inhalt, Sprache und Aussage unterscheiden und wie grundlegend eine Anpassung erfolgen sollte. Die einzelnen Bearbeitungsschritte werden nachfolgend als Vergleich zweier Richtlinien skizziert und abschließend in eine Gesamtübersicht überführt.

9.2 Anfangsbedingungen

Zu Beginn des Richtlinienvergleichs müssen die vier Sachverhalte Inhaltskenntnis, Widerspruchsfreiheit, Hierarchie und Glossar überprüft werden.

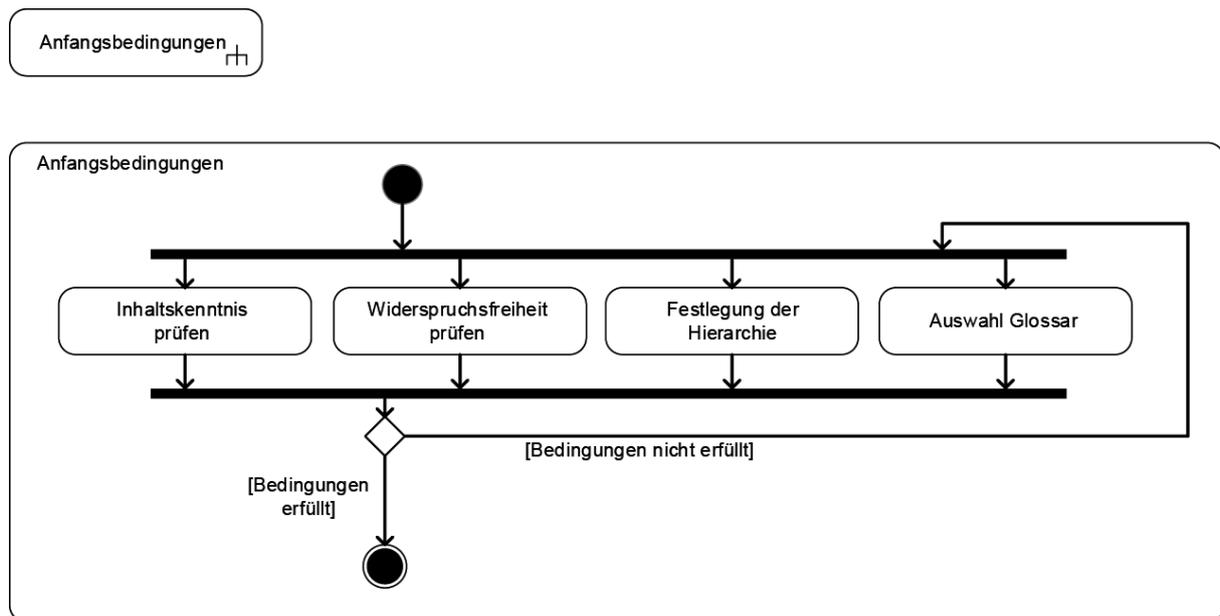


Abbildung 9.2 Schritt 1 „Anfangsbedingungen“

Um Richtlinien und Gesetzestexte richtig miteinander vergleichen zu können, muss der Bearbeiter grundsätzlich inhaltliche Kenntnis über die verwendeten Texte besitzen. Es ist nicht erforderlich, dass bei Beginn der Arbeit vollständiges Wissen besteht, aber es muss ein grober Überblick über alle Themenbereiche existieren. Richtlinien sind im Regelfall keine Lehrbücher und man kann grundsätzlich nicht davon ausgehen, dass alle Begriffe und Regeln näher erklärt werden, so dass ein gewisses fachliches Vorwissen für den Bearbeiter von Vorteil ist.

Eine Richtlinie darf in sich grundsätzlich keine Widersprüche aufweisen, anderenfalls verfehlt sie ihr Ziel, klare Handlungsanweisungen zu kommunizieren. Normalerweise darf angenommen werden, dass eine Richtlinie widerspruchsfrei ist, da sie selbst bei einer Neuerscheinung häufig mehrfach überarbeitet wurde. Sollten während der Bearbeitung dennoch Widersprüche auftreten, so muss der Vergleichsprozess abgebrochen werden und kann erst nach der Korrektur des betroffenen Textes neu wieder aufgenommen werden. Es ist auch darauf zu achten, dass nach Abschluss dieser Methode ein geänderter Richtlinienentwurf weiterhin widerspruchsfrei ist.

Unter Hierarchie ist bei dieser Methode nicht die juristische Hierarchie zwischen zwei Richtlinien zu verstehen, sondern die Richtung, in der die Inhalte bei der Regeländerung transferiert werden sollen. Häufig werden Änderungen aus der juristisch höher stehenden Richtlinie in die niedrigere übernommen. Bei juristisch gleichrangigen Richtlinien kann es von Vorteil sein, eine Übernahmerichtung zu

definieren. Wird darauf verzichtet und sind beide Richtlinien gleichberechtigt¹⁸⁶, dann muss bei jedem einzelnen Regelvergleich neu entschieden werden, wie anzugleichen ist. Die Bestimmung der Rangfolge ist eine Festlegung und wird im vierten Bearbeitungsschritt „Vergleich und Regeländerung“ benötigt.

Für ein eindeutiges Verständnis der Richtlinien sind Fachwörterbücher und ausführliche Begriffsbestimmungen unverzichtbar. Im Idealfall sollte jeder Sachtext auf ein eigenes Glossar verweisen. Dadurch ist es möglich, dass gleiche Begriffe mit unterschiedlichen Bezeichnungen oder abweichenden Definitionen erkannt und Fehlinterpretationen vermieden werden. Sollte eine Richtlinie kein oder nur ein unvollständiges Glossar zur Verfügung haben, dann ist es hilfreich, den Fachwortschatz durch ein Fachwörterbuch zu erweitern. Haben die zu vergleichenden Texte jeweils eigene Glossare, dann dürfen notwendig erscheinende Änderungen der Termini nur vorsichtig vorgenommen werden und unter bestimmten Umständen nur außerhalb eines Richtlinienvergleiches. Es soll dadurch vermieden werden, dass innerhalb eines Fachwortschatzes Missverständnisse oder Fehler auftreten.

Einfache Änderungen können unbemerkt Abweichungen verursachen, neue inhaltliche Zusammenhänge an anderer Stelle hervorrufen und somit unbeobachtet zu Widersprüchen führen. Das ist insbesondere in umfangreichen Regelwerken möglich, welche aus einer großen Anzahl an unterschiedlichen Richtlinien bestehen. Dies soll nachfolgend an der Bezeichnung „Durchrutschweg“ erläutert werden, der im Regelwerk der DB AG u. a. in [FDV D 2012] und in der Richtlinie 819 „LST-Anlagen planen“ [DB819 2000] verwendet wird. Es handelt sich hierbei um einen geläufigen Ausdruck, der in beiden Richtlinien mehrfach gebraucht wird. Eine Begriffsbestimmung wird aber nur in der Richtlinie 819 aufgeführt. Würde man die [FDV D 2012] überarbeiten und dabei den Ausdruck „Durchrutschweg“ mit einer neuen Definition verwenden, dann müsste diese auch in [DB819 2000] angepasst und neu bestimmt werden. Es müsste daraufhin eine zusätzliche Überarbeitung der Richtlinie 819 folgen.

¹⁸⁶ Ein Beispiel sind die bahnseitigen Richtlinien für die Gestaltung von Bahnübergängen in Deutschland, Richtlinie 815 der DB AG und die Richtlinie der nicht bundeseigenen Bahnen (BÜV-NE) [SCHÖNE 2011].

9.3 Grobgliederung des Inhalts

9.3.1 Einleitung

Die Grobgliederung des Inhalts umfasst im Wesentlichen den inhaltlichen Vergleich der zu untersuchenden Richtlinien an Hand der Inhaltsverzeichnisse. Zusätzlich werden der geographische und der zeitliche Geltungsbereich der zu analysierenden Richtlinien bestimmt.

9.3.2 Geographischer Geltungsbereich

Richtlinien können für geographisch abgrenzbare Räume gelten, z. B. für einen bestimmten administrativen Bereich (Staat, Verwaltungsbezirk), oder nur für einen Teilbereich eines Systems. Im Eisenbahnnetz können einzelne Richtlinien ebenfalls nur für Teilnetze oder besondere Streckenabschnitte gültig sein (z. B. Sonderbestimmungen für den Betrieb der S-Bahn Berlin [DB432 2009])

Häufig tritt der Fall ein, dass zwei zu vergleichende Richtlinien nicht den gleichen geographischen Geltungsbereich umfassen und somit eigentlich nicht miteinander vergleichbar wären. „In dieser Situation ist dann nicht der eigentliche geographische Bereich entscheidend, sondern ob beide Richtlinien das vergleichbare Teilsystem behandeln. Zum Beispiel könnte man die Straßenverkehrsregeln der Schweiz mit denen von Dänemark vergleichen. Ein Vergleich der Straßenverkehrsregeln der Schweiz mit den Verkehrsregeln für dänische Binnenwasserstraßen ist nicht direkt möglich, da es sich um zwei verschiedene Verkehrssysteme handelt. Ein Vergleich wäre in diesem Fall eventuell bei einem sehr hohen Abstraktionsgrad möglich, was hier nicht näher überprüft wird.“¹⁸⁷

9.3.3 Zeitlicher Geltungsbereich

Die Abgrenzung des zeitlichen Geltungsbereiches umfasst die Feststellung des Gültigkeitszeitraums der Richtlinien. Im Regelfall sind diese ab einem bestimmten Zeitpunkt uneingeschränkt gültig. Im Gegensatz dazu können spezielle Richtlinien nur für besondere Situationen und bestimmte Zeiträume herausgegeben werden [HÖPPNER 2011].

¹⁸⁷ Zitat aus [HÖPPNER 2011], Seite 14

9.3.4 Grobgliederung des Inhalts

Die Grobgliederung besteht aus der Abgrenzung des thematischen Geltungsbereiches. Dabei soll der inhaltliche Umfang der Richtlinien bestimmt werden. Es kann dadurch festgestellt werden, welche Inhalte sich überschneiden und welche keine gemeinsame Schnittmenge (Differenzmenge) bilden (vgl. Abbildung 9.3). Wird kein gemeinsamer Geltungsbereich erkannt, dann sind die Inhalte so unterschiedlich, dass ein Vergleich nicht sinnvoll ist und die Methode an dieser Stelle abgebrochen werden kann.

Die Grobgliederung erfolgt auf der Ebene der Inhaltsverzeichnisse bzw. der Kapitelüberschriften. Die detaillierte Analyse des Sachtextes wird erst im nächsten Hauptschritt mit der Feingliederung vollzogen. Die Bestimmung der Schnittmenge ist grundsätzlich davon abhängig, welche Aussagekraft die einzelnen Überschriften haben.

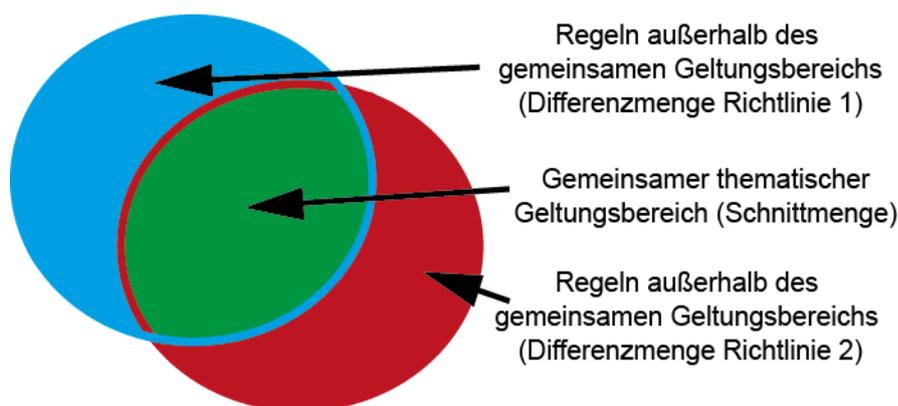


Abbildung 9.3 Beispielskizze einer inhaltlichen Schnittmenge [HÖPPNER 2011]

Mit der Zuordnung der Überschriften werden Gruppen gebildet, bei denen zu erwarten ist, dass die dazugehörigen Textabschnitte inhaltlich zueinander passende Regeln beinhalten. Dadurch entsteht eine gewisse Vorsortierung, die bei der eigentlichen Regeländerung den Suchaufwand passender Regeln reduzieren soll. Bei der Grobgliederung kann eine Matrix erstellt werden, die die Überschriften miteinander gruppiert, es können aber auch andere Mittel ausgewählt werden (z. B. graphische Zuordnung).

„Bei der Bearbeitung im Grobgliederungsschritt ist bereits darauf zu achten, welche logische Struktur jede Richtlinie hat, um in der Feingliederung und bei der Regeländerung den Kontext zu verstehen. Eine Regel darf beim Vergleich nicht aus

dem Zusammenhang einer Richtlinie losgelöst werden, da anderenfalls sich ihre Bedeutung ändern könnte und somit eine andere Aussage entstehen würde.“¹⁸⁸

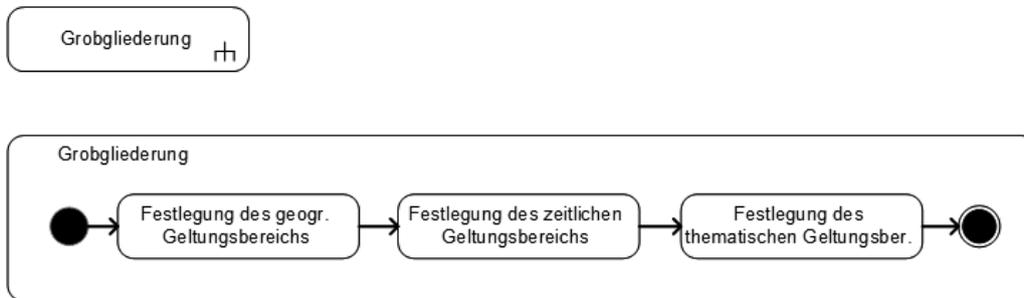


Abbildung 9.4 Schritt 2 „Grobgliederung“

Die inhaltliche Grobgliederung ist abgeschlossen, wenn alle Überschriften der beiden Richtlinien der Schnittmenge oder einer der beiden Differenzmengen zugewiesen wurden [HÖPPNER 2011].

9.4 Feingliederung des Inhalts

Die Feingliederung des Inhalts enthält die erneute Bearbeitung der Richtlinien mit einem größeren Detaillierungsgrad. Sie überprüft an Hand der ausformulierten Texte die exakte Zuordnung der Regeln zur inhaltlichen Schnitt- oder Differenzmenge.

In der Feingliederung werden die einzelnen Regeln identifiziert. Dabei muss der Bearbeiter die Regeln selbständig abgrenzen und deren Zugehörigkeit zur Gruppeneinteilung aus der Grobgliederung überprüfen. Auf Grund nicht eindeutiger Kapitelbezeichnungen ist es möglich, dass die Zuordnung der Regeln korrigiert werden muss. Grundsätzlich ist es zulässig, dass mehrere Regeln eine gemeinsame Gruppe bilden können.

Die Abgrenzung der Regeln aus dem Fließtext unterliegt der Entscheidungskompetenz des Bearbeiters. Eine einzelne Regel kann einen Satz oder eine Wortgruppe umfassen, die eine bestimmte Vorgehensweise oder Situation definiert. Andererseits kann eine Regel umfangreicher formuliert sein, wenn sie durch Hinweise und Erklärungen ergänzt wird.

¹⁸⁸ Zitat aus [HÖPPNER 2011], Seite 17

In diesem Arbeitsschritt empfiehlt es sich, die gleiche Vorgehensweise zur Gruppierung der Regeln zu wählen wie in der Grobgliederung, denn die Feingliederung baut darauf auf. Dabei sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Es muss der gesamte Text der beiden Richtlinien durchgearbeitet werden.
- Der Text muss in einzelne Regeln zerlegt werden, die mit den Regeln der anderen Richtlinie gruppiert werden.
- Die Zugehörigkeit der Regeln ist eindeutig zu erkennen und daraus folgend ist eine genaue Abgrenzung des gemeinsamen Geltungsbereiches möglich.
- Es muss der Kontext einer Regel mit berücksichtigt werden, möglicherweise auch über die untersuchten Richtlinien hinaus.

Nach Abschluss der Feingliederung steht fest, welche Regeln zur Schnittmenge gehören und für den Regelvergleich berücksichtigt werden und welche Regeln vorerst unverändert bleiben (Differenzmenge). Die Regeln außerhalb der Schnittmenge („Abweichende Regeln“) werden vorübergehend in einer Art „Zwischenspeicher“ abgelegt (vgl. Abbildung 9.5) und dort für eine mögliche spätere Bearbeitung beim Vergleich mit einer dritten Richtlinie vorgehalten [HÖPPNER 2011].

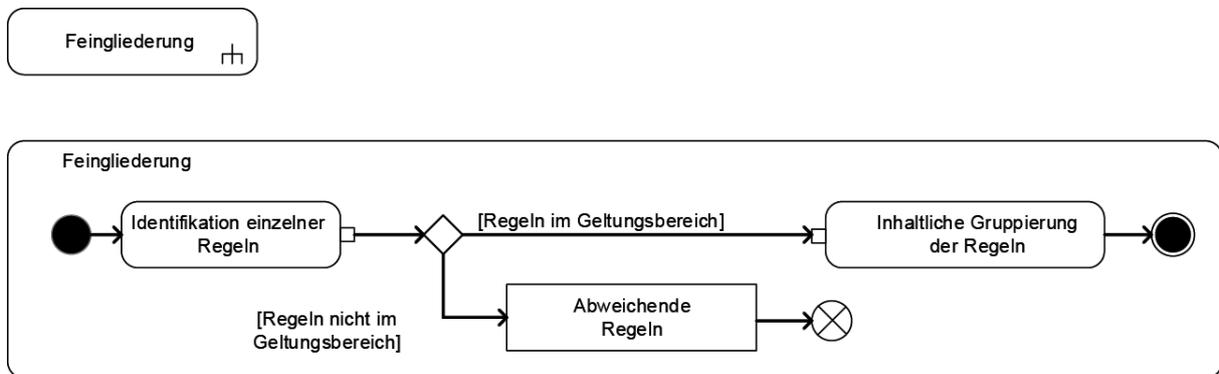


Abbildung 9.5 Schritt 3 „Feingliederung“

9.5 Vergleich und Regeländerung

9.5.1 Grundlegende Fragestellungen für den Vergleich

Dieser Bearbeitungsschritt ist der umfangreichste und vergleicht alle Regelgruppierungen unter inhaltlichen und sprachlichen Gesichtspunkten. Dabei sind folgende drei Fragen wichtig und müssen immer mit beantwortet werden:

- A In welchem Zusammenhang stehen die Regeln innerhalb ihrer Richtlinien und welche Aussagen treffen sie?
- B Ist der Inhalt der Regeln in den untersuchten Richtlinien gleich?
- C Ist die sprachliche Formulierung in den untersuchten Richtlinien gleich?

Dabei ist zu beachten, dass es sich bei Frage A um eine Kontextfrage handelt, die in dem Sinne keine direkte Antwort verlangt, sondern während der weiteren Bearbeitung und Regeländerung immer im Hintergrund bewusst mit berücksichtigt werden muss. Die Fragen B und C sind Entscheidungsfragen, welche mit ihrer Beantwortung praktisch einen Entscheidungsbaum bilden (vgl. Abbildung 9.6) und damit das weitere Vorgehen bestimmen [HÖPPNER 2011].

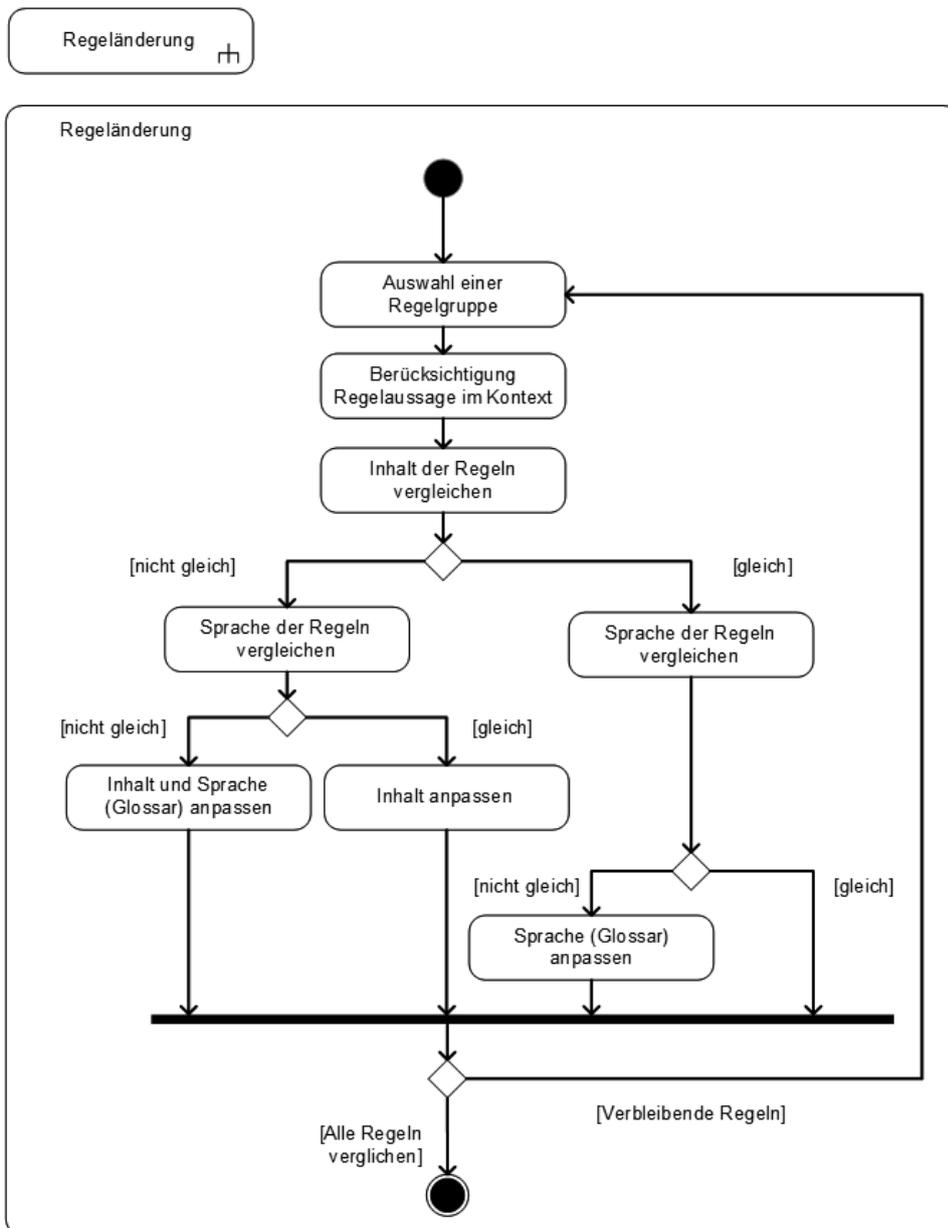


Abbildung 9.6 Schritt 4 Entscheidungsbaum für Vergleich und Regeländerung

Nachfolgend werden Besonderheiten, die in den vier Vorgehensvarianten zur Regeländerung auftreten können, näher beschrieben.

9.5.2 Keine Regeländerung

Die zu vergleichenden Regeln sind gleich, wenn der Inhalt und die sprachliche Formulierung unter Berücksichtigung des Kontextes der jeweiligen Richtlinie die gleiche Aussage beschreiben. Die inhaltliche Übereinstimmung wird dadurch festgestellt, dass die Anforderungen der Regeln gleich sind und übereinstimmende Gebote, Ver-

bote oder Empfehlungen formuliert werden. Ergänzende Hinweise und Erklärungen müssen nicht zwingend angepasst werden, solange dadurch nicht die Aussage einer Regel verändert wird.

Die sprachliche Formulierung ist dann gleich, wenn die Regeln von den Anwendern gleich verstanden werden. Dabei muss die wörtliche Abfassung nicht zwingend identisch sein. Zum Beispiel können unterschiedliche Formulierungen auch dann gleich sein, wenn Synonyme aus dem Basiswortschatz der verwendeten Sprache benutzt werden. Treten Abweichungen bei den angewandten Termini hinsichtlich Bezeichnung und Definition auf, dann ist die sprachliche Formulierung nicht mehr als gleich zu betrachten und benötigt eine Angleichung.

9.5.3 Sprachliche Formulierung anpassen

Die sprachliche Formulierung muss angepasst werden, wenn in den analysierten Richtlinien die gleichen Anforderungen gestellt werden, diese aber vom Leser unterschiedlich interpretiert werden könnten. Es gibt dabei folgende zwei sprachlichen Wortgruppen zu beachten: den Basiswortschatz und den Fachwortschatz.

Änderungen, welche nur den Basiswortschatz betreffen, sind unkritisch und können auch zwischen unterschiedlichen Sprachen relativ schnell vollzogen werden.

In Situationen, in denen der Fachwortschatz betroffen ist, muss mit besonderer Sorgfalt vorgegangen werden und es sind die für den Vergleich festgelegten Fachwörterbücher und Glossare zu berücksichtigen. Es können folgende drei Konstellationen eintreten:

1. Ein neuer Terminus wird einem Wörterbuch/ Glossar hinzugefügt.
2. Ein Terminus besteht in verschiedenen Wörterbüchern/ Glossaren mit abweichender Bezeichnung.
3. Ein bestehender Terminus hat eine abweichende Begriffsbestimmung.

Zu 1.

Ohne weitere Probleme sollte ein Terminus übernommen werden können, wenn dieser in der zu ändernden Richtlinie noch nicht verwendet wird. Er kann dem Glossar einfach hinzugefügt werden. Beim Vergleich fremdsprachiger Richtlinien

kann diese Übernahme des Terminus ebenfalls erfolgen. Hierbei kann entschieden werden, ob die Bezeichnung in der Fremdsprache verbleibt oder übersetzt wird.

Zu 2.

Wird in beiden Richtlinien der jeweils gleiche Terminus (mit eindeutig gleicher Definition) mit abweichender Bezeichnung verwendet, dann kann dieser zur Herstellung eines einheitlichen Verständnisses harmonisiert werden.

Zu 3.

In dieser Situation existiert ein Terminus in beiden Richtlinien, hat jedoch eine abweichende Begriffsbestimmung. Eine Änderung der Definition kann hier nicht ohne Weiteres vollzogen werden. Es ist möglich, dass der Begriff an einer anderen Stelle in einer Richtlinie unbemerkt Regeln ändert und damit die Widerspruchsfreiheit verloren geht. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Änderung in einem Fachwörterbuch auch Anpassungen in einem ganzen Regelwerk nach sich ziehen kann. Eine Veränderung ist dahingehend nur sehr vorsichtig zu vollziehen. Um den Arbeitsaufwand zu reduzieren, sollte ein Fachwörterbuch (oder Glossar) unabhängig von einem Richtlinienvergleich angepasst werden. Als Alternative könnten befristet Ersatzbegriffe als Platzhalter während einer Harmonisierung eingefügt werden, die nach Abschluss einer Richtlinienänderung wieder bereinigt werden [HÖPPNER 2011].

9.5.4 Inhalt anpassen

Bei der Änderung des Inhalts sind die Anforderungen der Regeln miteinander zu vergleichen. Hier muss entschieden werden, ob diese inhaltlich gleich sind oder abweichen. Folgende Situationen sind bei der Inhaltsanpassung möglich [HÖPPNER 2011]:

1. Nur die hierarchisch höhere Richtlinie hat eine Regel zu einem bestimmten Sachverhalt.
2. Nur die hierarchisch niedrigere Richtlinie hat eine Regel zu einem bestimmten Sachverhalt.
3. Beide Richtlinien haben Regeln zu einem bestimmten Sachverhalt.

Zu 1.

Wenn eine Regel nur in der hierarchisch höheren Richtlinie aufgeführt wird, dann kann diese ohne Weiteres in die niedrigere übernommen werden. Es muss dabei aber sicher gestellt werden, dass bei der Übernahme der Begriffe keine Änderung eines Glossars notwendig wird.

Zu 2.

Die Regel bleibt (unter Berücksichtigung des Kontextes) unverändert und hat keine Auswirkung auf die höhere Richtlinie.

Zu 3.

„Wenn in beiden Richtlinien ein bestimmter Sachverhalt behandelt wird, die Anforderungen aber jeweils unterschiedlich sind, dann sind diese entsprechend der vorgegebenen Hierarchie anzupassen. Dabei wird es unvermeidlich sein, die Syntax zu verändern. Das fällt jedoch nicht in den eigentlichen Bereich der sprachlichen Anpassung, sondern ist vielmehr eine Folge der Anforderungsänderung. Zum Beispiel kann ein Gebot in ein Verbot geändert werden. Infolgedessen ist dann in die Regel eine Verneinung einzubinden und bewirkt gewissermaßen auch eine sprachliche Anpassung. [...]

Wenn beide Richtlinien auf gleicher Hierarchiestufe stehen, dann muss in den Fällen 1 bis 3 einzeln entschieden werden, welche Inhalte geändert und wo übernommen werden. Hier empfiehlt sich oft Gremienarbeit, in denen die Vor- und Nachteile jeder einzelnen Änderung abgewogen werden können.

Allgemein ist zu beachten, dass bei Übernahme oder Änderung von Regeln der geographische und zeitliche Geltungsbereich der beiden Richtlinien beachtet wird. Sollten Regeln außerhalb dieser liegen, dann sollten sie vorerst nicht integriert werden. Es wird geraten, gegen Ende des Richtlinienvergleichs zu prüfen, ob Geltungsbereiche verändert werden oder die übrigen Regeln in einer anderen Richtlinie eingearbeitet werden.“¹⁸⁹

¹⁸⁹ Zitat aus [HÖPPNER 2011], Seite 24 - 25

9.6 Prüfung auf Vollständigkeit

Bei der Prüfung wird abschließend festgestellt, ob die Regeln richtig übernommen wurden und die bearbeitete Richtlinie weiterhin widerspruchsfrei ist. Es müssen alle Anforderungen richtig übernommen worden sein und die geänderte Richtlinie soll eindeutige Aussagen zulassen.

„Die Feststellung, dass Regeln richtig übernommen wurden, kann mittels Lesen beider Richtlinien und der zu Anfang geforderten Inhaltskenntnis der Bearbeiter erreicht werden. Für die Überprüfung der Widerspruchsfreiheit muss die geänderte Richtlinie durchgearbeitet werden. Hier muss das Vier-Augen-Prinzip angewendet werden. Das bedeutet, dass zur Prüfung mindestens eine Person mit Fachkenntnis, die nicht an der Richtlinienänderung beteiligt war, diese prüft und die Widerspruchsfreiheit bestätigt.“¹⁹⁰

Alle Bearbeitungsschritte werden abschließend in ein gemeinsames UML-Aktivitäten-diagramm integriert (Abbildung 9.7).

¹⁹⁰ Zitat aus [HÖPPNER 2011], Seite 26

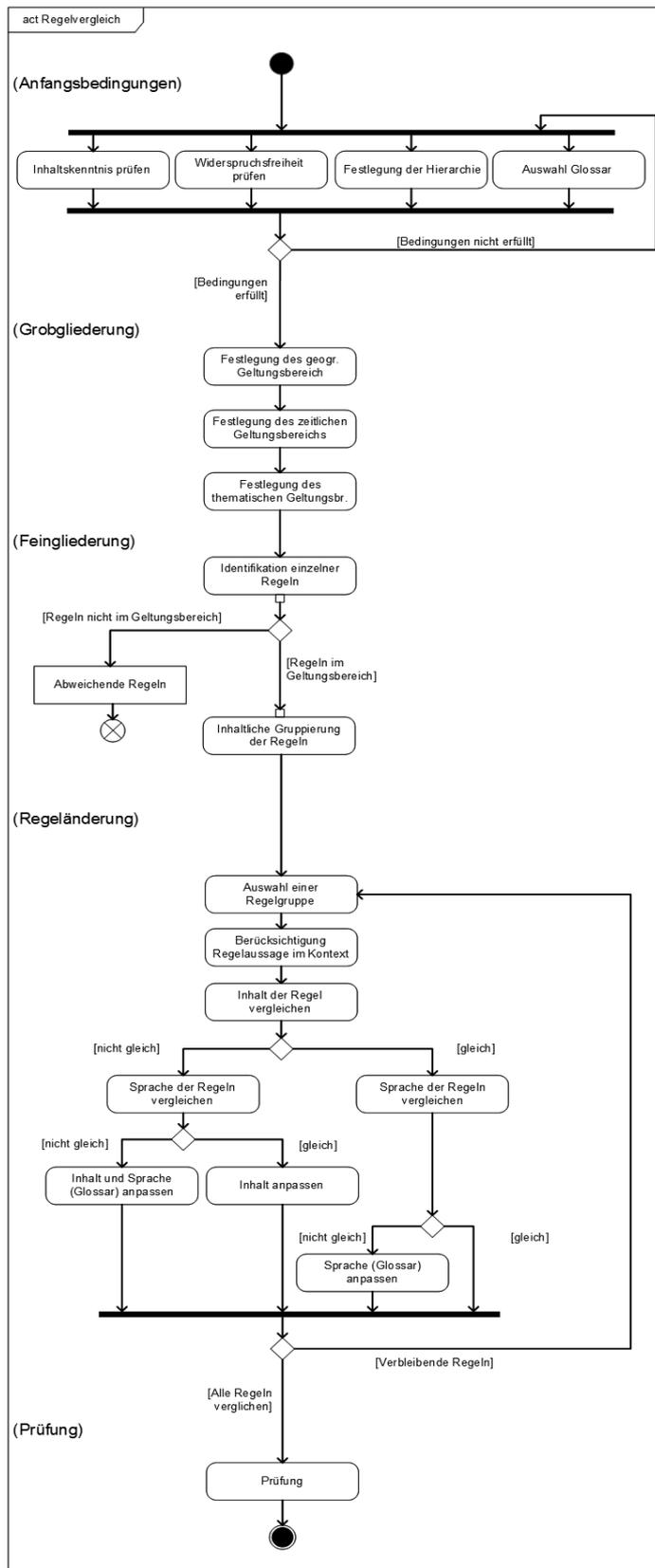


Abbildung 9.7 Gesamtübersicht Vergleichsmethodik Richtlinien

9.7 Beispiel für Vergleich und Regeländerung

Zum besseren Verständnis wird in diesem Kapitel ein Beispiel kurz beschrieben. Es werden die Signalisierungsregeln für das Zugende zwischen der TSI Betrieb [2011/314/EU] und der Schweizer FDV [FDV CH 2012] behandelt. Für das Beispiel werden die notwendigen Ergebnisse der ersten drei Hauptbearbeitungsschritt kurz zusammengestellt und anschließend der eigentliche Regelvergleich vollzogen.

Die TSI Betrieb ist im Zusammenhang mit den Bilateralen Verträgen auch für die Schweiz relevant (vgl. Kapitel 2.1.6.6). In der Hierarchie steht die TSI-Richtlinie über der FDV und es werden nur Regeln verglichen, welche sich auf das öffentliche, regelspurige Netz beziehen. Für die Bearbeitung werden die Glossare der beiden Richtlinien berücksichtigt.

Die in der Feingliederung einander zugeordneten Regeln für den Zugschluss werden nachfolgend zitiert.

Regelungen der TSI Betrieb:

„Reisezüge

Die Kennzeichnung des Zugchlusses von Reisezügen muss aus zwei Leuchten (Dauerlicht) bestehen, die auf einer Querachse in gleicher Höhe über Puffer angeordnet sind.

Güterzüge im internationalen Verkehr

Der Mitgliedstaat muss mitteilen, welche der folgenden Anforderungen auf seinem Netz für Züge gelten, die eine Grenze zwischen Mitgliedstaaten überschreiten. Entweder 2 rote Leuchten (Dauerlicht) oder 2 reflektierende Schilder folgender Form [siehe Abbildung 9.8 – Anmerkung des Verfassers] mit weißen Dreiecken seitlich und je einem roten Dreieck oben und unten. Die Leuchten oder Schilder müssen auf einer Querachse in gleicher Höhe über Puffer angeordnet sein. Mitgliedstaaten, die 2 reflektierende Schilder vorschreiben, müssen auch 2 rote Leuchten (Dauerlicht) als Kennzeichnung des Zugchlusses zulassen.“¹⁹¹

¹⁹¹ Zitat aus [2011/314/EU], Seite 19

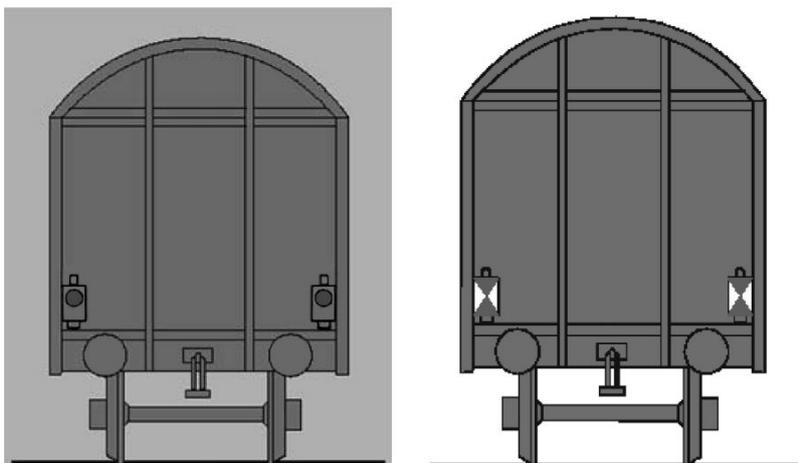


Abbildung 9.8 Zugschluss in TSI Betrieb [2011/314/EU]

Regelung der FDV Schweiz

„Das letzte Fahrzeug zeigt hinten unten ein rotes Licht oder ein rotes blinkendes Licht oder zwei rote Lichter oder eine rot-weiße Scheibe oder ein aufsteckbares un- beleuchtetes rot-weißes Zugschlussignal.“¹⁹²

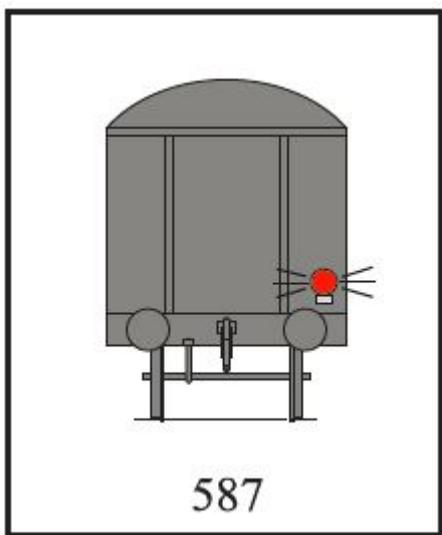


Abbildung 9.9 Beispiel Zugschluss in FDV Schweiz [FDV CH 2012]

Aus Gründen der verbesserten Übersicht werden die Anforderungen der jeweiligen Regeln extrahiert und in Tabelle 9.1 gegenübergestellt.

¹⁹² Zitat aus [FDV CH 2012], Seite 133

Tabelle 9.1 Anforderungen für Zugschlussignale

Kategorie	TSI Betrieb	FDV Schweiz
Art des Zuges	Reisezug	
	internationaler Güterzug	
		alle Züge
Anzahl Zeichen		1
	2	2
Farbe	rot	rot
		rot-weiß
Typ	Licht	Licht
	Formsignal	Zugschlussignal
		Scheibe
Art des Lichtes	permanent	permanent
		blinkend
	reflektierend	
		unbeleuchtet
Anordnung	gleiche Höhe	
	über Puffer	
		hinten unten
Summe Anforderungen	10	12

Die Gegenüberstellung der Anforderungen zeigt, dass bestimmte Eigenschaften in beiden Richtlinien gefordert werden, andere abweichend oder ergänzend sind. Es muss ergänzend festgehalten werden, dass in den nationalen Vorschriften zusätzliche Regeln erlaubt sind. Inwieweit die Regeln beider Richtlinien gleich sind und ob in der FDV Schweiz Änderungen vorgenommen werden sollten, wird nachfolgend mit der Beantwortung der drei grundlegenden Fragestellungen aus Kapitel 9.5.1.

In welchem Zusammenhang stehen die Regeln innerhalb ihrer Richtlinien und welche Aussagen treffen sie?

Die Regeln beider Richtlinien beschreiben die Anforderungen für die Kennzeichnung des Zuges. Sie können klar abgegrenzt werden und es bestehen keine Verweise

auf andere Regeln innerhalb der jeweiligen Richtlinie. Die Regelungen der FDV Schweiz können durch zusätzliche Anforderungen der EIU ergänzt werden [SBB 2012], stehen zu dieser jedoch nicht in Konkurrenz.

Ist der Inhalt der Regeln gleich?

Der Inhalt der Regeln ist in der verwendeten Formulierung nicht gleich, lässt allerdings eine gewisse Ähnlichkeit vermuten. Die TSI Betrieb unterscheidet zwischen den Signalen für Reisezüge und für internationale Güterzüge, während die FDV Schweiz keine Unterscheidung der Zugarten vorsieht. Weiterhin fordert die TSI, dass Zugschlussignale nebeneinander über Puffer angeordnet sein müssen, unterdessen die FDV Schweiz fordert, dass die Signale hinten unten angebracht sein müssen. Nach den Vorgaben der EU könnte somit das Zugschlussignal auch in Dachhöhe angebracht sein, das in der Schweiz jedoch nicht mehr als „unten“ angesehen werden dürfte.

Die Formulierung der Schweizer Zugschlussregel schließt die Anforderungen der TSI grundsätzlich mit ein, grenzt diese allerdings nicht eindeutig ab. Es besteht ein gewisser Überlappungsbereich der Anforderungen.

Würde man die Regeln angleichen, dann wäre eine exaktere Abgrenzung und Formulierung der Anforderungen der TSI Betrieb zu empfehlen, welche durch die zusätzlichen nationalen Signalisierungsmöglichkeiten ergänzt wird.

Ist die sprachliche Formulierung gleich?

Die sprachliche Formulierung in der TSI Betrieb besteht aus Wörtern des Basiswortschatzes und wird durch einzelne Fachausdrücke ergänzt. Die Fachausdrücke (Reisezug, Güterzug, Puffer, Zugschluss) werden im Glossar nicht beschrieben, sind in dieser Form jedoch selbsterklärend und beziehen sich auf Grundeigenschaften des Verkehrssystems. Zur Verdeutlichung der Aussagen werden Abbildungen von Zugschlussignalen verwendet [2011/314/EU].

Die Regelung der FDV Schweiz wird ebenfalls einfach formuliert und leicht verständlich. Als einziger Terminus wird „Zugschlussignal“ verwendet, welcher innerhalb der FDV nicht definiert wird oder in einer Abbildung dargestellt wird. Hier besteht eine Lücke in der Beschreibung und die Begriffsbestimmung erfolgt demzufolge über die betriebliche Ausbildung (vgl. Kapitel 3.2.3.1). Ein Schweizer Zugschlussignal ist eine rot-weiß diagonal gestreifte Tafel.



Abbildung 9.10 Rot-weiß gestreiftes Schweizer Zugschlussignal

Abschließend wird festgestellt, dass die Regelungen beider Richtlinien nicht eindeutig gleich sind, die Schweizer Beschreibung des Zugschlusssignals der TSI Betrieb jedoch nicht entgegensteht und eine bessere Abgrenzung der einzelnen Varianten erfolgen sollte. Für eine Angleichung könnte empfohlen werden, eine neue Formulierung zu wählen und die Begriffsbestimmung des Zugschlusssignals zu ergänzen. Eine zusätzliche Ausbildung des Betriebspersonals wäre nicht zwingend.

10 Testanwendung

10.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden verschiedene betriebliche Situationen untersucht, welche für die flexible Durchführung der Produktionsaufträge unerlässlich sind. Es soll weiterhin nachgeprüft werden, inwiefern der generische Betriebsprozess „Fahrt“ (vgl. Kapitel 7.8.5) auf andere Verhältnisse übertragbar ist, welche weiteren Prozessdiagramme ergänzt werden müssen und ob diese ebenfalls auf ausgewählte, nicht konventionelle Bahnsysteme übertragbar sind.

10.2 Herleitung generischer Betriebsprozesse für Rangierfahrten

10.2.1 Aufhebung der räumlichen Trennung

Die Ausführung des Prozesses „Fahrt“ erfordert bei Einhaltung der generischen Sicherungsfunktionen eine absolute räumliche Trennung der Zugfahrten. Dadurch ist es nicht möglich, gewöhnliche Abläufe zur Zugbildung, Vorgänge für die Be- und Entladung von Güterwagen oder andere Fahrten unter einfachen betrieblichen Verhältnissen durchzuführen. Unter bestimmten Randbedingungen müssen mehrere Fahrzeuge in einem gemeinsamen Fahrwegabschnitt zugelassen werden können. Befinden sich mehrere Fahrzeuge in einem Abschnitt, dann muss weiterhin sichergestellt sein, dass die Produktionsmittel und Transportgüter nicht gefährdet werden.

Nachfolgend wird die Eignung des Aktivitätendiagramms „Fahrt“ für Rangierfahrten überprüft. Dabei werden drei typische Abläufe des Bahnbetriebes in einer theoretisch realisierbaren Topologie nachvollzogen. Für die neuen Bewegungsarten werden eigene Prozessdiagramme entwickelt, welche auf den Erkenntnissen von Kapitel 7 basieren und möglichst allgemeingültig formuliert werden.

10.2.2 Herleitung der Begriffe Bahnhof und Rangierfahrt

Befinden sich mehrere Eisenbahnfahrzeuge in einem Fahrwegabschnitt, dann entspricht die Gleisbelegung nicht mehr dem gesamten Abschnitt, sondern der tatsächlichen Länge der Fahrzeuge (bzw. der Züge). Die Gleisbelegung verändert sich nicht

mehr sprunghaft durch die diskrete Belegung, sondern sie erfolgt kontinuierlich entsprechend des jeweiligen Bewegungsablaufes. Dadurch entstehen nicht vorhersehbare Situationen, in denen Gefährdungspunkte wandern können (bedingt durch andere Fahrzeugbewegungen) und theoretisch zufällig auftreten. Um Zusammenstöße zu vermeiden, muss der Bremsweg durch den Fahrer einsehbar sein und verkürzt werden. Weil auch weiterhin ein geringe Reibung besteht, muss als erste Bedingung die zulässige Geschwindigkeit herabgesetzt werden.

Werden mehrere Fahrzeugbewegungen in einem Fahrwegabschnitt (oder Gleis) zugelassen, dann ist in Ansätzen ein individuelles Verhalten der Fahrzeuge möglich. Die Gesetzmäßigkeit der Spurführung kann aber nicht aufgehoben werden, so dass in räumlich kurzer Distanz Weichen vorhanden sein müssen und Verbindungen zu anderen Gleisen bestehen. Als zweite Bedingung gilt demzufolge, dass langsame und auf Sicht verkehrende Fahrzeuge nur in Bereichen verkehren, in denen genügend Ausweichmöglichkeiten vorhanden sind. Topologien mit mehreren Gleisen und zahlreichen Weichen werden allgemein als Bahnhöfe bezeichnet.

Ein **Bahnhof** ist in Deutschland eine Bahnanlage mit „mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen. Als Grenze zwischen Bahnhöfen und der freien Strecke gelten im allgemeinen die Einfahrsignale [...]“¹⁹³ Die österreichischen¹⁹⁴ „Bahnhöfe sind Betriebsstellen, in denen Züge beginnen, enden, oder einander ausweichen können. Bahnhöfe werden von Einfahrsignalen oder Trapeztafeln begrenzt; bei örtlichen Schwierigkeiten legt N andere Grenzen fest (Betriebsstellenbeschreibung). [...]“, Zitat aus [FDV A 2012], § 2 (1), Seite 103 und schweizerischen¹⁹⁵ Definitionen sind dieser einerseits ähnlich, fordern andererseits jedoch nicht das Vorhandensein einer Weiche.

Es wird vorerst die deutsche Definition verwendet, so dass allgemein betrachtet ein Bahnhof eine Gleisanlage mit Weichen ist, die innerhalb definierter Grenzen liegen. Außerhalb eines Bahnhofes befinden sich Gleise der freien Strecke, welche im Re-

¹⁹³ Zitat aus [D EBO 2012], § 4, Absatz 2

¹⁹⁴ „Bahnhöfe sind Betriebsstellen, in denen Züge beginnen, enden, oder einander ausweichen können. Bahnhöfe werden von Einfahrsignalen oder Trapeztafeln begrenzt; bei örtlichen Schwierigkeiten legt N andere Grenzen fest (Betriebsstellenbeschreibung). [...]“, Zitat aus [FDV A 2012], § 2 (1), Seite 103

¹⁹⁵ Ein Bahnhof ist eine „Anlage innerhalb der Einfahrsignale, wo solche fehlen innerhalb der Einfahrweichen, zur Regelung des Zugverkehrs und der Rangierbewegungen, meistens mit Publikumsverkehr.“ Zitat aus [FDV CH 2012], Seite 33

gelfall keine Weichen besitzen. Die Gleise der freien Strecke haben ausschließlich die Funktion, Zügen einen Fahrweg zu einem anderen Bahnhof anzubieten.¹⁹⁶

Den Gleisen eines Bahnhofs können verschiedene Funktionen zugeordnet werden, denen diese vorrangig oder ausschließlich dienen. Gleise mit verkehrlichen Funktionen sind Bahnsteig- und Ladegleise. Gleise mit typischen betrieblichen Funktionen sind Durchfahrts-, Überholungs-, Wende- und Abstellgleise. Zwischen diesen Gleisen müssen Fahrten möglich sein, die keinen hohen technischen oder betrieblichen Aufwand erfordern und damit relativ schnell und einfach durchführbar sind. Diese Fahrten werden (meist) als Rangierfahrten¹⁹⁷ bezeichnet und dienen bspw. dem Bilden und Auflösen von Zügen sowie dem Zustellen oder Abholen von Wagen aus Lade- oder Abstellgleisen.

In Deutschland ist Rangieren „das Bewegen von Fahrzeugen im Bahnbetrieb, ausgenommen das Fahren der Züge. [...] Eine Rangierfahrt ist eine Fahrzeugbewegung beim Rangieren, bei der einzelne arbeitende Triebfahrzeuge oder eine Gruppe gekuppelter Fahrzeuge, von denen mindestens ein Fahrzeug ein arbeitendes Triebfahrzeug ist, bewegt werden.“¹⁹⁸

In der Schweiz werden unter Rangierbewegung „alle Fahrzeugbewegungen im Bahnhof, in Werkstätten, Depotalagen, Anschlussgleisen und auf der Strecke verstanden, die nicht als Zugfahrten ausgeführt werden können.“¹⁹⁹ Es wird weiterhin zwischen begleiteten und unbegleiteten Rangierfahrten unterschieden, welche mit Triebfahrzeugen stattfinden und entsprechend mit oder ohne Rangierpersonal durchgeführt werden [FDV CH 2012].

In Österreich werden vergleichbare Fahrten als Verschub bzw. Verschubfahrten bezeichnet. „Verschub sind – beabsichtigte – Fahrzeugbewegungen, die nicht zu den Zug-, Nebenfahrten zählen. [...] Beim Verschub wird grundsätzlich auf Sicht gefahren [...]. Die Geschwindigkeit muss je nach den Sichtverhältnissen so bemessen werden,

¹⁹⁶ An Gleisen der freien Strecke können sich Personenverkehrsschnittstellen (Bahnsteige/ Perrons von Haltepunkten/ Haltestellen) befinden, an denen Personenzüge kurz für den Fahrgastwechsel halten und anschließend weiterfahren. Dem Verfasser sind reguläre Ladestellen (ohne Weichen) in Gleisen der freien Strecke nicht bekannt und werden nicht weiter betrachtet.

¹⁹⁷ Vgl. Tabelle 8.4

¹⁹⁸ Zitat aus [FDV D 2012], Modul 408.0102, Seite 8

¹⁹⁹ Zitat aus [FDV CH 2012], Seite 40

dass vor Hindernissen (z. B. Schienenfahrzeugen, Signalen) angehalten werden kann.²⁰⁰

In dieser Arbeit wird für **Rangierfahrt** folgende Definition festgelegt: Eine Rangierfahrt ist eine Bewegung mit Eisenbahnfahrzeugen, deren Höchstgeschwindigkeit dadurch begrenzt wird, dass innerhalb der vom ersten Fahrzeug aus einsehbaren Distanz vor einem möglichen Gefahrenpunkt rechtzeitig angehalten werden kann. Rangierfahrten, welche in von Fdl überwachten Bereichen verkehren, benötigen die Erlaubnis des Fdl.

Allgemein betrachtet sind in Bahnhöfen Zug- und Rangierfahrten möglich, außerhalb auf der freien Strecke sind nur Zugfahrten zulässig. Weitere Bahnanlagen bzw. Topologien, welche aus Weichen und Gleisen kombiniert sind und in denen vorwiegend auf Sicht gefahren wird, werden an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt.

10.2.3 Beispielvorgänge im Bahnhof Iggswil

Es werden die folgenden typischen Verfahrensabläufe für Rangierfahrten untersucht:

1. Abstellung eines S-Bahn-Triebwagens
2. Verstärkung eines S-Bahnzuges mit einem zweiten Triebwagen
3. Bereitstellung eines Güterzuges

Diese Fahrten finden im Bahnhof Iggswil statt, der eine typische Topologie aufweist und kein reales Vorbild besitzt, jedoch Bestandteil der Simulationsumgebung im Eisenbahnbetriebslabors der ETH Zürich ist. Dieses Labor ist eine Aus- und Weiterbildungsanlage, die neben der Hochschulausbildung auch für die Berufsausbildung von Fahrdienstleitern der schweizerischen Eisenbahnen verwendet wird und typische Topologien beinhaltet [FRANK 2012].

²⁰⁰ Zitat aus [FDV A 2012], Seite 203

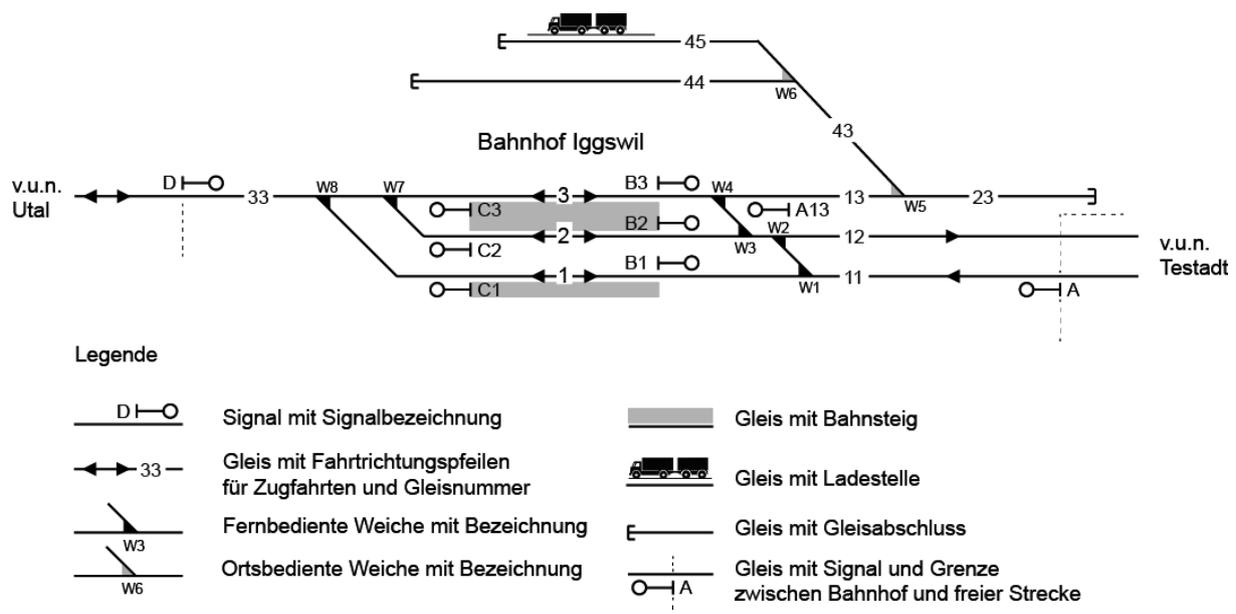


Abbildung 10.1 Topologie Bahnhof Iggsuil

Der Bahnhof Iggsuil liegt an der Strecke von Utal nach Teststadt. Der Streckenabschnitt von Utal ist eingleisig und ab Iggsuil weiter nach Teststadt zweigleisig. Die zweigleisige Strecke wird im Regelbetrieb in Fahrtrichtung auf dem linken Streckengleis befahren, entsprechend sind auch alle Signale in Fahrtrichtung links vom Gleis aufgestellt. Der Bahnhof wird von den Signalen A und D begrenzt. Die Signale werden von einem zuständigen Fdl für Iggsuil bedient und gelten für Zug- und Rangierfahrten. Zugfahrten sind auf den Bahnhofsgleisen 1 – 3, 11, 12 und 33 sowie auf den Streckengleisen zugelassen. Rangierfahrten dürfen auf allen Gleisen innerhalb des Bahnhofs verkehren.

Tabelle 10.1 Gleisnutzung Bahnhof Iggsuil

Gleis	Funktionen
1 – 3	Bahnsteiggleise; Nutzung als Ein-, Aus-, Durchfahrts-, Wende- und Überholungsgleise
13, 43	Verbindungsgleise
23	Auszieh- und Abstellgleis
44	Abstellgleis
45	Ladegleis mit Umlademöglichkeit zur Straße

Die Gleise 13 und 23 sowie 43 bis 45 bilden einen Rangierbereich, in dem nur Rangierfahrten zugelassen sind (vgl. Tabelle 10.1). Die Rangierfahrten dürfen sich in diesem Rangierbereich individuell bewegen und dessen Gleise werden nicht direkt

vom Fahrdienstleiter des Bahnhofs Iggswil überwacht (keine Gleisfreimeldung), so dass sich eine unbestimmte Anzahl Fahrzeuge in diesem Bereich befinden kann.

10.2.4 Beispielvorgang 1: Abstellung eines S-Bahn-Triebwagens

10.2.4.1 Allgemeine Vorgangsbeschreibung

Der Triebwagen fährt als Zugfahrt von Testadt in den Bahnhof ein und endet in Gleis 3. Von dort aus soll er als Rangierfahrt nach Gleis 44 fahren und abgestellt werden. Während des Prozesses finden keine anderen Zug- oder Rangierfahrten statt, es können sich aber abgestellte Fahrzeuge im Bahnhof befinden. Der Lokführer des Triebwagens ist ortskundig und kennt die Gleisanlagen des Bahnhofs Iggswil.

Nach Ankunft in Gleis 3 verlassen die Fahrgäste den Zug und der Lokführer wechselt den Führerstand (Fahrtrichtungswechsel). Anschließend wird der Zug für die Rangierfahrt vorbereitet und die Abfahrbereitschaft an den Fahrdienstleiter (Fdl) gemeldet. Daraufhin stellt der Fdl den Fahrweg von Gleis 3 nach 13 ein und erteilt dem Lokführer die Erlaubnis zur Rangierfahrt (z. B. mit einem geeigneten Signalbild an Signal B3). Als nächstes fährt der Lokführer den Triebwagen auf Sicht nach Gleis 13. Da der Lokführer Ortskenntnis besitzt, weiß er, dass er ab Gleis 13 selbständig weiterfahren darf und keine neue Erlaubnis vom Fdl benötigt.

Eine Erlaubnis zur Rangierfahrt aus Gleis 3 ist notwendig, weil sich der Triebwagen noch in einem Bereich befindet, in dem Zugfahrten zugelassen werden können, und die Weiche 4 liegt in der Zuständigkeit des Fdl. Die Fahrt nach Gleis 13 muss als Rangierfahrt erfolgen und darf nicht als Zugfahrt durchgeführt werden, weil das Ende des Fahrweges in einem nicht sicheren Bereich²⁰¹ liegt und dort bereits andere Fahrzeuge zu erwarten sind. Der Triebwagen wird bei dieser Fahrt gewissermaßen aus einem überwachten Bereich für Zugfahrten in einen nicht überwachten Rangierbereich entlassen. Hat der Triebwagen einen bestimmten Bereich geräumt (z. B. vollständige Vorbeifahrt an Signal A13), dann muss der Fdl die Rangierfahrt nicht mehr beobachten.

Der Lokführer wird bis Weiche 5 fahren, prüfen ob diese richtig steht, und weiter nach Gleis 23 vorrücken. Dort wird er einen Fahrtrichtungswechsel vollziehen, die Weiche 5 umstellen und nach Gleis 43 fahren. Vor Weiche 6 muss er wieder prüfen, wie deren Stellung ist, nötigenfalls anhalten und die Weiche richtig einstellen. Ist der

²⁰¹ Gleis 13 liegt im Rf-Bereich (Abbildung 10.2).

Triebwagen in Gleis 44 angekommen, kann der Lokführer das Fahrzeug abstellen und die Rangierfahrt ist an diesem Punkt beendet.

10.2.4.2 *Herleitung der UML-Aktivitätendiagramme für Rangierfahrten*

Das Aktivitätendiagramm „Fahrt“ setzt voraus, dass eine räumliche Trennung zwischen den Zugfahrten (Fahren im Raumabstand) besteht (vgl. Kapitel 7.8.5). Diese Anforderung kann aber nicht bis zum Fahrtende in Gleis 44 aufrecht erhalten werden, so dass eine Weiterentwicklung der Diagramme mit generischen Rangierprozessen erfolgt.

Im Bahnhof Iggswil bestehen zwei verschiedene Gleisbereiche: ein Bereich mit Zugfahrten und ein reiner Rangierbereich. Der Unterschied besteht darin, dass im Gleisbereich für Zugfahrten (Zf-Bereich) ein Fahrdienstleiter alle Fahrzeugbewegungen überwacht. Im Bereich für Rangierfahrten (Rf-Bereich) muss das Zugpersonal eigenständig die Befahrbarkeit überprüfen und somit sich selbst die Erlaubnis zur Fahrt erteilen.

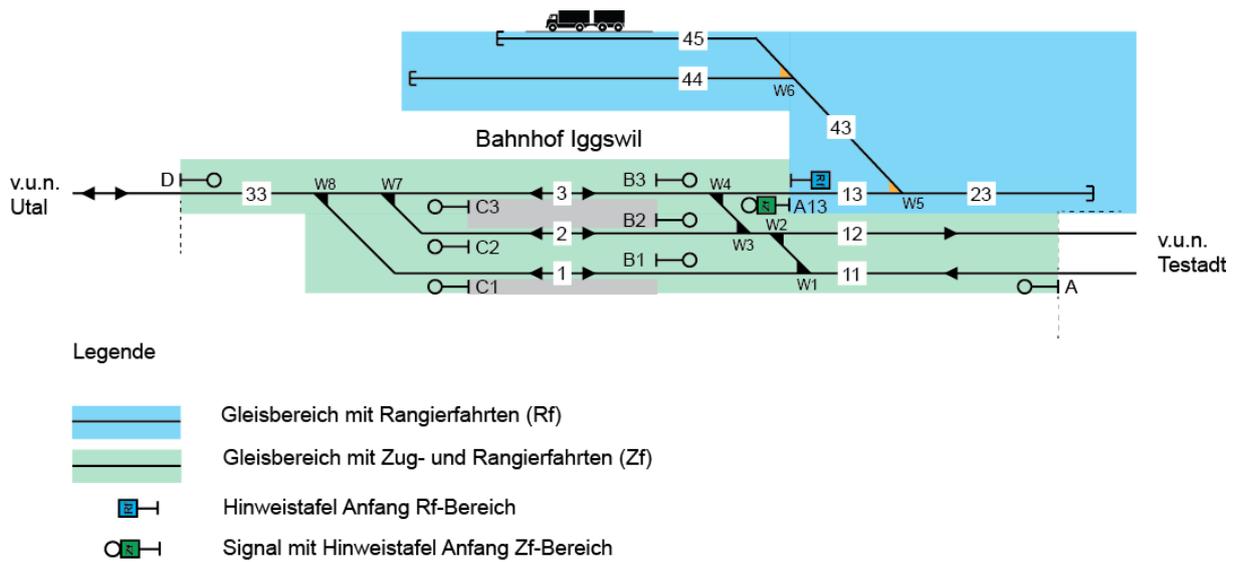


Abbildung 10.2 Unterteilung des Bahnhof Iggswil in Gleisbereiche

Je nach Gleisbereich muss entschieden werden, wer die Erlaubnis zur Fahrt erteilt. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit werden zwei Rangierprozesse beschrieben (Zf- und Rf-Bereich). Weiterhin wird ein Initialprozess benötigt, in dem geprüft wird, wer die Verantwortung für den Fahrweg hat und welcher Rangierprozess bei Beginn der Fahrt verwendet werden soll.

Im Beispielbahnhof Iggswil ist ein Wechsel zwischen den Gleisbereichen vorhanden (in Abbildung 10.2 mit Hinweistafeln gekennzeichnet), es kann jedoch der Fall auftreten, dass in großen Knotenbahnhöfen mehrere Übergänge zwischen Zf- und Rf-Bereichen vorhanden sind.

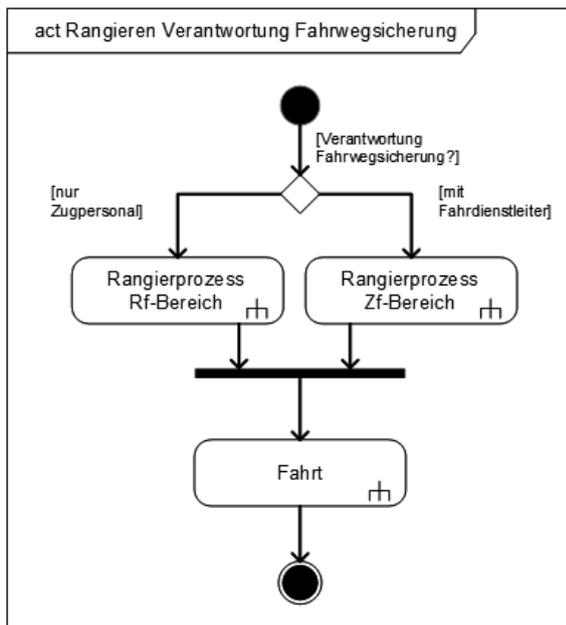


Abbildung 10.3 UML-Aktivitätendiagramm zur Prüfung der Verantwortung für die Fahrwegsicherung bei Rangierfahrten

Die Rangierfahrt beginnt in Gleis 3 und im Initialisierungsprozess (Abbildung 10.3) wird die Entscheidung für „Rangierprozess Zf-Bereich“ (vgl. Abbildung 10.4) getroffen. Das dazugehörige UML-Aktivitätendiagramm wurde aus dem vereinfachten Zugfahrt-Diagramm in Abbildung 7.54 heraus entwickelt und angepasst.

Nach Ankunft des Triebwagens in Iggswil endet der Prozess „Fahrt“. Anschließend meldet sich der Lokführer als Rangierfahrt im „Rangierprozess Zf-Bereich“ an. In der Zwischenzeit ist er kurzzeitig in den Prozess „Abstellung“ übergegangen (siehe Abbildung 10.34). Praktisch endet die Zugfahrt am Bahnsteig, der Lokführer wechselt die Fahrtrichtung und meldet sich beim Fdl als Rangierfahrt wieder an. Danach wird der Wunsch zur Fahrt nach Gleis 44 (via Gleis 13) geäußert (Aktivitäten „Anmeldung Rangierfahrt“ und „Fahrwegwunsch“). Der Fdl nimmt die Anmeldung zur Kenntnis und prüft den Fahrwegwunsch (Aktivitäten „Anmeldung bestätigen“ und „Fahrwegwunsch prüfen/ Disposition“). Diese ersten Aktivitäten müssen nicht zwingend als unmittelbare Kommunikation durchgeführt werden, wenn den Verantwortlichen des EVU und EIU diese Fahrt vorher bekannt ist und bereits eingeplant wurde. Ist diese Rangierfahrt außerplanmäßig oder treten Abweichungen vom Fahrplan auf, dann muss auf kommunikativem Weg auf beiden Seiten Klarheit über die Durchführung der Rangierfahrt geschaffen werden.

Ist die Fahrt möglich, dann wird vom Fdl ein Fahrweg von Gleis 3 bis zum Anfang des Rf-Bereiches eingestellt und eine Erlaubnis zur Rangierfahrt erteilt (z. B. optisch an Signal B3 oder mündlich per Funk). Anschließend beginnt der Triebwagen die Rangierfahrt. Am Standort der Signaltafel „Anfang Rf-Bereich“ wird dem Lokführer mitgeteilt, dass hier die Erlaubnis des Fdl endet, er aber selbstständig und auf eigene Verantwortung seine Rangierfahrt fortsetzen kann (Wechsel zur Aktivität „Rangierprozess Rf-Bereich“). Mit dem vollständigen Verlassen der Fahrzeugeinheit endet für den Fdl die Überwachungspflicht für diese Fahrt und er muss diese nicht weiter beobachten (Aktivität „Fahrweg freigeben“ und Ablaufende). Er ist ab hier nicht weiter an der Rangierfahrt beteiligt.

Der „Rangierprozess Rf-Bereich“ wurde aufbauend auf dem bestehenden UML-Diagramm aus Kapitel 7.6.5.5 (Abbildung 7.27) entwickelt und entsprechend ergänzt. Es wurde am ersten Entscheidungsknoten nach der Aktivität „Fahrt“ eine weitere Kante mit der Bezeichnung „Fahrtrichtungswechsel“ sowie eine Aktivität zum Wechsel in den „Rangierprozess Zf-Bereich“ eingefügt.

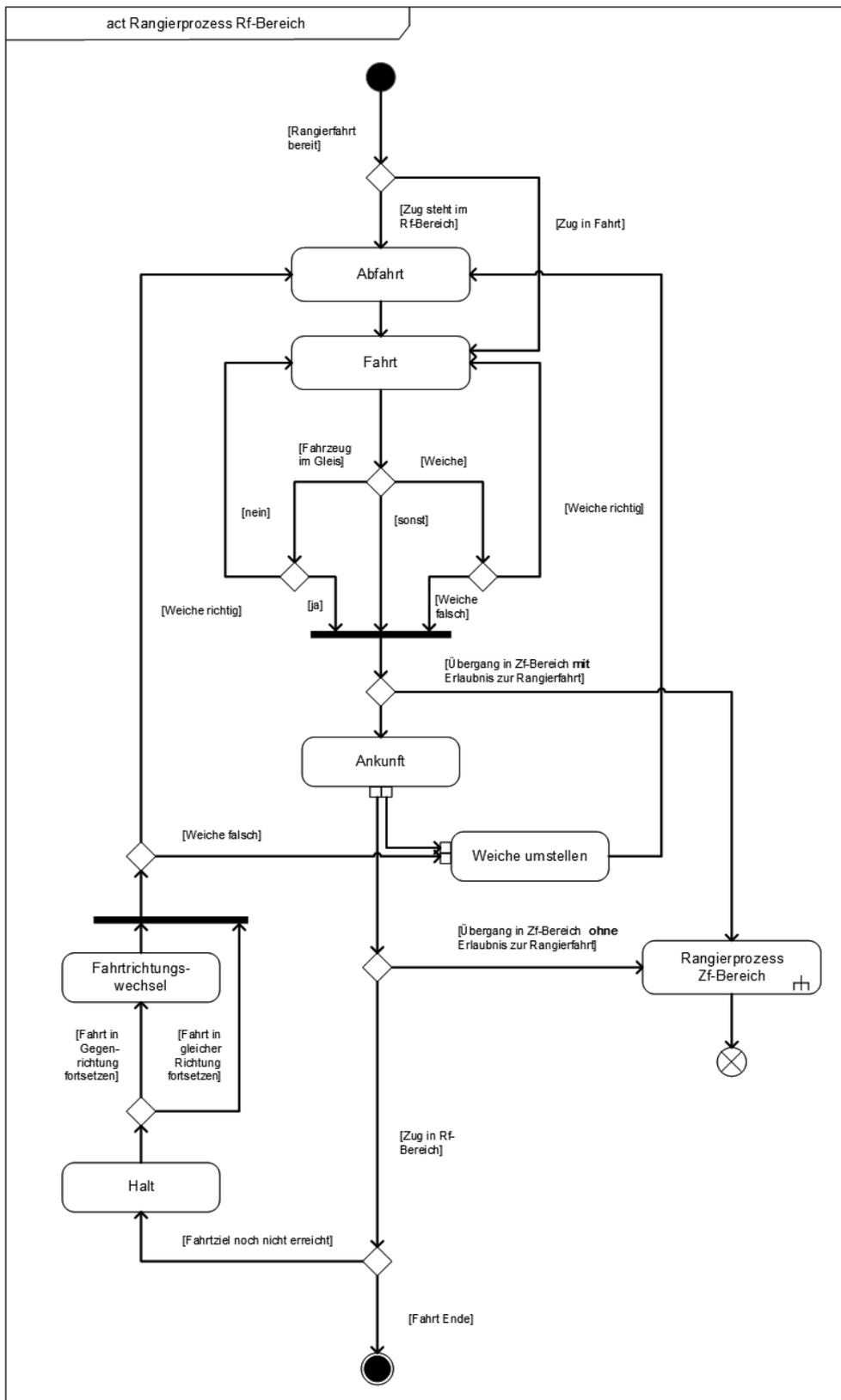


Abbildung 10.5 UML-Aktivitätendiagramm „Rangierprozess Rf-Bereich“

Die weitere Rangierfahrt bis zum Ziel in Gleis 44 wird mittels farbiger Ausschnitte aus dem Diagramm „Rangierprozess Rf-Bereich“ (Abbildung 10.5) erläutert. Bei der Fortsetzung der Fahrt ab der Signaltafel „Anfang Rf-Bereich“ muss via Gleis 13, Weiche 5 nach Gleis 23 gefahren werden. Es kann nach Beginn des Prozesses direkt zur Aktivität „Fahrt“ übergegangen werden und das Gleis sowie Weiche 5 (Annahme: Weiche 5 steht richtig) auf Befahrbarkeit überprüft werden (siehe Abbildung 10.6).

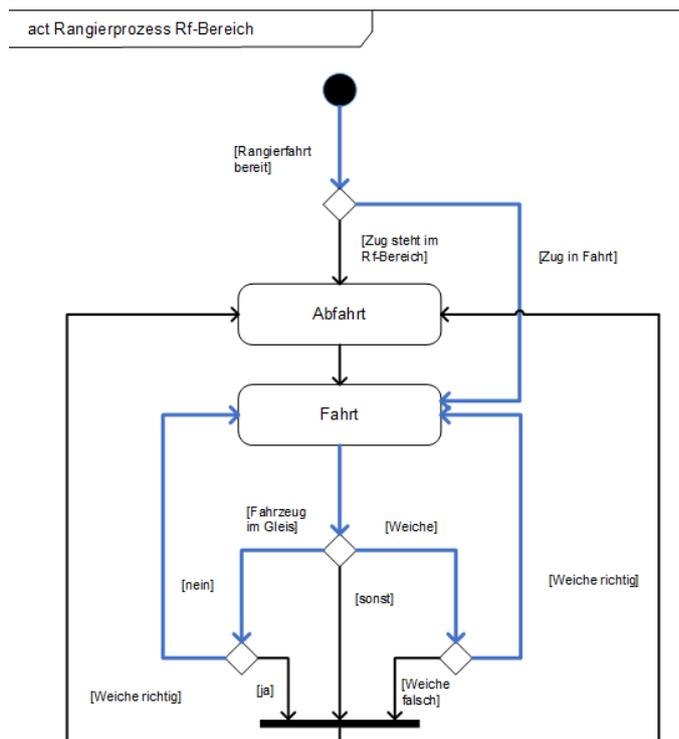


Abbildung 10.6 Rangierfahrt Triebwagen nach Gleis 23 (Ausschnitt UML-Diagramm)

Nachdem der Zug (Triebwagen) die Weiche 5 vollständig durchfahren hat, darf er stehen bleiben und einen Fahrtrichtungswechsel durchführen. Es ist nicht notwendig, dass das Gleis 23 bis zum Ende durchfahren wird. Nach Umstellen von Weiche 5 darf der Zug in Richtung Gleis 43 weiterfahren (siehe Abbildung 10.7).

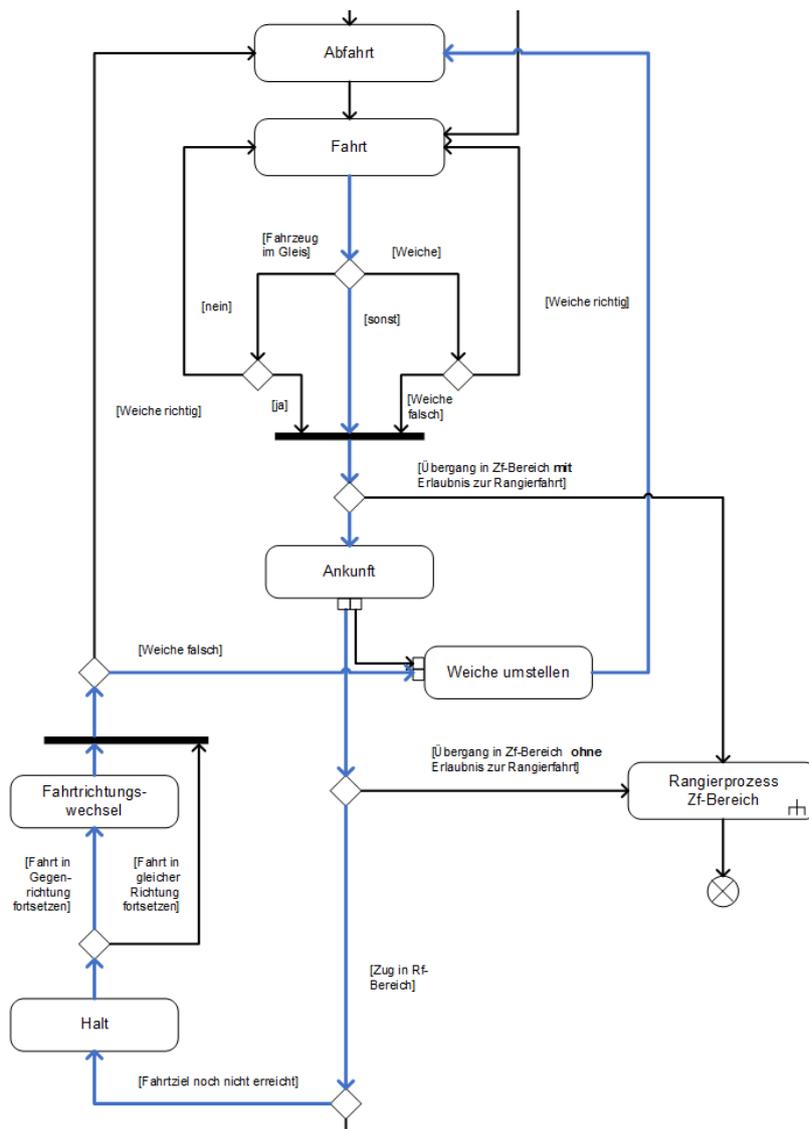


Abbildung 10.7 Fortsetzung Rangierfahrt Triebwagen von Gleis 23 nach Gleis 43 (Ausschnitt UML-Diagramm)

Sollte Weiche 6 bereits richtig stehen und sich bis Gleis 44 kein Fahrzeug im Gleis befinden, dann kann die Rangierfahrt ohne Behinderungen fortgesetzt und nach Ankunft in Gleis 44 beendet werden. Der Rangierprozess wird dann an dieser Stelle beendet (siehe Abbildung 10.8).

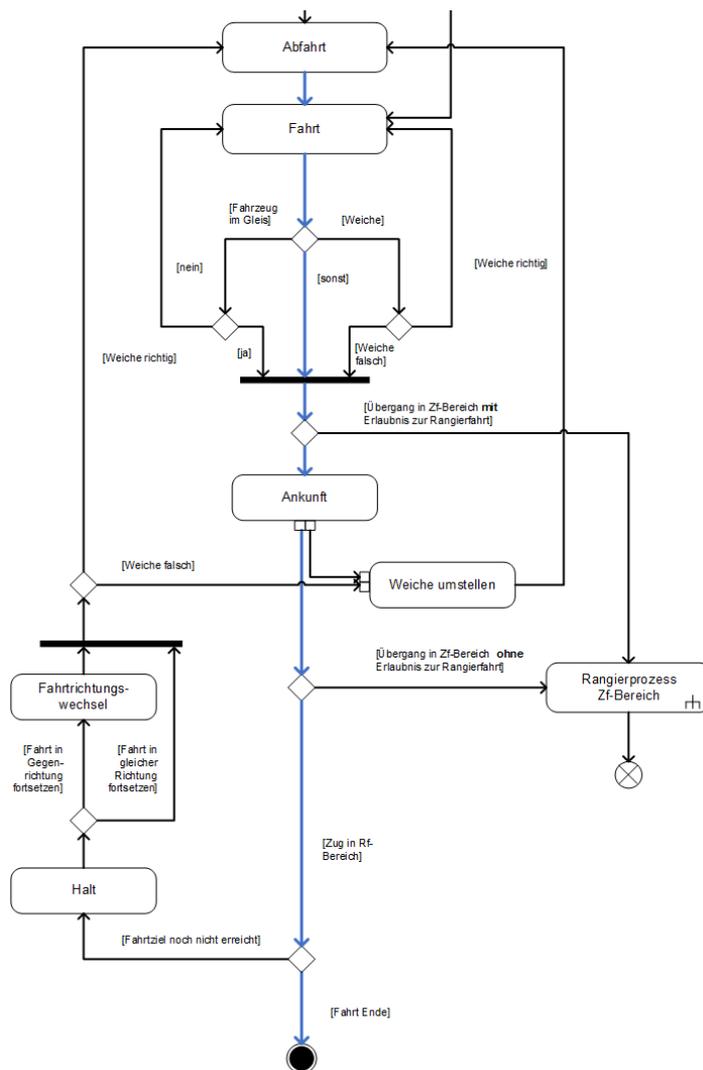


Abbildung 10.8 Abschluss Prozess Rangierfahrt Triebwagen nach Gleis 44 (Ausschnitt UML-Diagramm)

Weitere Aktivitäten zur Abstellung und Abrüstung des Fahrzeuges werden in diesem Prozess nicht dargestellt und in einem eigenen Prozess zusammengefasst (siehe Abbildung 10.34).

10.2.5 Beispielvorgang 2: Verstärkung S-Bahnzug

10.2.5.1 Allgemeiner Ablauf

Es soll im Bahnhof Iggswil die Rangierfahrt eines Triebwagens von Gleis 44 über Gleis 23 (mit Fahrtrichtungswechsel) nach Gleis 3 erfolgen. In Gleis 3 wird der Triebwagen mit einem anderen Triebwagen zusammengekuppelt und als S-Bahnzug

nach Teststadt weiterfahren. Bei Beginn der Rangierfahrt ist der zweite Triebwagen noch als Zugfahrt von Teststadt nach Iggswil unterwegs.

10.2.5.2 Prozessverlauf

Triebwagen 1 steht abfahrbereit in Gleis 44. Entsprechend des Diagramms „Rangieren Verantwortung Fahrwegsicherung“ (Abbildung 10.3) beginnt die Fahrt als „Rangierprozess Rf-Bereich“. Die Rangierfahrt findet in umgekehrter Reihenfolge analog zum Beispiel in Kapitel 10.2.4 statt. Sobald der Triebwagen das Signal A13 erreicht, muss der Zug die Erlaubnis zur Rangierfahrt nach Gleis 3 vom Fdl entgegennehmen. Dem Fdl ist die Rangierfahrt aus dem Fahrplan bekannt, so dass der Triebwagen selbstständig bei Einfahrt in den Zf-Bereich den Prozess wechselt.

Unter der Annahme, dass der zweite Triebwagen noch nicht im Bahnhof Iggswil eingetroffen ist, wartet Triebwagen 1 vor Signal A13. Nach Ankunft von Triebwagen 2 gibt der Fdl den Fahrweg von Signal A nach Gleis 3 wieder frei und kann einen Fahrweg von Signal A13 nach Gleis 3 einstellen. Anschließend erteilt der Fdl die Erlaubnis zur Rangierfahrt für Triebwagen 1. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich Triebwagen 1 im „Rangierprozess Zf-Bereich“ und Triebwagen 2 im Prozess „Fahrt“. Triebwagen 2 besitzt allerdings keine Erlaubnis zur Weiterfahrt, so dass er halten muss. Triebwagen 1 darf vorsichtig nach Gleis 3 an den Triebwagen 2 heranzufahren, weil dieser Zug als Rangierfahrt in ein besetztes Gleis fährt und die zulässige Geschwindigkeit entsprechend niedrig ist.

Sobald Triebwagen 1 den zweiten Triebwagen erreicht hat, kann dieser sich als Rangierfahrt abmelden und beide Fahrzeuge können als Zugfahrt in Richtung Iggswil vorbereitet werden. Nach Abschluss dieser Aktivitäten sind Triebwagen 1 und 2 als ein Zug abfahrbereit und es kann weiter nach Prozess „Fahrt“ verfahren werden.

10.2.5.3 Anpassung der UML-Diagramme

Für den Rangiervorgang konnten die UML-Aktivitätendiagramme „Rangierprozess Zf-Bereich“ und „Rangierprozess Rf-Bereich“ unverändert übernommen werden. Die Rangierfahrt kann im Anhang A 3 in Einzelschritten an Hand der farbig markierten Kontrollflüsse in den Diagrammen nachvollzogen werden.

10.2.6 Beispielvorgang 3: Bereitstellung eines Güterzuges

10.2.6.1 *Allgemeiner Ablauf*

In Gleis 45 des Bahnhofs Iggswil steht eine Lokomotive mit 12 fertig beladenen Güterwagen. Die Wagen sollen nach Gleis 3 gefahren werden und von dort aus als Zug in Richtung Utal verkehren. Für das Rangiermanöver stehen ein Lokführer und ein Rangierer zur Verfügung.

10.2.6.2 *Prozessverlauf*

Die Rangierfahrt beginnt in Gleis 45 und die Lokomotive zieht die Wagen über Weiche 6, Gleis 43, Weiche 5 nach Gleis 23. Dabei müssen die beiden Weichen vor der Überfahrt vom Rangierer umgestellt werden, da diese von einer vorher durchgeführten anderen Rangierfahrt noch falsch stehen. Anschließend zieht die Lokomotive die Wagen nach Gleis 23, während der Rangierer bis zur Weiche 5 nebenher läuft.

Nach Ankunft in Gleis 23 muss ein Fahrtrichtungswechsel vollzogen werden und die Weiche 5 wird erneut umgestellt. Danach schiebt die Lokomotive die Wagen über Gleis 13 nach Gleis 3. Da der Lokführer beim Schieben der Wagen die Zugspitze nicht einsehen kann, steht auf dem ersten Wagen der Rangierer und beobachtet das Gleis. Beide Mitarbeiter des Zuges stehen permanent in Funk- oder Sichtkontakt.

Sobald die Zugspitze das Signal A13 erreicht, wechselt der Zug in den „Rangierprozess Zf-Bereich“. Ab diesem Punkt darf nur noch mit der Erlaubnis des Fdl weiter gefahren werden. Die Rangierfahrt erreicht vorzeitig die Grenze zum Zf-Bereich, hält vor Signal A13 und meldet sich beim Fdl. Nach dem Erteilen der Erlaubnis zur Rangierfahrt wird der Zug weiter nach Gleis 3 geschoben.

Nach Ankunft in Gleis 3 wird die Lokomotive von den Wagen getrennt und muss an das andere Zugende umsetzen. Die Umsetzfahrt erfolgt über Gleis 2 und wird permanent vom Fdl überwacht. Der Rangierprozess endet mit dem Ankuppeln der Lokomotive am Zugende Richtung Utal (Ausfahrt ab Signal C3).

10.2.6.3 *Anpassung der UML-Diagramme*

Für diesen Rangiervorgang konnten die in Kapitel 10.2.4 entwickelten Prozessbeschreibungen unverändert übernommen werden. Der Vorgang kann detailliert im Anhang A 3 in Einzelschritten nachvollzogen werden.

10.2.7 Prozessübergang

10.2.7.1 Prozessübergang bei Wechsel zwischen Zf- und Rf-Bereich

Beim Wechsel zwischen einem Zf- und einem Rf-Bereich bestehen Unterschiede hinsichtlich der Fahrtrichtung. Diese werden in diesem Abschnitt kurz erläutert.

Soll eine Rangierfahrt von einem Rf-Bereich in einen Zf-Bereich erfolgen, dann kann der Zug vor Einfahrt in den Zf-Bereich anhalten oder weiterfahren. Der Zug muss anhalten, wenn er sich dem Fdl noch ankündigen (Anmeldung Rangierfahrt und Fahrwegwunsch im „Rangierprozess Zf-Bereich“) muss. Nach Annahme durch den Fdl und Erteilung der Erlaubnis zur Rangierfahrt darf der Zug weiterfahren und verhält sich entsprechend des Prozesses „Rangierprozess Zf-Bereich“.

Hat sich die Rangierfahrt frühzeitig für eine Einfahrt in den Zf-Bereich beim Fdl gemeldet oder ist diese durch einen Fahrplan bekannt, dann kann der Fahrweg rechtzeitig eingestellt und die Erlaubnis zur Einfahrt in den Zf-Bereich erteilt werden. Der Zug muss dann nicht vor dem Zf-Bereich anhalten, wenn ihm die Erlaubnis rechtzeitig signalisiert wird.

Fährt eine Rangierfahrt von einem Zf-Bereich in einen Rf-Bereich, dann erfolgt dies immer fahrend. Würde der Zug vor dem Rf-Bereich anhalten, dann befände er sich noch vollständig im Zf-Bereich und damit in der Überwachung des Fdl. Eine Erlaubnis zur Einfahrt kann aber vom Fdl nicht erteilt werden, weil er den Rf-Bereich nicht überwacht und deshalb keine sicheren Angaben zur Gleisbelegung und Fahrwegeinstellung machen kann. Der Fdl wird demzufolge auch keine Erlaubnis für die Weiterfahrt erteilen können. Mit der Signaltafel „Anfang Rf-Bereich“ wird dem Zugpersonal (Lokführer) mitgeteilt, dass er ab diesem Punkt sich selbst die Erlaubnis zur Weiterfahrt erteilen muss.

Bei der Einfahrt in einen Rf-Bereich muss das Zugpersonal ab der Bereichsgrenze auf andere Fahrzeuge im Gleis achten. Deshalb muss bereits im Zf-Bereich so vorausschauend gefahren werden, dass Gefahrenpunkte erkannt und vor diesen rechtzeitig angehalten werden kann. Der „Rangierprozess Rf-Bereich“ beginnt praktisch schon vor dem Rf-Bereich und der „Rangierprozess Zf-Bereich“ endet mit dem vollständigen Verlassen des Zf-Bereichs.

Beim Überfahren einer Grenze zwischen Rf- und Zf-Bereich ist eine Rangierfahrt theoretisch für kurze Zeit in beiden Rangierprozessen aktiv. Unter der Annahme,

dass die Spitze des fahrenden Rangierverbandes entscheidend ist, wird der gesamte Zug dem jeweils aktuellen Prozess zugeordnet. Eine Ausnahme besteht, wenn ein Zug auf der Grenze zwischen Zf-Bereich und Rf-Bereich stehen bleibt. In diesem Fall sind praktisch beide Rangierprozesse aktiv. Je nachdem, wo sich das Zugende (bzw. der Zugteil) befindet, ist auch der entsprechende Prozess gültig.

10.2.7.2 *Prozessübergang innerhalb eines Zf- oder Rf-Bereiches*

Innerhalb eines Zf-Bereiches kann zwischen den Prozessen „Fahrt“ und „Rangierprozess Zf-Bereich“ gewechselt werden. Dieser Übergang kann theoretisch in jedem Gleis innerhalb eines Bahnhofes erfolgen, in dem normale Zugfahrten zugelassen sind. Sind in großen Bahnhöfen mehrere Fdl tätig und entsprechend viele Zf-Bereiche vorhanden, dann erfolgt kein Prozessübergang beim Wechsel der Bereiche. Eine Rangierfahrt verbleibt im „Rangierprozess Zf-Bereich“, es wird lediglich der örtlich zuständige Fdl gewechselt.

Innerhalb eines Rf-Bereiches können nur Fahrten im „Rangierprozess Rf-Bereich“ erfolgen und die Züge fahren eigenverantwortlich bzw. kommunizieren untereinander. Ein Rf-Bereich kann nur an einen Zf-Bereich angrenzen, ein Wechsel zwischen verschiedenen Rf-Bereichen ist nicht möglich.

10.2.8 Zusammenfassung Rangierprozesse

Rangierprozesse sollen besondere Fahrten unter vereinfachten Bedingungen erlauben. Hierbei müssen die Züge teilweise oder vollständig Aufgaben der Fahrwegssicherung übernehmen (mindestens das zusätzliche Prüfen der Gleise hinsichtlich anderer Fahrzeuge). Der Einbezug von Sicherungsfunktionen sowie die Wechsel zwischen den Gleisbereichen erfordern zusätzliche Knoten und Kanten, so dass die Modellierung dieser Abläufe komplexere Diagramme ergibt.

Die Kommunikation zwischen den aktiven Rangierfahrten als auch dem Fdl wurde nicht gesondert abgebildet. Sie muss aber grundsätzlich in jeder Situation möglich sein, um eventuelle Änderungen im abgestimmten Fahrtverlauf zu koordinieren oder in Gefahrensituationen sofort zu warnen. Die Anforderung zur ständigen Kommunikation zwischen den Beteiligten wird in Abbildung 10.35 allgemein dargestellt und vorerst nicht näher vertieft. Hierbei ist auch die lokale Gestaltung der Bahnhöfe und LST-Anlagen mit einzubeziehen, welche dann nicht mehr eindeutig generisch zu be-

schreiben sind. Zum Beispiel müsste zwischen verschiedenen Fahrdienstleitern unterschieden werden, je nach Ort und Art des dazugehörigen Stellwerks.

Es kann abschließend festgehalten werden, dass die für Rangierfahrten generierten Aktivitätendiagramme in den Beispielsituationen unverändert verwendet werden konnten. Es wird angenommen, dass bei einem generischen Test in anderen Topologien von TSI-Bahnen ebenfalls keine Anpassungen der Prozessdiagramme vorgenommen werden müssen.

10.3 Zugbildung

10.3.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden zwei typische Abläufe des Bahnbetriebes untersucht und die bisherigen UML-Aktivitätendiagramme auf notwendige Änderungen hin überprüft. Es werden Vorgänge zur Vereinigung zweier Züge und das Trennen eines Zuges untersucht, welche innerhalb eines Zuglaufes auf einem Unterwegsbahnhof stattfinden.

Die Beispiele werden im fiktiven Trennungsbahnhof „Ypslikon“ nachvollzogen (vgl. Abbildung 10.9). Der Bahnhof ist nach schweizerischen Grundsätzen gestaltet und sicherungstechnisch mit einem Relaisstellwerk ausgestattet. Zugfahrten sind auf allen Gleisen zugelassen, Rangierfahrten nur innerhalb der Bahnhofsgrenzen (Zf-Bereich).

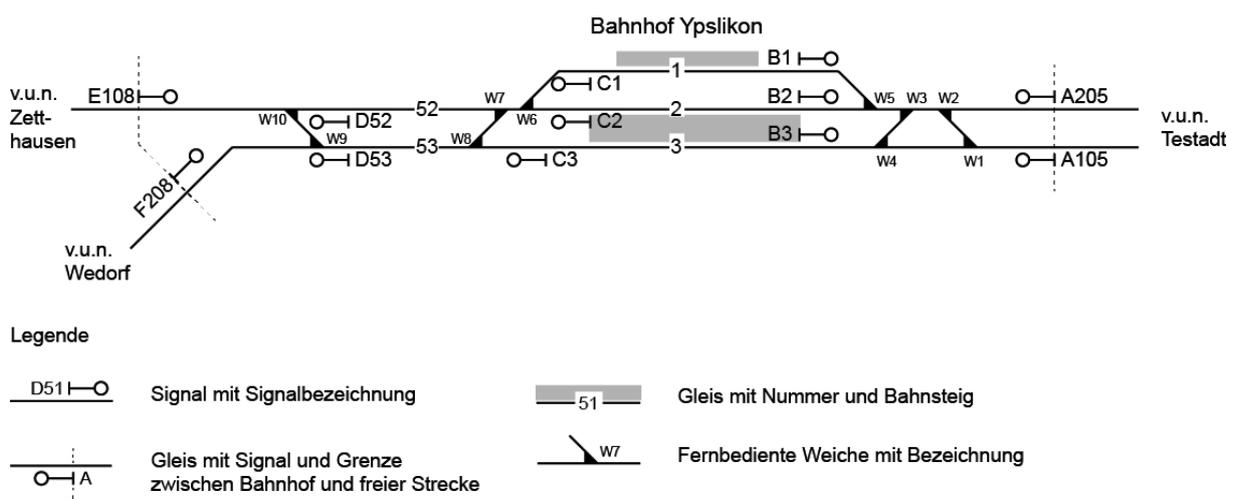


Abbildung 10.9 Topologie Bahnhof Ypslikon

10.3.2 Zugvereinigung

10.3.2.1 Allgemeiner Ablauf

Es verkehrt jeweils ein Zug von Zetthausen und ein Zug von Wedorf nach Ypslikon und werden dort zu einem Zug vereinigt. Der neue Zug fährt anschließend weiter in Richtung Teststadt. Beide Züge bestehen je aus einem Triebwagen und verkehren als Personenzüge.

10.3.2.2 Prozessverlauf

Der Fdl stellt zuerst eine reguläre Einfahrt für Zug 1 von Zetthausen ein. Dabei wird eine Fahrstraße von Signal E108 über Gleis 52 nach Gleis 2 eingestellt (Fahrerlaubnisende an Signal B2). Gleichzeitig nähert sich Zug 2 aus Richtung Wedorf, muss jedoch vor Signal F208 warten, solange die Einfahrstraße für Zug 1 noch aktiv ist.

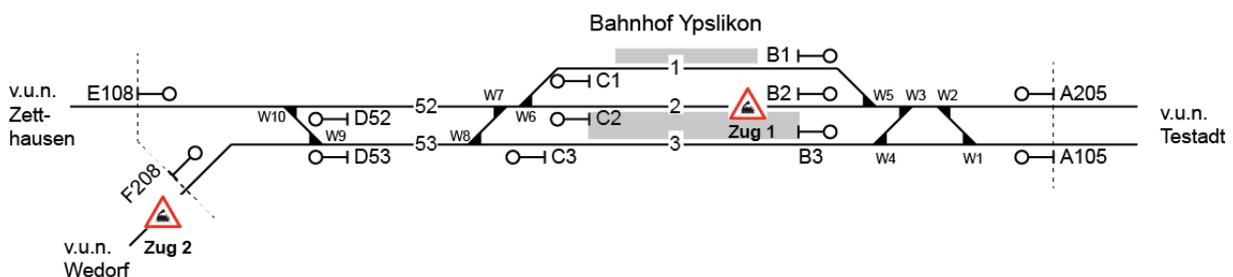


Abbildung 10.10 Zugvereinigung: Zug 2 wartet auf Weiterfahrt nach Gleis 2

Die Einfahrt nach Gleis 2 erfolgt für Zug 1 als Prozess „Fahrt“. Dieser Zug steht nach Ankunft am Bahnsteig und führt die Aktivität „Zughalt“ aus. Für Zug 2 kann keine reguläre Fahrstraße von Signal F208 nach Gleis 2 eingestellt werden, denn das Erlaubnisende wäre am Signal B2 und dort steht bereits Zug 1 und belegt Gleis 2.

Damit Zug 2 nachfahren kann, muss ihm mitgeteilt werden, dass er vorsichtig in den Bahnhof einfahren darf und andere Fahrzeuge im Gleis zu erwarten sind. Zug 2 muss bis an das Ende von Zug 1 heranhelfen, es ist aber nicht exakt bekannt, an welcher Stelle sich der Zugschluss von Zug 1 befindet. Der Zugschluss (Gefahrpunkt) kann wegen Halteungenauigkeiten oder einer abweichenden Zuglänge²⁰² früher oder später zu erwarten sein. Zug 2 muss demzufolge auf Sicht an Zug 1 heranhelfen, so dass er innerhalb des einsehbaren Bremsweges sicher anhalten kann. Die Art und

²⁰² Zug 1 könnte abweichend vom regulären, täglichen Fahrplan mit zusätzlichen Triebwagen verkehren.

Weise des Fahrens entspricht somit einer Rangierfahrt und erfolgt mit relativ niedriger Geschwindigkeit.

Es ist für Zug 2 eindeutig ein Punkt zu definieren, ab dem der Lokführer in die Sicherung des Fahrweges eingebunden wird. Im Beispiel wird am Einfahrsignal F208 vom Prozess „Fahrt“ in den „Rangierprozess Zf-Bereich“ übergegangen (siehe Abbildung 10.11). Zug 2 wechselt nach Halt am Signal F208 in eine Rangierfahrt und der Fdl stellt einen Rangierfahrweg über Gleis 53, Weiche 8 und Weiche 6 nach Gleis 2 ein. Anschließend wird die Erlaubnis zur Rangierfahrt erteilt. Das kann mit Hilfe eines besonderen Signalbegriffes erfolgen oder auch als mündliche Anordnung per Funk. Es ist wichtig, dass dem Lokführer klar mitgeteilt wird, dass er vorsichtig fahren und rechtzeitig vor dem zu erwartenden Gefahrpunkt anhalten muss.

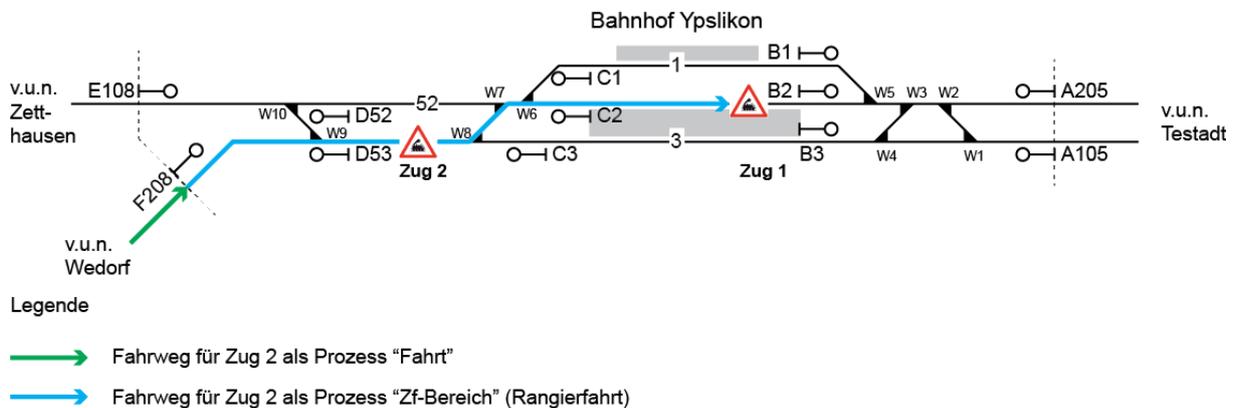


Abbildung 10.11 Weiterfahrt Zug 2 als Rangierfahrt

Wenn Zug 2 als Rangierfahrt in Gleis 2 angekommen ist und direkt hinter Zug 1 steht (Aktivität „Rangierhalt“), dann können beide Triebwagen zusammengekuppelt werden. Ist die Zugbildung abgeschlossen, dann kann die Fahrt gemeinsam fortgesetzt werden (vgl. Abbildung 10.12). Der „verantwortliche“ Zug ist ab jetzt der führende Zug 1.

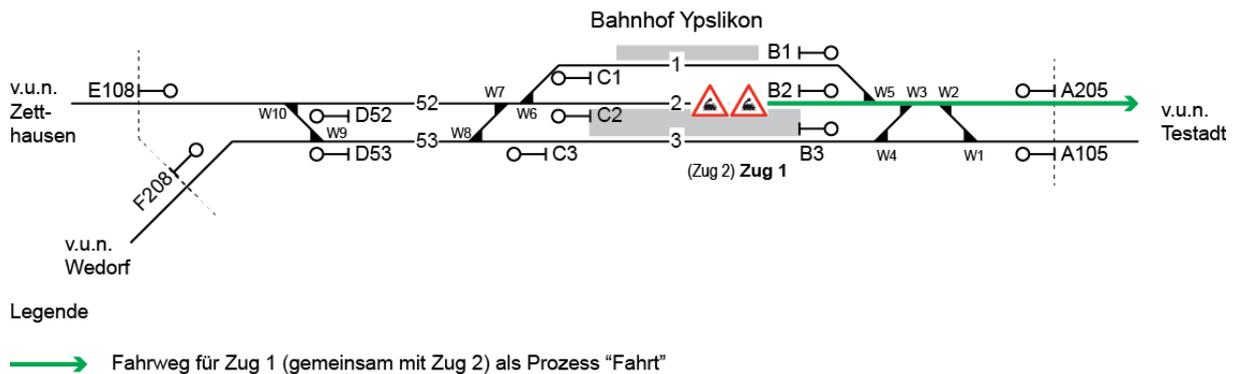


Abbildung 10.12 Fortsetzung der Zugfahrt nach Vereinigung beider Züge

10.3.2.3 Fazit

Der erste Zug kann durchgehend im Prozess „Fahrt“ verbleiben und ändert während der Aktivität „Zughalt“ nur seine Fahrzeugreihung. Zug 2 hingegen darf nur bis zu einem definierten Punkt (Signal F208) im Prozess „Fahrt“ verkehren. Anschließend wechselt Zug 2 in den Rangierprozess „Zf-Bereich“ und setzt seine Fahrt bis an den Zugschluss von Zug 1 fort (Prozessende mit Aktivität „Rangierhalt“). Die Weiterfahrt nach Teststadt erfolgt für Zug 2 passiv hinter Zug 1. Für den Prozessverlauf können die bestehenden Zug- und Rangierfahrtprozesse unverändert übernommen werden und es bedarf keiner besonderen Zusatzbestimmungen.

10.3.2.4 Optimierungsvorschlag

Im Bahnhof Ypslikon stellen die Signale C1 bis C3 Zwischensignale dar und die eigentlichen Ausfahrtsignale sind die Signale D52 und D53. Es ist anzunehmen, dass der Bahnhof eine relativ große Ausdehnung hat und die Distanz für Zug 2 ab Signal F208 bis Zug 1 verhältnismäßig weit ist. Das Zurücklegen dieser Strecke erfolgt als Rangierfahrt mit niedriger Geschwindigkeit, so dass die Gesamtfahrtzeit für beide Züge unattraktiv lang wird.²⁰³ Es bietet sich an, in Richtung Teststadt ebenfalls ein Zwischensignal aufzustellen um dadurch eine Verkürzung der Reisezeit zu erreichen.

²⁰³ Zug 1 muss auf Zug 2 warten.

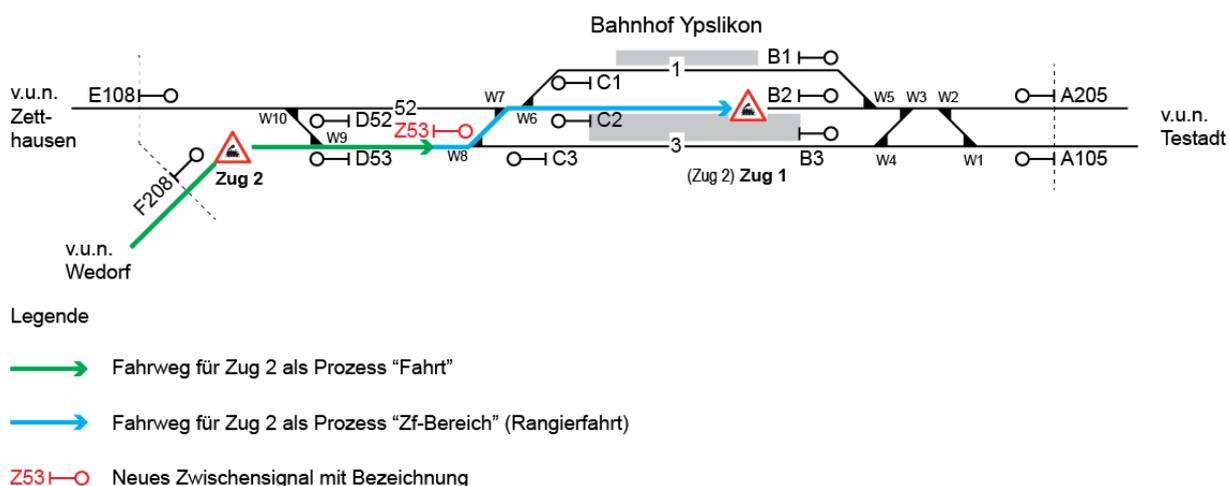


Abbildung 10.13 Verkürzung des Rangierfahrweges durch ein zusätzliches Zwischensignal

Die Prozesse und die darin ablaufenden Aktivitäten bleiben für beide Züge weiterhin unverändert. Der Wechsel in den „Rangierprozess Zf-Bereich“ wird für Zug 2 neu zu Signal Z53 verlegt und rückt somit näher an den Halteplatz von Zug 1 heran. Die Anpassung der Infrastruktur hat in dieser Situation keine Auswirkung auf die generischen Prozesse.

10.3.3 Zugteilung

10.3.3.1 Allgemeiner Ablauf

Der Betriebsablauf aus Kapitel 10.3.2 wird in entgegengesetzter Reihenfolge absolviert, indem ein Zug mit zwei Triebwagen von Teststadt ankommt und sich in zwei neue Zugfahrten Richtung Wedorf und Zetthausen aufteilt. Der Zug wird in Gleis 3 eintreffen und dort getrennt werden. Anschließend verkehrt der vordere Triebwagen weiter in Richtung Wedorf und danach fährt der hintere Triebwagen nach Zetthausen.

10.3.3.2 Prozessverlauf

Der Fdl stellt dem Zug eine reguläre Fahrstraße von Signal A105 nach Gleis 3 ein (Ende der Erlaubnis am Signal C3). Der Zug fährt im Prozess „Fahrt“ (vgl. Abbildung 7.54) in den Bahnhof und hält am Bahnsteig (Aktivität „Zughalt“). Dort werden beide Triebwagen getrennt und der vordere Triebwagen soll weiter nach Wedorf verkehren. Theoretisch könnte der Prozess „Fahrt“ ab der Aktivität „Zughalt“ entsprechend fortgeführt werden, andererseits könnte ein neuer Prozess „Fahrt“ beginnen (Grund: Än-

derung Zugreihung). Für die Weiterfahrt ist grundsätzlich die Erlaubnis des Fdl notwendig.

Wenn der vordere Triebwagen abfahrbereit ist, dann stellt der Fdl den Fahrweg von Gleis 3 über Gleis 53 nach Wedorf ein. Dieser Fahrweg besteht aus den beiden Fahrwegabschnitten von Gleis 3 (Signal C3) bis Signal D53 und von Signal D53 auf das freie Streckengleis nach Wedorf. Wenn der Fahrweg richtig eingestellt und gesichert ist, dann kann die Erlaubnis an den Zug erteilt werden und es erfolgt die Abfahrt (Abbildung 10.14).

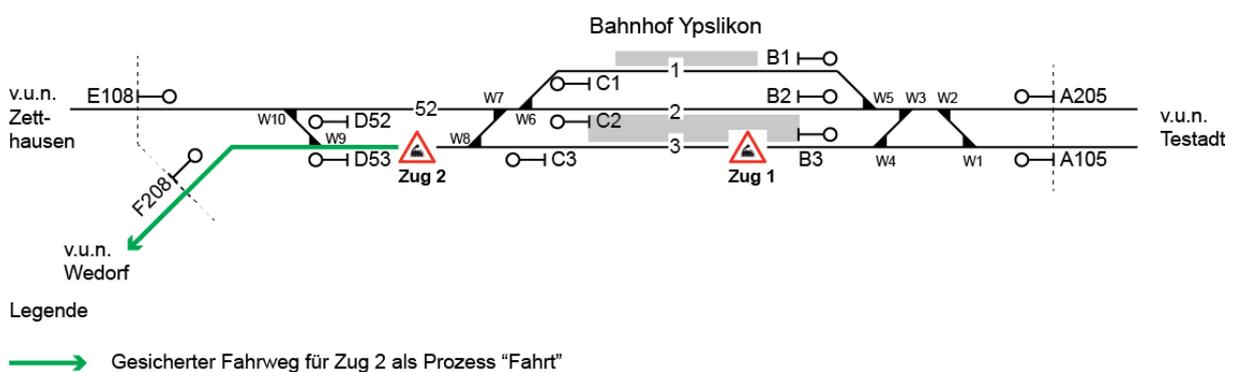


Abbildung 10.14 Zug 2 verlässt Bahnhof nach Zugteilung

Während der vordere Triebwagen als Zugfahrt den Bahnhof verlässt und sich physisch vom hinteren Zugteil entfernt, kann der hintere Triebwagen bereits aus seinem passiven Status in einen aktiven wechseln. Der Triebwagen wird für den Prozess „Fahrt“ in Richtung Zetthausen vorbereitet. Sobald er abfahrbereit ist und der Fahrweg für ihn entsprechend frei ist, kann der Fdl in einem ersten Schritt die Erlaubnis bis Signal D53 erteilen. Hat der Zug nach Wedorf die Weiche 9 vollständig geräumt und kann diese abzweigend eingestellt werden, wird anschließend die Erlaubnis auf das freie Streckengleis nach Zetthausen verlängert. Der zweite Triebwagen verkehrt als Zugfahrt nach Zetthausen.

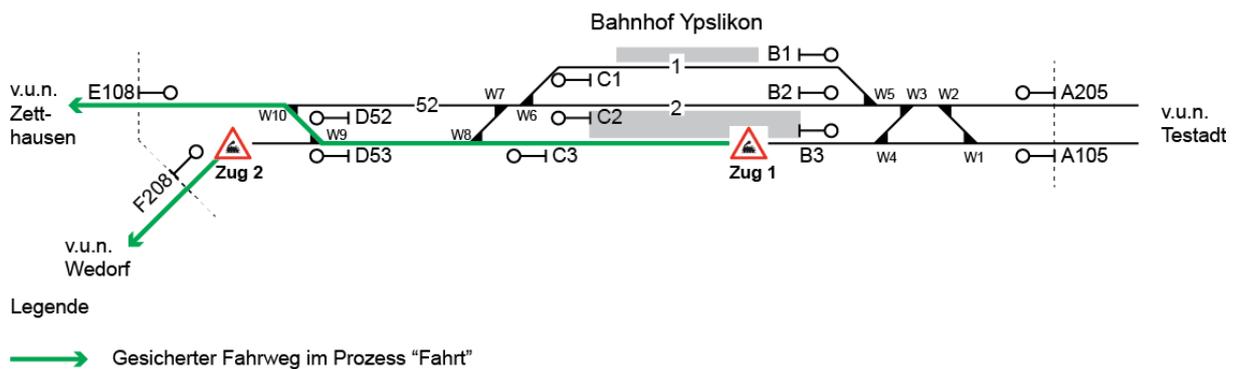


Abbildung 10.15 Zug 1 verlässt Bahnhof Ypslikon

10.3.3.3 Fazit

Der Vorgang Zugteilung kann im Vergleich zur Zugvereinigung einfacher ablaufen. Es muss kein Prozesswechsel zu einer Rangierfahrt erfolgen, denn die Infrastruktur ermöglicht sichere Fahrwege. Alle Triebwagen werden im Prozess „Fahrt“ agieren und es müssen keine Anpassungen an den Diagrammen vorgenommen werden. Eine Optimierung der Infrastruktur ist nicht notwendig.

10.4 Nicht konventionelle Bahnsysteme

10.4.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden besondere Betriebsabläufe vorgestellt und deren Unterschiede zu konventionellen öffentlichen Eisenbahnnetzen analysiert. Es werden die schweizerische Betriebsform des Zugverbandes (nachfolgendes Kapitel) betrachtet, der Betrieb von geschobenen Güterzügen ohne besetzte Zugspitze untersucht (Kapitel 10.4.3) und Überlegungen zu einer möglichen Betriebsdurchführung mit ETCS Level 3 thematisiert (Kapitel 10.4.4).

Es soll überprüft werden, inwieweit die bisher entwickelten generischen Zug- und Rangierfahrtprozesse auch auf besondere Bahnsysteme übertragbar sind und welche zusätzlichen Anpassungen für eine eventuelle Beschreibung mit UML nötig wären.

10.4.2 Schweizer Betriebsform Zugverband

10.4.2.1 Merkmale Schweizer Bergbahnen

In der Schweiz werden eine Vielzahl an Bahnstrecken betrieben, deren Aufgabe die Anbindung von topographisch schwierig erreichbaren Ortschaften oder hochgelegenen Ausflugszielen ist. Die Strecken sind überwiegend eingleisig, sind auf Grund der starken Steigungen mit Zahnstange ausgerüstet und werden mit relativ niedriger Geschwindigkeit befahren. Für Zahnstangenabschnitte gilt eine Höchstgeschwindigkeit von maximal 40 km/h, die mit zunehmender Längsneigung weiter reduziert wird [BAV 2013].

Stellvertretend sollen hierfür die Wengernalpbahn (Strecke Lauterbrunnen – Wengen – Kleine Scheidegg – Grindelwald), die Pilatusbahn (Strecke Alpnachstad – Pilatus Kulm) und die Schynige Platte-Bahn (Strecke Wilderswil – Schynige Platte) genannt werden. Diese Bahnen verkehren in Regionen mit verstärkter touristischer Nachfrage und setzen relativ kurze Züge ein. Deshalb verkehren bei hohem Verkehrsaufkommen Extrazüge, welche gemeinsam mit dem planmäßigen Zug im Sichtabstand als Zugverband fahren.

10.4.2.2 Beschreibung der Betriebsform Zugverband

Auf diesen Bahnen gilt die FDV und es können zusätzliche Regelungen im Rahmen der Betriebsform Zugverband angewendet werden. Es wird folgende Definition verwendet: „Der Zugverband besteht aus Teilzügen. Diese können Vor-, Stamm-, oder Nachzug sein, wobei Vor- und Nachzüge als Supplementzüge bezeichnet werden.“²⁰⁴

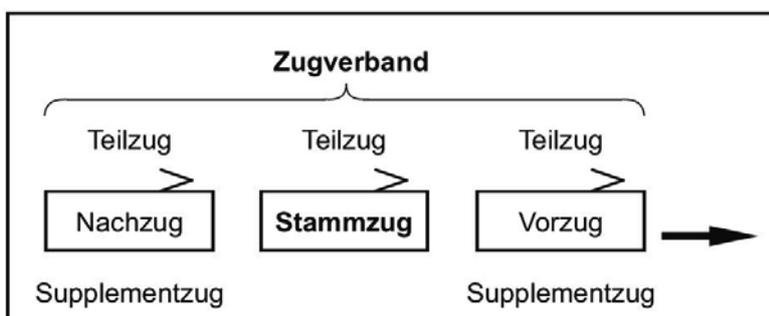


Abbildung 10.16 Prinzipskizze Zugverband [FDV CH 2012]

²⁰⁴ Zitat aus [FDV CH 2012], Seite 649

Alle Teilzüge verkehren im Fahrplan gemeinsam mit ihrem Stammzug unter derselben Zugnummer (mit Zusatzangaben für die Supplementzüge). Die dem ersten Teilzug nachfolgenden Teilzüge müssen auf Sicht fahren und einen geschwindigkeitsabhängigen Mindestabstand einhalten (zwischen 50 und 200 m). Hält ein Teilzug außerplanmäßig an, dann müssen alle nachfolgenden Teilzüge auch anhalten und das Zugpersonal das Signal „Halt-Gefahr“ geben.

Für jeden Teilzug gilt die Fahrordnung des Stammzuges mit Angabe der Fahrzeiten, Kreuzungen und Überholungen. Muss während des Fahrbetriebes von der Fahrordnung abgewichen werden, werden alle Teilzüge vom Fdl über neue Anweisungen informiert. Geschieht dies auf Strecken ohne Streckenblock, dann muss der erste Teilzug in der Form informiert werden, dass er die neue Anweisung schriftlich protokolliert und den korrekten Inhalt dem Fdl gegenüber bestätigt.

Auf Strecken ohne Streckenblock müssen alle Teilzüge mit Ausnahme des letzten Teilzuges ein zusätzliches Signal²⁰⁵ tragen (siehe Abbildung 10.17). Das Signal kündigt an, dass ein weiterer Teilzug folgt. Bei Zugkreuzungen muss entsprechend abgewartet werden, bis alle Teilzüge im Kreuzungsbahnhof angekommen sind, bevor der erste Teilzug der Gegenrichtung in das eingleisige Streckengleis einfahren darf.



Abbildung 10.17 Teilzug mit grün-weißer Signalscheibe auf der Pilatusbahn

²⁰⁵ Tageszeichen: grün-weiße Scheibe; Nachtzeichen: grünes Licht

Befindet sich der Lokführer nicht an der Spitze seines Teilzuges, dann muss diese mit einem Zugbegleiter besetzt werden, der die Strecke beobachtet und mit dem Lokführer in ständigem Kontakt steht. Die Beobachtung der Strecke von der Zugspitze aus gilt für den gesamten Zugverband als auch für jeden einzelnen Supplementzug.

10.4.2.3 Betriebsprozesse

Das Betriebsverfahren Zugverband ist ein Verfahren, das bei einfachen betrieblichen Bedingungen angewendet wird und den Grundsatz des Fahrens im festen Raumabstand beibehält. Der Zugverband stellt nach außen hin eine Einheit dar und kann betrieblich als ein Zug betrachtet werden. Ein Zugverband könnte als Ganzes im Prozess „Fahrt“ verkehren, für den die generischen LST-Funktionen Flanken-, Folge- und Gegenfahrtschutz realisiert werden müssen. Der Betriebsprozess „Fahrt im Zugverband“ in Abbildung 10.18 entspricht dem generischen Prozess „Fahrt“ aus Kapitel 7.8.5 und unterscheidet sich nur in durch die neue Aktivität „Zugverband fahren“.

ckenabschnitt eine eigene Erlaubnis erhält. Weiterhin können die Aktivitäten „Rangierfahrt“ und „Rangierhalt“ nicht direkt übernommen werden.

Es wird ein neuer Prozess „Zugverband fahren“ vorgeschlagen (vgl. Abbildung 10.19), der sich am Prozess „Zug fahren“ orientiert. In diesem Prozess wird zwischen dem ersten Teilzug (linke Seite) und den nachfolgenden Teilzügen unterschieden. Der erste Teilzug verhält sich grundlegend wie jede andere Zugfahrt, nur mit dem Unterschied, dass er nicht aus einer fahrenden Rangierfahrt übergehen kann (gemeinsamer Start aller Teilzüge nötig). Alle folgenden Teilzüge werden sich wie ihre vorausfahrenden Züge verhalten, nur mit dem Unterschied, dass sie ihre „Erlaubnis“ aus der Bewegung des vor ihnen fahrenden Teilzuges erhalten. Sie müssen Fahrzeuge im Gleis beachten und sich fahrdynamisch wie eine Rangierfahrt verhalten.

Die Aktivität „Zughalt“ muss nicht verändert werden. Hierbei ist lediglich darauf zu achten, dass bei einem Fahrtrichtungswechsel der letzte Teilzug zum führenden Zug wird und für die Rückfahrt eine Erlaubnis benötigt.

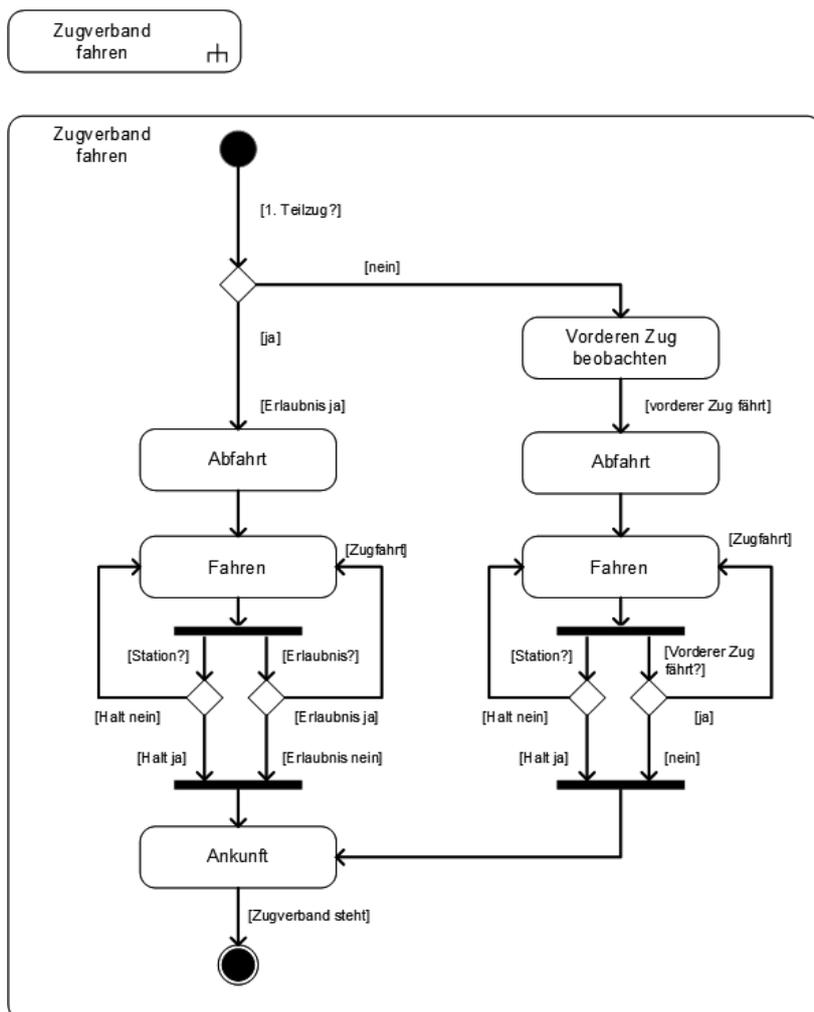


Abbildung 10.19 Betriebsprozess „Zugverband fahren“

10.4.2.4 Fazit

Die Betriebsform Zugverband weist gegenüber einer generischen Zugfahrt keine signifikanten Unterschiede auf. Allerdings werden innerhalb des Zugverbandes Eigenschaften von Rangierfahrten benötigt. Die Entwicklung der Aktivitätendiagramme hat gezeigt, dass die generischen Prozesse weitestgehend wiederverwendet werden konnten und nur geringfügige Änderungen bezüglich der besonderen Eigenschaften dieser Bahnen notwendig waren.

Auf Grund der niedrigen Geschwindigkeit ist die Einbindung des Zugpersonals in die Einstellung und Sicherung des Fahrweges meist einfacher möglich und notwendig.²⁰⁶

²⁰⁶ Die Bahnhöfe der Schynige Platte-Bahn sind mit örtlich bedienten Handweichen ausgestattet.

Insbesondere bei sehr geringer LST-Ausstattung verschiebt sich der funktionale Schwerpunkt des Fdl mehr zu dispositiven Aufgaben hin und das Zugpersonal wird verstärkt in die Zugsicherung eingebunden (vgl. Abbildung 10.20). Dadurch ist in gewissen Maßen und unter den einfachen Verhältnissen ein individuelles Verhalten der Züge möglich. Der Fahrdienstleiter muss jedoch weiterhin mit allen Zugverbänden in Kontakt stehen und Begegnungen auf langen eingleisigen Abschnitten (Streckengleisen) vermeiden.



Abbildung 10.20 Darstellung des Betriebsverfahrens Zugverband nach [BOSSE 2010]

Das Betriebsverfahren Zugverband ist ein regel-dominiertes Betriebsverfahren, das mit bei einem geringen LST-Ausstattungsgrad verwendet werden kann.

10.4.3 Geschobene Güterzüge im Braunkohlenbergbau

10.4.3.1 Merkmale des Zugbetriebs

Die Vattenfall Europe Mining AG betreibt in Deutschland ein Werkbahnnetz zum Transport von Braunkohle, Kalksteinschotter und Kraftwerksrückständen. In diesem Netz hat sich traditionell ein Betriebsverfahren entwickelt, in dem Güterzüge auf der Strecke geschoben fahren dürfen, ohne dass die Zugspitze mit einem Lokführer besetzt werden muss. Das liegt darin begründet, dass die Züge früher in den Tagebau hineingefahren sind oder nur innerhalb eines Tagebaues verkehrten.²⁰⁷ Auf Grund der hohen Zugdichte und der entsprechend knappen Wendezeiten ist ein Umsetzen der Lokomotiven an den Endpunkten (Endbahnhöfen) ungünstig. Weiterhin ist das längerfristige Anlegen von Wendeschleifen oder Gleisdreiecken in einem wandernden Tagebau kaum möglich. Ähnliche Betriebsverfahren werden auch bei anderen

²⁰⁷ Der Tagebau Cottbus Nord ist im Jahr 2014 der letzte deutsche Braunkohlentagebau mit direkter Beladung an Tagebaugroßgeräten.

Bergbaubetrieben angewendet. Die Untersuchung wird beispielhaft nur an den Vorschriften von Vattenfall nachvollzogen.

Für die vertiefte Recherche der Besonderheiten des Braunkohlenbergbaus und der dazugehörigen Werkeisenbahnen wird auf die entsprechende Literatur verwiesen [LMBV 2014][SCHOSSIG 2007][STOLL 2009]. Die nachfolgend beschriebenen Betriebsformen basieren auf der unternehmensinternen FDV [VATTENFALL 2008].

10.4.3.2 *Besonderheiten*

Auf Strecken, bei denen geschobene Züge zugelassen werden, gelten abweichend gegenüber öffentlichen Eisenbahnen folgende allgemeine Regeln:

- Es gilt eine maximale Zuglänge für geschobene Züge (max. Länge der geschobenen Wagen).
- Bei geschobenen Zügen führt der erste Wagen Zugspitzensignale sowie eine akustische Warnanlage.
- Für geschobene Züge müssen spezielle Signale aufgestellt oder besondere Signalstandorte ausgewählt werden.
- Mitarbeiter auf Tagebaugeräten und Be-/ Entladeanlagen, die für das Be-/ Entladen der Züge zuständig sind, können Funktionen von Rangierleitern übernehmen, teilweise auch mit Fernsteuerung der Züge.
- Es dürfen mehrere Züge in ein Gleis einfahren, wenn es sich um ein Gleis mit Zug-einzählung handelt (z. B. Ladegleis im Tagebau).

Die erlaubten Geschwindigkeiten sind auf regulären Gleisen verhältnismäßig gering. Auf Streckengleisen kann für gezogene Züge eine Höchstgeschwindigkeit bis 60 km/h erlaubt sein und für geschobene Züge gelten maximal 40 km/h. Auf besonderen Gleisen (Tagebau- und Bunkergleise, Gleiswaagen) sind niedrigere Geschwindigkeiten zugelassen.

10.4.3.3 *Allgemeines Betriebsverfahren mit geschobenen Zügen*

Der Betrieb mit geschobenen Güterzügen entspricht grundsätzlich dem Betrieb von Wendezügen (Pendelzügen) im öffentlichen Personenverkehr, in dem die Zugreihung beim Fahrtrichtungswechsel nicht verändert wird. Bei geschobenen Güterzügen

fehlt allerdings am gegenüberliegenden Zugende ein Steuerwagen bzw. ein Steuerabteil für den Lokführer.

Wird der Werkbahnzug gezogen, dann entspricht die Fahrweise denen der öffentlichen Eisenbahnen. Wechselt der Zug seine Fahrtrichtung, dann wechselt der Lokführer den Führerstand, verbleibt allerdings auf der Lokomotive und befindet sich nun am Ende des Zuges. Der Lokführer kann ab jetzt nicht mehr die Spitze des Zuges einsehen und benötigt zusätzliche Signale für geschobene Fahrten. Das können zum einen Lichtsignale sein, welche im Abstand der maximalen geschobenen Zuglänge zusätzlich vor einem regulären Signal stehen oder einfache Signaltafeln mit einem Zusatzhinweis für geschobene Züge. Mit dieser Methode wird erreicht, dass der Gefahrpunkt zum Anhalten für geschobene Züge um die maximale Länge geschobener Züge vorverlegt wird (vgl. Abbildung 10.21).

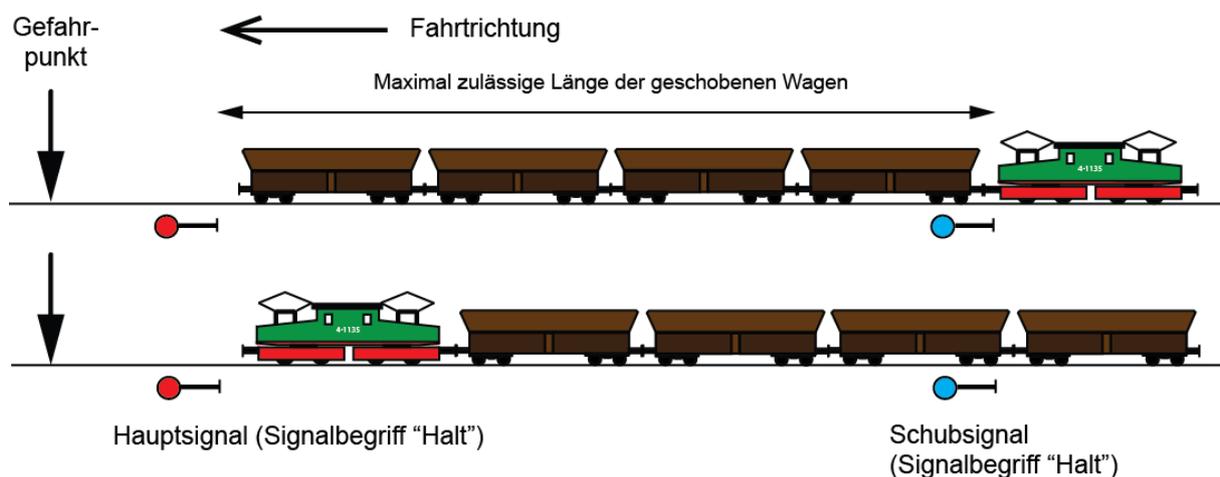


Abbildung 10.21 Funktionsskizze Schubsignal zu einem Hauptsignal

Das Haupt- als auch das Schubsignal sind betrieblich miteinander verbunden und zeigen jeweils den gleichen Signalbegriff (Befehl).²⁰⁸ Die beiden Signale vermitteln die gleichen Informationen, jedoch haben sie unterschiedliche Adressaten. Das Hauptsignal gilt für alle Zug- und Rangierfahrten, während das Schubsignal nur für geschobene Züge und geschobene Rangierfahrten ohne besetzte Spitze gültig ist [VATTENFALL 2008]. Die Aussage „Anhalten und stehen bleiben“ ist an beiden Signalen gleich.

²⁰⁸ „Signal-Begriff: mit Signalmitteln erteilte Befehle (z. B. Halt)“, Zitat aus [ADLER 1990], Seite 693

Wird das Hauptsignal auf „Fahrt“ gestellt, dann zeigt auch das Schubsignal einen Fahrtbegriff. In diesem Fall sind Signalbegriff und Signalbild²⁰⁹ identisch (z. B. ein grünes Licht an beiden Signalen für die „Fahrt mit zulässiger Geschwindigkeit“) [VATTENFALL 2008].

Es ist zu beachten, dass Schubsignale für gezogene Züge unbedeutend sind, andererseits müssen geschobene Züge Hauptsignale auch mit beachten. Aus diesem Grund muss sichergestellt sein, dass das Hauptsignal sich erst dann auf „Halt“ zurückstellt, wenn die Lokomotive des geschobenen Zuges an diesem vorbeigefahren ist. Anderenfalls würde ein geschobener Zug ein „Fahrt“ zeigendes Schubsignal passieren, anschließend jedoch am bereits wieder „Halt“ zeigendes Hauptsignal eine Zwangsbremmung einleiten und anhalten. Für einen Lokführer ist nicht zu erkennen, ob das Signal regulär auf Halt gestellt wurde oder eine Notbedienung durch den Fdl²¹⁰ erfolgte.

Es ist nicht notwendig, dass zu jedem Signal ein entsprechendes Schubsignal aufgestellt wird. Zum Beispiel wird bei Vorsignalen darauf verzichtet. Ist auf einer für geschobene Züge zugelassenen Strecke einem Hauptsignal ein Schubsignal zugeordnet, dann steht das Vorsignal²¹¹ im Bremswegabstand vor dem Schubsignal (siehe Abbildung 10.22).

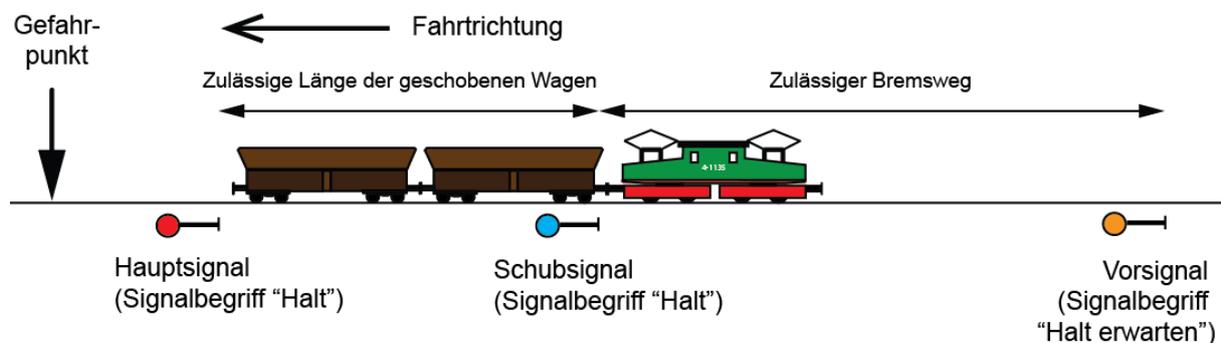


Abbildung 10.22 Hauptsignal mit Schub- und Vorsignal

In bestimmten Situationen kann auf Schubsignale verzichtet werden, wenn das Hauptsignal an den Standort des Schubsignals verschoben wird. Diese Methode wird meist bei Blocksignalen der freien Strecke angewendet (vgl. Abbildung 10.23).

²⁰⁹ „Signalbild: optisch wahrnehmbare Erscheinung, die einen bestimmten Signalbegriff ausdrückt.“ Zitat aus [ADLER 1990], Seite 693

²¹⁰ Unternehmensintern wird der Fdl als Stellwerkswärter bezeichnet [VATTENFALL 2008].

²¹¹ Auf Vorsignalen wird verzichtet, wenn ein Haupt-/ Schubsignal im Bremswegabstand gut einsehbar ist.

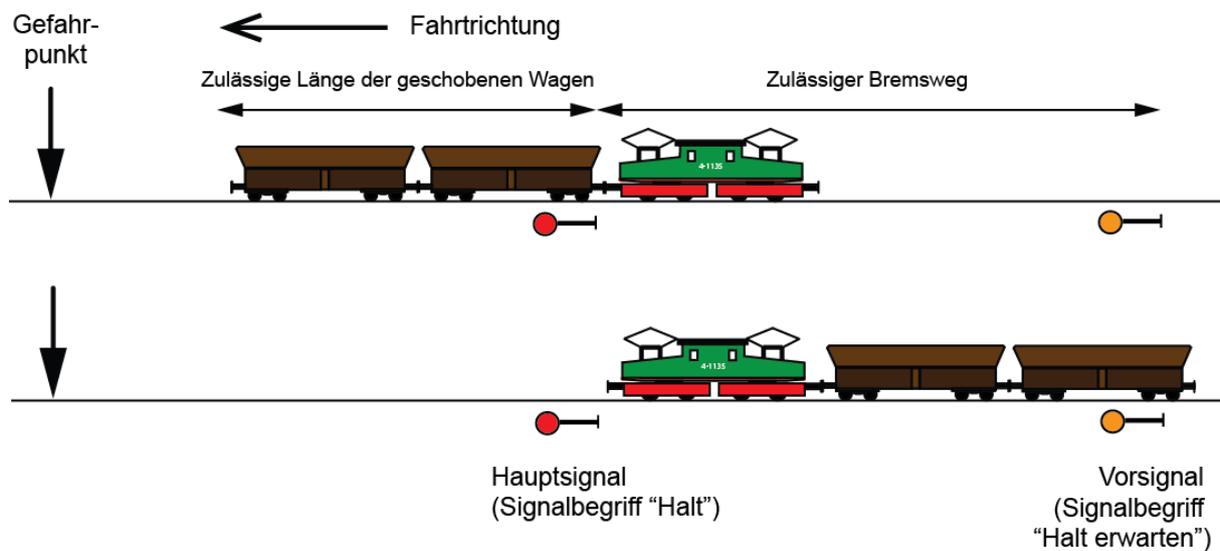


Abbildung 10.23 Beispiel für den Verzicht eines Schubsignals

Der Betrieb mit geschobenen Zügen ohne besetzte Zugspitze entspricht im Prinzip dem des normalen gezogenen Betriebes. Die fehlende Sicht wird auf Grund einer nicht besetzten Zugspitze durch zusätzliche Signale oder veränderte Signalstandorte kompensiert und die dafür entsprechenden Vorkehrungen werden in der LST getroffen.

10.4.3.4 Betriebsform an Bahnübergängen

Eine weitere Besonderheit stellen Bahnübergänge dar. Ist ein Bü mit einer Sicherungsanlage ausgestattet, die durch Gleiskontakte vom Zug ein- und ausgeschaltet wird, sowie ein Überwachungssignal beachtet werden muss, dann sind die Kontakte und das Überwachungssignal so anzuordnen, dass die Distanz zum Bü um die geschobene Zuglänge zusätzlich vergrößert wird (siehe Abbildung 10.24).

Wird am Überwachungssignal angezeigt, dass die Anlage gestört ist, dann muss der Zug vor dem Bü rechtzeitig anhalten können, auch wenn er geschoben fährt. Bei einem gezogenen Zug kann der Lokführer mittels Warnsignalen und durch eigene Übersicht den Bü allein sichern und anschließend weiterfahren. Handelt es sich um einen geschobenen Zug, dann ist dieses Vorgehen mit einem Lokführer nicht mehr möglich, da er am Ende des Zuges keine Übersicht hat.

Hier bieten sich zwei Lösungsmöglichkeiten an:

- a) Ein zusätzlich mitfahrender Zugbegleiter sichert den Bü und erteilt dem Lokführer die Erlaubnis zum Befahren.
- b) Verfügt die Lokomotive über eine tragbare Funkfernsteuerung, dann kann der Lokführer sich zum Bü begeben, die Fahrt allein sichern und den Zug per Fernsteuerung über den Bü fahren.

In beiden Varianten wird erreicht, dass der Bü gesichert wird und das Zugpersonal die Übersicht über die Zugspitze und den Gefahrenbereich hat.

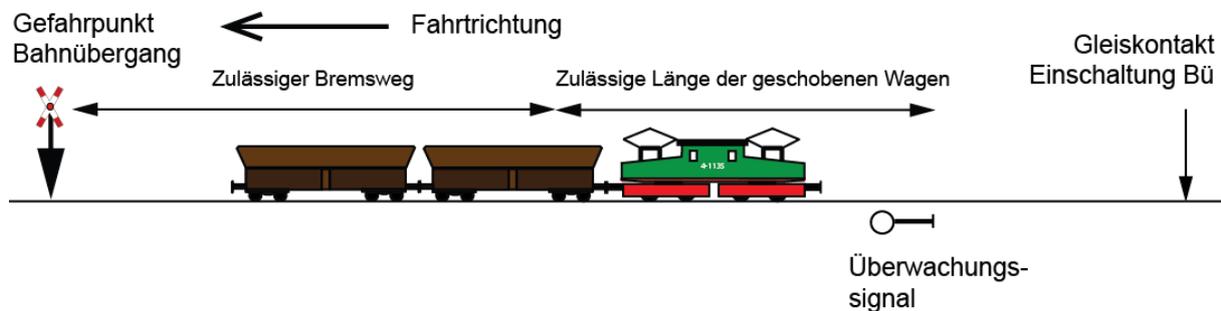


Abbildung 10.24 Technisch gesicherter Bahnübergang

Bei Bahnübergängen ohne technische Sicherung erfolgt die Sicherung durch akustische Warnsignale des Zuges und die Übersicht der Straßenverkehrsteilnehmer. Ein Anhalten des Zuges ist nicht erforderlich, wenn eine ausreichende Sicht von der Straße auf den Zug gegeben ist (vgl. Abbildung 10.25).

Auch in dieser Situation muss die zusätzliche Zuglänge bei geschobener Fahrweise berücksichtigt werden. Hierfür werden zwei Arten von Pfeif tafeln aufgestellt, die entweder nur für gezogene oder nur für geschobene Züge Gültigkeit besitzen [VAT-TENFALL 2008].

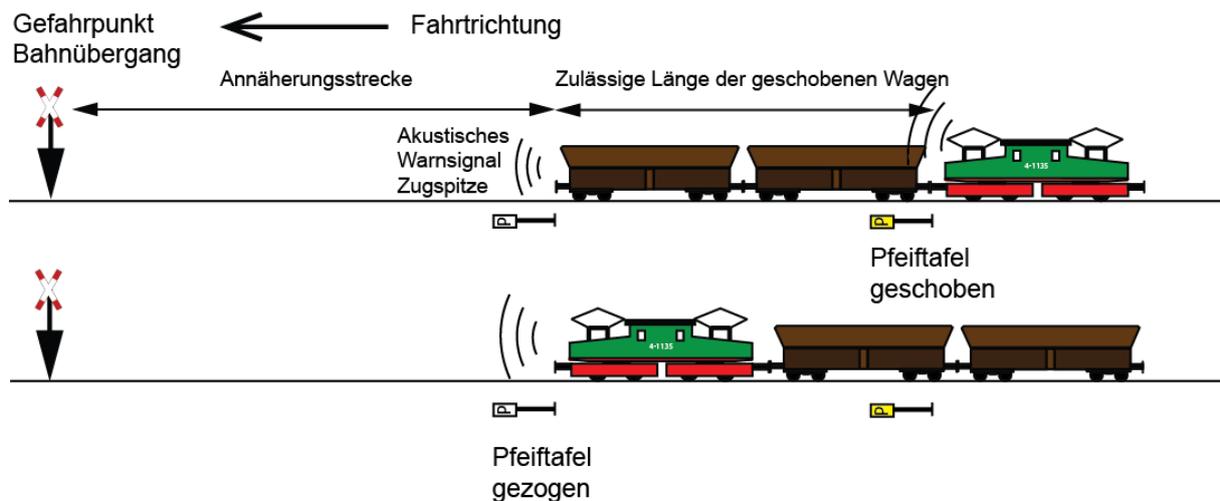


Abbildung 10.25 Bahnübergang ohne technische Sicherung

Bei geschobenen Zügen besteht der Nachteil, dass die Entfernung der Lokomotive zum Bü größer ist und die Wagen die Schallwirkung weiter reduzieren. Diese Nachteile werden durch die zusätzliche akustische Warnanlage am ersten Wagen kompensiert.

10.4.3.5 Mehrere Züge in einem Strossengleis

Die Abbaufäche eines Tagebaus kann sich über mehrere Kilometer erstrecken. Die dortigen Eisenbahngleise haben keinen stabilen Oberbau, so dass die Fahrgeschwindigkeit sehr niedrig ist. Muss ein Zug bis an das Ende eines sogenannten Strossengleises fahren, dann ist die Fahrzeit zum Bagger sehr lang. Um die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, kann man die Betriebsform „Fahren auf Sicht“ einführen und mehrere Züge in ein Strossengleis einfahren lassen. Dadurch können mehrere Großgeräte gleichzeitig Züge beladen, welche alle dasselbe Gleis benutzen. Die Höchstgeschwindigkeit ist dabei auf 20 km/h begrenzt und die Sichtverhältnisse müssen entsprechend gut sein (Betriebsform ist bei Nebel unzulässig). Das Fahren auf Sicht ist auch für geschobene Züge ohne besetzte Zugspitze erlaubt, so lange der Lokführer sicher abschätzen kann, nicht auf einen vorausfahrenden Zug aufzufahren. Nähert sich ein Zug einem anderen Zug, der gerade von einem Bagger beladen wird, dann übernehmen die Belader auf dem Bagger die Funktion eines Rangierleiters und koordinieren die Züge in ihrem Bereich [VATTENFALL 2008].

Diese Fahrten werden als Zugfahrten durchgeführt, entsprechen jedoch eher einem Rangierprozess. Die zulässige Geschwindigkeit ist sehr niedrig und die Zugpersonale müssen gegenseitig aufeinander achten und sich verständigen oder den Anwei-

sungen des Baggerpersonals folgen. Da in Strossengleisen keine Weichen vorhanden sind, ist die Auswahl an Bewegungsmöglichkeiten sehr eingeschränkt und der Betrieb entsprechend einfach.

Verlässt ein Zug den Tagebaubereich, dann muss er wieder in die volle Verantwortung eines Fdl übergehen, der für den Zug die Erlaubnis zur Fahrt erteilt.

10.4.3.6 Rangierfahrten

Die Rangierfahrten im Werkbahnnetz unterscheiden sich nicht wesentlich von Rangierfahrten der öffentlichen Eisenbahnen. Fährt ein rangierender Zug geschoben, dann muss von der Spitze des Fahrzeugverbandes das zu befahrende Gleis eingesehen werden können. Dafür wird ein weiterer Mitarbeiter (Rangierer) benötigt, oder der Lokführer führt die Fahrten mit einer Funkfernsteuerung durch. Bei Fahrten in Bahnhöfen wird allgemein die Erlaubnis des Fdl beansprucht und in abgegrenzten Rangierbereichen dürfen sich die Rangiereinheiten selbst organisieren.

Eine Ausnahme bilden unbegleitete, geschobene Rangierfahrten, die ohne besetzte Spitze verkehren dürfen. Für diese Fahrten müssen entsprechende Schubsignale aufgestellt sein und der Fdl darf den Fahrauftrag nur dann erteilen, wenn die zu befahrenden Gleise frei von anderen Fahrzeugen sind. Diese Fahrten machen jedoch nur einen kleinen Anteil aller Rangierfahrten aus und bieten sich beim Umsetzen zwischen verschiedenen Bahnhofsgleisen an.

10.4.3.7 Betriebsprozesse

Das Betriebsverfahren im Braunkohlenbergbau unterscheidet zwischen Zug- und Rangierfahrten. Die Züge verkehren wie bei öffentlichen Eisenbahnen als ein einheitlicher Fahrzeugverband mit der Zusatzmöglichkeit, diese auch geschoben ohne besetzte Zugspitze verkehren zu lassen. Geschobene Zugfahrten werden genauso wie gezogene durchgeführt, jedoch müssen zusätzliche Signale oder veränderte Signalstandorte die fehlende Übersicht wieder ausgleichen. Für Zugfahrten muss das Fahren im Raumabstand umgesetzt werden und der Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutz muss vollumfänglich erfolgen. Zur Beschreibung der Zugfahrt kann der generische Prozess „Fahrt“ unverändert übernommen werden (siehe Kapitel 7.8.5).

Für die Rangierfahrten, bei denen die Spitze besetzt ist, gelten allgemein die gleichen Verfahrensregeln wie für öffentliche Eisenbahnen. Die Prozesse für Rangierfahrten (vgl. Kapitel 10.2) können nach Ansicht des Verfassers ebenfalls unverändert

verwendet werden. Die unbegleiteten, geschobenen Rangierfahrten werden prinzipiell wie Zugfahrten durchgeführt, jedoch bei niedriger Geschwindigkeit, mit Erteilung der Fahraufträge durch Rangiersignale und ohne Einhaltung des Mindestbremsweges für Zugfahrten. Für die allgemeine Verfahrensweise dieser besonderen Rangierfahrten könnte der Betriebsprozess „Fahrt“ verwendet werden, denn es kann auf die Beachtung anderer Fahrzeuge im Gleis verzichtet werden.

Auf Strossengleisen dürfen Zugfahrten durchgeführt werden, bei denen mit anderen Zügen im Gleis zu rechnen ist. Diese Betriebsweise ist mit einer Einfahrt in ein besetztes Gleis vergleichbar, so dass Rangierfahrtprozesse angewendet werden könnten (vergleichbar mit Situation in Kapitel 10.3.2). Für diese Betriebsweise können nach Ansicht des Verfassers die bisherigen Aktivitätendiagramme für eine generische Modellierung verwendet werden.

Diese Fahrten sind zulässig, wenn die Sichtverhältnisse den Folge- und Gegenfahrerschutz durch Fahren auf Sicht ermöglichen. Auf Grund nicht vorhandener Weichen muss kein Flankenschutz berücksichtigt werden.

10.4.3.8 *Fazit*

Die Werkeisenbahn weist gewisse Merkmale auf, die auf dem besonderen Einsatzzweck beruhen. Allgemein können die verschiedenen Arten an Fahrten jeweils einer generischen Zugfahrt oder einem Rangierprozess zugeordnet werden. Es sind in einem mesoskopischen Betrachtungsniveau keine besonderen Änderungen vorzunehmen oder neue Diagramme zu entwerfen.

Zugfahrten und Rangierfahrten in wärterüberwachten Bereichen dürfen nur mit Erlaubnis eines Fdl erfolgen und das Zugpersonal wird nicht direkt in die Einstellung und Sicherung des Fahrweges einbezogen. Die LST-Anlagen sind jedoch um die zusätzlichen Anforderungen der geschobenen Fahrweise sowie der Mehrfachbelegung von Strossengleisen zu ergänzen. Das Betriebsverfahren im Braunkohlenbergbau ist bezüglich des Technisierungsgrades mit dem eines konventionellen öffentlichen Eisenbahnnetzes vergleichbar, unter Berücksichtigung der besonderen örtlichen Bedingungen (vgl. Abbildung 10.26).



Abbildung 10.26 Betriebsverfahren Braunkohlenbergbau

10.4.4 Zugbetrieb in ETCS Level 3

10.4.4.1 Merkmale von ETCS Level 3

Wie bereits in Kapitel 2.1.5.4 beschrieben wurde, strebt die EU eine Verbesserung des grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehrs an und unterstützt die Einführung von ETCS bei der Sicherung der Zugfahrten. ETCS kann in verschiedenen Ausrüstungs- und Funktionalitätsstufen (Level) realisiert werden, in die je nach Anforderung konventionelle Stellwerkstechnik eingebunden werden kann.

Es wird für die Beschreibung der Funktionalitäten und der einsetzbaren technischen Ausrüstungselemente in den verschiedenen Level auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen [MASCHEK 2012][STANLEY 2011][WINTER 2009]. Die besonderen Eigenschaften von ETCS Level 3 können wie folgt zusammengefasst werden:

- Zugintegritätsprüfung: Ein Zug stellt automatisch fest, dass er vollständig ist und kann dies per Funk einem Radio Block Center mitteilen. Es kann auf ortsfeste Signale (bereits in Level 1 & 2 möglich) und Gleisfreimeldeeinrichtungen verzichtet werden.
- Moving Block: Mit Hilfe der Zugintegritätsprüfung und der Übertragung von Positionsdaten an das Radio Block Center kann im wandernden Raumabstand (Moving Block-Abstand) gefahren werden.

Nach Kenntnis des Verfassers wurde bisher keine Eisenbahnstrecke mit ETCS Level 3 realisiert oder ist in Planung. Es existieren bereits ähnliche Anwendungen für Stadtschnellbahnen und einzelne, hochbelastete Eisenbahnstrecken.²¹²

10.4.4.2 Betriebliche Unterschiede zum Fahren im festen Raumabstand

Beim Fahren im festen Raumabstand wird das Eisenbahnnetz in Fahrweg-/ Blockabschnitte unterteilt. Bevor ein Zug in einen solchen Abschnitt einfährt, wird dieser richtig eingestellt und auf Befahrbarkeit überprüft. Ist der Abschnitt frei, darf ein Zug in diesen einfahren. Die Infrastruktur wird von den Zügen immer abschnittsweise in Anspruch genommen und für andere Züge gesperrt. Die Belegung kann mit Hilfe von Sperrzeitkästchen dargestellt werden (siehe Abbildung 10.27).

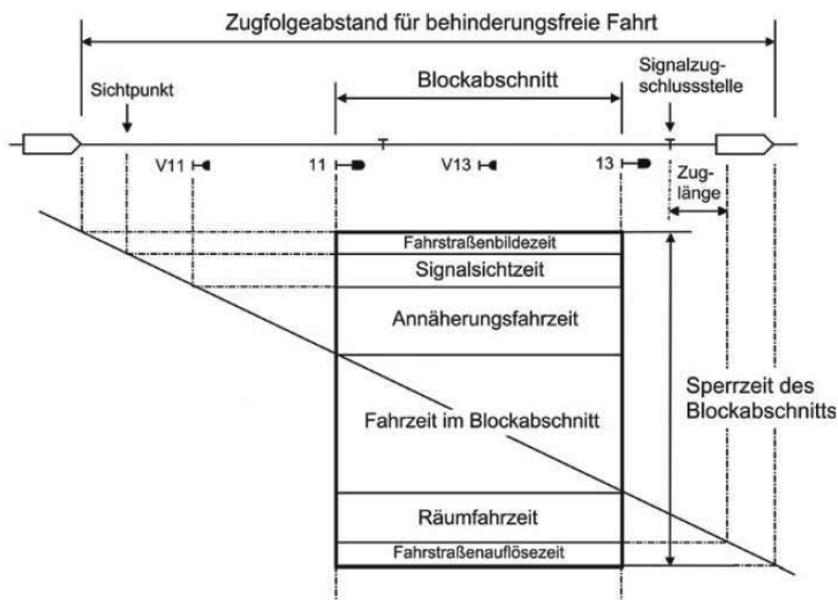


Abbildung 10.27 Sperrzeit eines Fahrwegabschnitts [PACHL 2011]

Soll der Zug weitere Blockabschnitte befahren, so werden die folgenden Blockabschnitte²¹³ rechtzeitig vor dem Verlassen des vorherigen Abschnitts für den Zug reserviert und freigegeben. Über mehrere Fahrwegabschnitte betrachtet, stellt die Belegung der Infrastruktur eine sogenannte Sperrzeitentreppe dar.

²¹² Marmaray-Tunnel in Istanbul [MARMARY 2013], Crossrail-Tunnel in London (im Bau) [HARVEY 2014]

²¹³ Definition siehe Kapitel 2.2.2 oder [NAUMANN 2004]

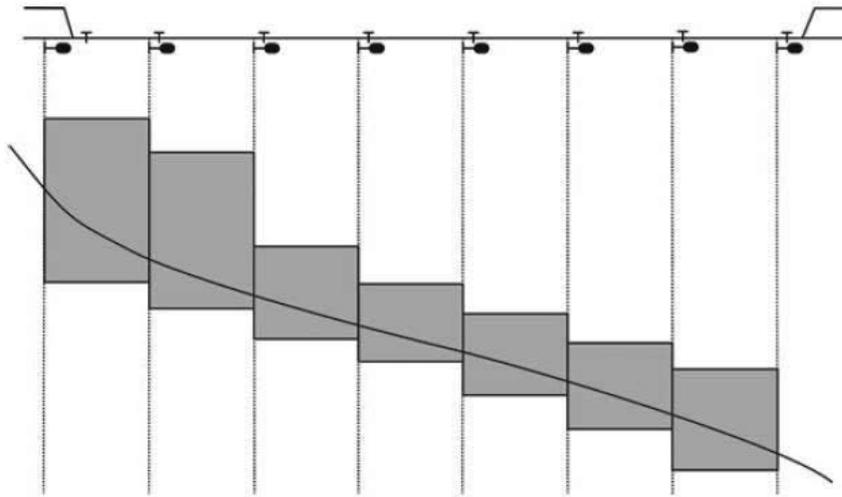


Abbildung 10.28 Skizze einer Sperrzeitentreppe [PACHL 2011]

Die Sperrzeit eines Blockabschnittes kann vereinfacht in drei Zeitabschnitte untergliedert werden [BÄR 2004]:

- Vorbelegungszeit (Summe aus Fahrstraßenbilde-, Signalsicht- und Annäherungsfahrzeit)
- Fahrzeit im Blockabschnitt
- Nachbelegungszeit (Summe aus Räumfahr- und Fahrstraßenauflösezeit)

Die Dauer der Sperrzeit ist abhängig von der Länge des Blockabschnittes und der gefahrenen Geschwindigkeit des Zuges. Verkürzt man die Länge der Blockabschnitte im Sinne einer Grenzwertbetrachtung auf den Wert Null, dann ergibt dies ein Sperrzeitenband (siehe Abbildung 10.29) [BÄR 2004]. Grundsätzlich sind die Zeitanteile der Vor- und Nachbelegungszeit weiterhin enthalten, sie verändern sich teilweise auf Grund der neuen Belegungsstruktur. Zum Beispiel entspricht die Fahrzeit im Blockabschnitt dann der tatsächlichen Durchfahrtszeit an einem Punkt über die gesamte Zuglänge.²¹⁴

²¹⁴ Blockabschnitte sind im bisherigen Sinn nicht mehr vorhanden.

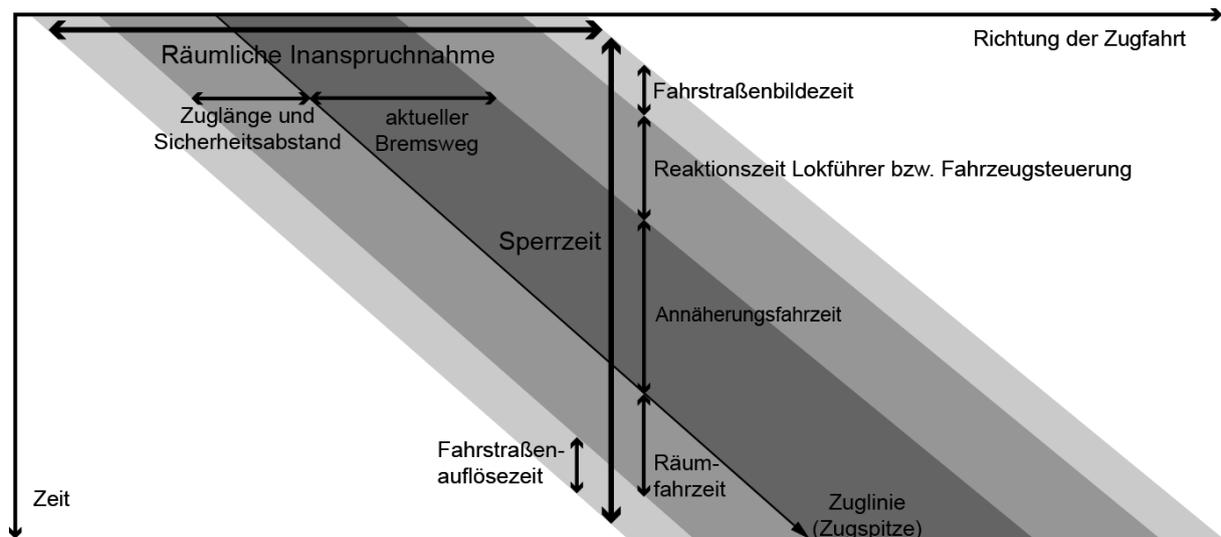


Abbildung 10.29 Skizze Sperrzeitenband (eigene Darstellung, basierend auf [BÄR 2004])

In Kapitel 7.6.7.2 werden die Aktivitäten „Fahrwegwunsch“ und „Fahrwegwunsch prüfen/ Disposition“ in die generische Beschreibung aufgenommen. Diese Aktivitäten werden allgemein bei Annäherung eines Zuges an einen neuen Blockabschnitt aufgerufen und sind vor Erteilung der Erlaubnis zur Fahrt abgeschlossen. Verkürzt man auf einer Strecke die Länge der Blockabschnitte, dann werden diese Aktivitäten entsprechend häufiger aufgerufen und der Prozess „Fahrt“ folglich vermehrt durchlaufen.

Wendet man das Verfahren zum Fahren im wandernden Raumabstand an, dann muss für einen fahrenden Zug über jeden Punkt der aktuellen räumlichen Inanspruchnahme (Distanz zwischen Beginn der Fahrstraßenbildung und Ende der Fahrstraßenauflösung) je ein Prozess „Fahrt“ ablaufen. Unter der Annahme, dass diese Punkte jeweils einen Meter voneinander entfernt sind, würden bei einem 500 m langen Zug mit 1000 m Bremsweg mehr als 1500 Prozesse²¹⁵ „Fahrt“ gleichzeitig ablaufen.

Man kann diese Betrachtung in der Form vereinfachen, dass für einen Zug nur ein Prozess abläuft, indem gleichzeitig mehrere Aktivitäten stattfinden, die ständig neu aufgerufen, abgearbeitet und wieder beendet werden. Beim Fahren im wandernden Raumabstand muss kontinuierlich der zukünftige Fahrweg geprüft, dafür eine Erlaubnis erteilt, die Fahrwegelemente bis zur Vorbeifahrt des Zuges gesichert und anschließend wieder freigegeben werden.

²¹⁵ Die räumliche Inanspruchnahme ist größer, denn es muss die gesamte Vor- und Nachbelegungszeit mit berücksichtigt werden.

Alternativ könnte das Sperrzeitenband auch in der Form dargestellt werden, dass ausgehend von jedem Punkt auf dem Graphen der Zuglinie die Aktivitäten entsprechend der räumlichen oder zeitlichen Entfernung sortiert werden. So kann für jede beliebige Position ein Ort oder Zeitpunkt bestimmt werden, an der eine Aktivität stattfinden muss, um den Zug behinderungsfrei verkehren zu lassen. Das wird am Beispiel einer Position x in Abbildung 10.30 skizziert.

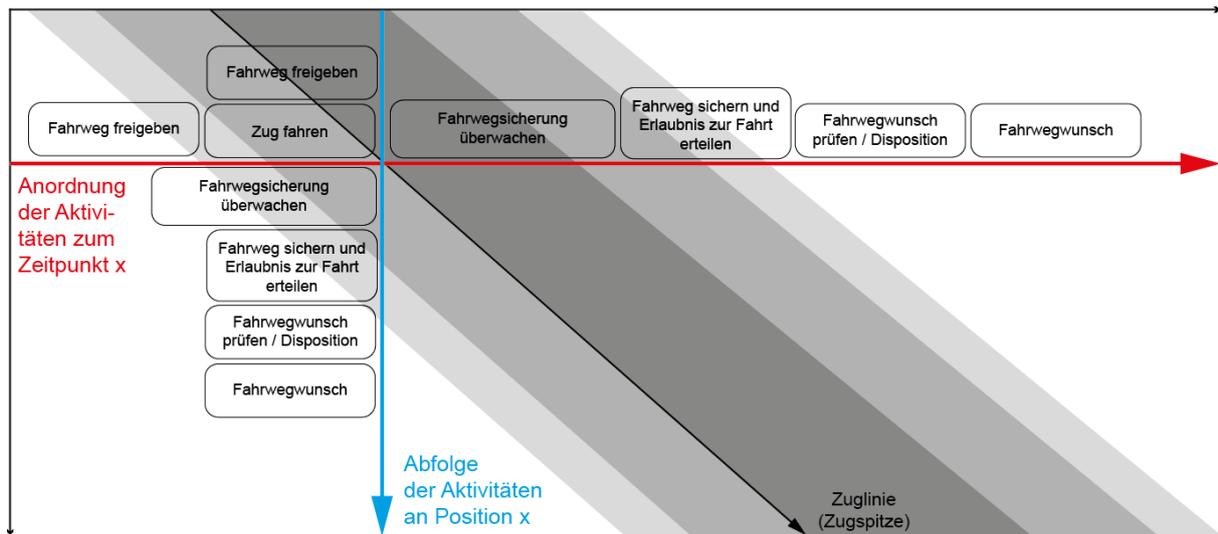


Abbildung 10.30 Sperrzeitband mit Abfolge der Aktivitäten im Prozess "Fahrt" (Skizze unmaßstäblich)

In dieser Situation bietet es sich an, die Definition des „Blockabschnittes“ neu zu formulieren. War der Blockabschnitt bisher ein ortsfester Abschnitt der Infrastruktur, so ist er nun eine sich virtuell bewegendende Zuglänge, welche sich entsprechend der gefahrenen Geschwindigkeit in ihrer Länge verändert. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Zug seinen aktuellen Bremsweg in seiner absoluten Länge zuzüglich eines Sicherheitszuschlages als frei befahrbares Gleis vor sich hat (Der Bremsweg wird vor sich her geschoben). Diese Unterkategorie wird als Fahren im absoluten Bremswegabstand bezeichnet [PACHL 2011].

Eine andere Möglichkeit ist das Fahren im relativen Bremswegabstand, bei der der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zügen „der Differenz der sich überlagernden geschwindigkeitsabhängigen Bremswege entspricht.“²¹⁶ Dieses Prinzip wird im Straßenverkehr angewendet, ist jedoch für Bahnsysteme sehr problematisch. Auf Grund der Spurführung muss die Umstellzeit für bewegliche Fahrwegelemente eingerechnet werden, welche zudem einen ortsfesten Gefahrpunkt bilden, „vor denen

²¹⁶ Zitat aus [PACHL 2011], Seite 34

immer der volle Bremsweg zur Verfügung stehen muss. Ein weiteres Sicherheitsproblem besteht darin, dass bei einem Unfall des vorausfahrenden Zuges der folgende Zug keine Möglichkeit hätte, rechtzeitig vor der Unfallstelle zum Halten zu kommen. Es gibt aus diesen Gründen keine Planungen, das Fahren im relativen Bremswegabstand in absehbarer Zeit im Bahnbetrieb einzuführen.“²¹⁷

10.4.4.3 Eignung des generischen Prozesses „Fahrt“

Der generische Betriebsprozess „Fahrt“ muss nicht für die Anwendung unter ETCS Level 3 (bzw. Fahren im wandernden Raumabstand) angepasst werden. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass der Prozess nicht mehr wie bei der konventionellen festen Blockteilung diskret initialisiert wird, sondern kontinuierlich abläuft und mehrere Aktivitäten und Kontrollflüsse gleichzeitig beansprucht werden.

In Abbildung 10.31 sind die benötigten Aktivitäten und Kontrollflüsse grün markiert, welche bei behinderungsfreier Fahrt zum Zeitpunkt x benötigt werden würden (in Analogie zu Abbildung 10.30).

²¹⁷ Zitat aus [PACHL 2011], Seite 35

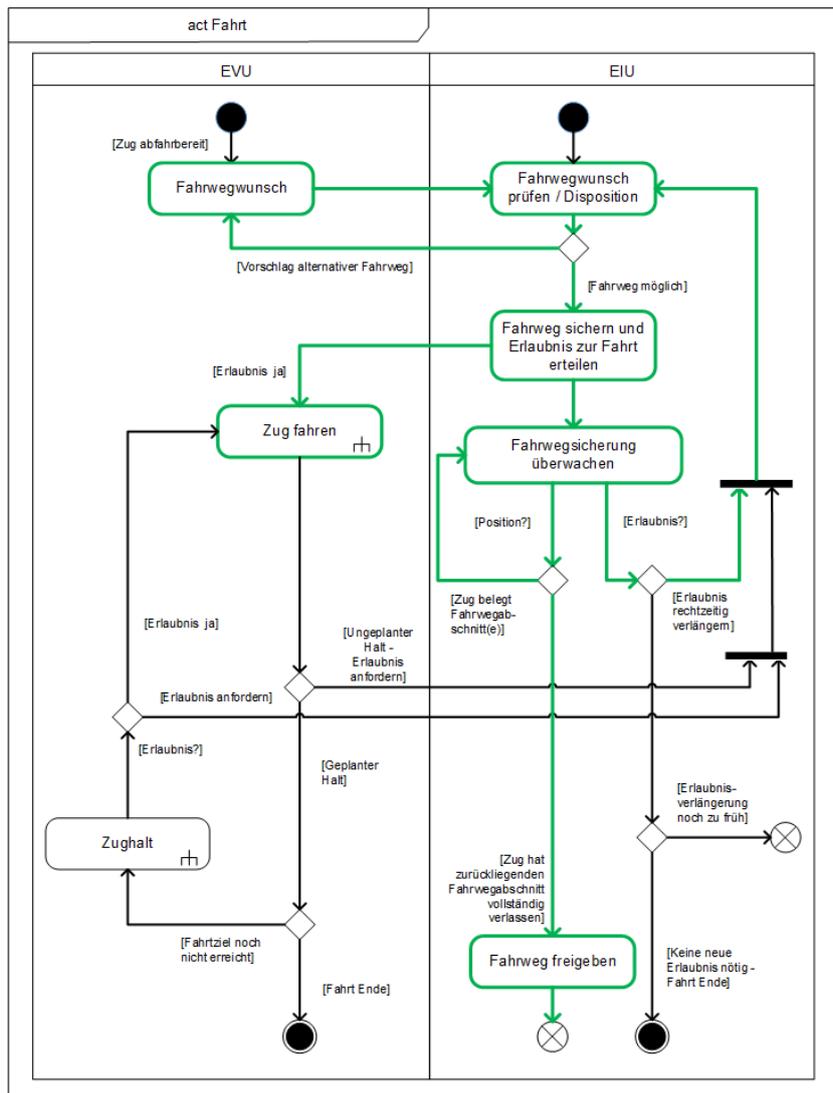


Abbildung 10.31 Aktivitäten im Prozess „Fahrt“ in ETCS Level 3 (Fahrt im absoluten Bremswegabstand)

Das Diagramm muss auch im Falle eines Belegungskonfliktes nicht verändert werden. Nähert sich ein Zug einem Fahrwegelement – z. B. der Weiche einer Abzweigstelle – die noch von einem anderen Zug belegt ist, dann kann die dafür notwendige Erlaubnis zum Befahren der Weiche nicht erteilt werden. Die Weiche stellt einen fixen Gefahrpunkt dar und das Bilden einer Fahrstraße ist nicht möglich, so dass die Infrastruktur den Zug zur Geschwindigkeitsreduktion zwingt. Dadurch wird erreicht, dass mit Annäherung des Zuges auch der aktuelle Bremsweg verkürzt wird. Erreicht der Zug die belegte Weiche, dann muss die Geschwindigkeit auf 0 km/h reduziert werden und der Zug wird anhalten. Anschließend werden Kontrollflüsse zur Anforderung einer neuen (oder verlängerten) Fahrerlaubnis aktiviert (siehe Abbildung 10.32).

Der Zugbetrieb in ETCS Level 3 benötigt einen sehr hohen technischen Ausstattungsgrad bei der Infrastruktur und auf den Fahrzeugen. Zur Realisierung von Zugfahrten müssen die Funktionen des Fahrwegeinstellens, -sicherns und der Überwachung des Zuges sowie die Freigabe der zurückliegenden Abschnitte ständig ausgeführt werden. Hierfür ist eine sehr hohe Reaktionsfähigkeit notwendig, die den Einsatz von Menschen nahezu unmöglich macht. Es wird angenommen, dass die Durchführung von Zugfahrten im wandernden Raumabstand annähernd einem automatischen Systembetrieb entspricht und Personal nur für Störereignisse vorgehalten wird, um kurzfristig einen eingeschränkten Hilfsbetrieb zu ermöglichen.

Für Zugfahrten in ETCS Level 3 kann das vorhandene UML-Diagramm „Fahrt“ verwendet werden, unter der Bedingung, dass für eine Zugfahrt mehrere Aktivitäten gleichzeitig oder mehrere Prozesse in unterschiedlichen Ablaufschritten ausgeführt werden.

Inwiefern unter ETCS Level 3 rangiert werden kann, ist nicht bekannt. Allerdings sind für Rangierfahrten zahlreiche ortsfeste Gefahrpunkte und andere Besonderheiten zu beachten, so dass Fahrten mit wandernden Rangierwegabschnitten nicht sonderlich produktiv sind. Aus diesem Grund wird angenommen, dass Rangierprozesse nur in abgegrenzten Topologien stattfinden (ähnlich einem Rf-Bereich) und Gleisbereiche für Fahrten in ETCS Level 3 gesperrt werden, um Rangierfahrten im konventionellen Sinn zu ermöglichen. Es sind hierfür die technische Entwicklung abzuwarten und daraus sinnvolle Schlussfolgerungen für eine zukünftige betriebliche Umsetzung zu ziehen.



Abbildung 10.33 Darstellung des Betriebsverfahrens mit ETCS Level 3 nach [BOSSE 2010]

Ein Betriebsverfahren unter Anwendung von ETCS Level 3 ist ein technikdominiertes Betriebsverfahren mit einem sehr hohen LST-Ausstattungsgrad (vgl. Abbildung 10.33).

10.5 Bereinigung der Prozessdiagramme

10.5.1 Einleitung

In Kapitel 10.2 werden aufbauend auf den Prozess „Fahrt“ weitere Prozesse für Rangierfahrten beschrieben. Rangierfahrten sind Fahrzeugbewegungen, die in abgegrenzten Bereichen stattfinden und eine besondere Vorsicht des Zugpersonals einbeziehen. Grundsätzlich kann ein normaler Zug während des Betriebes mehrfach zwischen den Prozessen wechseln, je nachdem welche Aufgabe er zu erfüllen hat und in welchem Gleisbereich er sich befindet.

In diesem Kapitel werden die Zug- und Rangierfahrtprozesse miteinander verknüpft und deren Übergangsmöglichkeiten dargestellt. Weiterhin werden sie nach den in Kapitel 7.2 beschriebenen Detaillierungsgrad klassiert.

10.5.2 Makroskopische Verknüpfung der Generischen Prozesse

In die makroskopischen Detaillierungsstufe werden die Prozesse „Fahrt“, „Rangieren Verantwortung Fahrwegsicherung“, „Rangierprozess Zf-Bereich“, „Rangierprozess Rf-Bereich“ und „Abstellung“ eingeordnet.

Der Prozess „Abstellung“ wird ohne vertiefte Beschreibung neu eingeführt, um Fahrzeuge, die passiv im Gleisnetz vorhanden sind, mit berücksichtigen zu können. Es wird dabei nicht unterschieden, ob diese Fahrzeuge ohne Personal abgestellt sind, be-/ entladen werden oder planmäßig auf den nächsten Einsatz warten (Zug mit Personal besetzt).

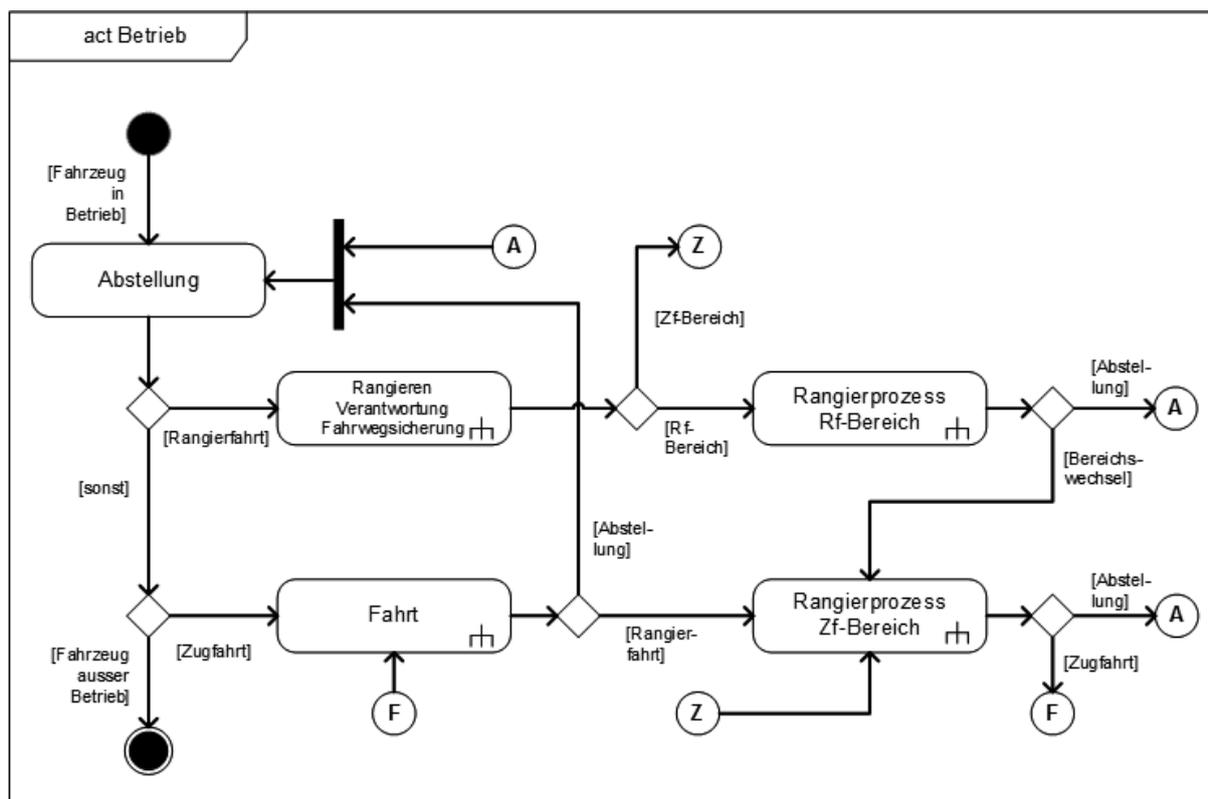


Abbildung 10.34 Makroskopische Darstellung des Eisenbahnbetriebs

In Abbildung 10.34 sind alle makroskopischen Prozesse integriert, und es sind nur die während des Stillstandes möglichen Übergänge mit Kontrollflüssen modelliert. Aus diesem Grund ist der Übergang vom Zf- zum Rf-Bereich nicht eingezeichnet (nur fahrend möglich), kann aber über den entsprechenden Aufruf im „Rangierprozess Zf-Bereich“ erfolgen (siehe Abbildung 10.41). Der Wechsel während einer Fahrzeugbewegung wird durch den direkten Aufruf des neuen Prozesses im momentan aktiven Prozess modelliert.

In Abbildung 10.34 wechselt ein betriebsfähiges²¹⁸ Fahrzeug aus einem abgestellten Zustand entweder in eine Zug- oder eine Rangierfahrt. Bewegt es sich als Rangierfahrt, ist zusätzlich zu prüfen, ob dies in einem Bereich mit verantwortlichem Fdl erfolgt oder ob das Fahrzeug sich selbständig bewegen darf (Zf- oder Rf-Bereich). Vom „Rangierprozess Zf-Bereich“ kann in einen Zugfahrtprozess übergegangen werden oder das Fahrzeug (bzw. der Zug) wird abgestellt. Möchte ein Zug aus einem „Rangierprozess Rf-Bereich“ in einen anderen Prozess wechseln, dann stehen der Über-

²¹⁸ Betriebsfähig bedeutet, dass das Fahrzeug regulär für einen Einsatz eingesetzt werden kann und nicht defekt ist oder sich in der Reparatur befindet.

gang in Rangierfahrt „Zf-Bereich“ oder Abstellung zur Auswahl. Ein direkter Wechsel in eine Zugfahrt ist in einem Rf-Bereich mangels Fdl nicht zulässig.

Wird das Fahrzeug nach der Abstellung als Zugfahrt fahren, so wird es sich immer in Gleisbereichen mit einem zuständigen Fdl befinden. Sobald das Fahrzeug einen Fdl-Bereich verlassen will, dann muss es in den „Rangierprozess Zf-Bereich“ wechseln und anschließend als Rangierfahrt in einen Rf-Bereich einfahren. Ein direkter Übergang von Fahrt nach „Rangierprozess Rf-Bereich“ würde bedeuten, dass die Zugfahrt in einem nicht überwachten Bereich enden würde, welches auf Grund der fehlenden Sicherung durch einen Fdl unzulässig wäre.

Der Übergang zum Abstellprozess ist aus allen drei Bewegungsprozessen möglich. Die Fahrt von und zu Abstellgleisen findet mehrheitlich als Rangierfahrt statt, kann aber auch als Zugfahrt erfolgen, wenn bspw. ein Zug in einem für Zugfahrten zugelassenen Überholungsgleis abgestellt wird.

Im regulären Betriebsablauf als auch im Dispositionsfall muss die Kommunikation zwischen EIU und EVU möglich sein. Wurde dies früher auf Grund mangelnder technische Hilfsmittel nur punktuell mit dem Einsatz zahlreicher Mitarbeiter realisiert, ist heute mit mobiler Kommunikation eine lückenlose Verbindung möglich. Die an den jeweiligen Prozessen beteiligten Mitarbeiter und deren Verknüpfung sind in Abbildung 10.35 abgebildet. Zwischen diesen Personen muss eine regelmäßige Kommunikation zur Durchführung, Disposition sowie zur Gefährdungsvermeidung bei Störeeignissen möglich sein.

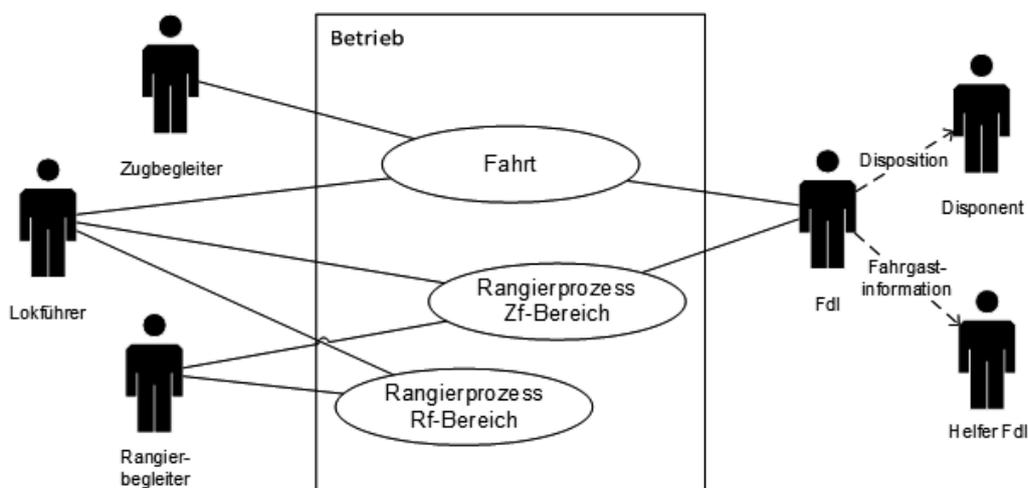


Abbildung 10.35 Beispieldarstellung beteiligter Mitarbeiter am Eisenbahnbetrieb

Der Disponent ist in diesem Fall nur indirekt beteiligt, indem er seinen Einfluss über die Anweisungen an den Fdl weitergibt. Die operative Sicherheitsverantwortung trägt der Fdl. Je nach Größe des Fdl-Bereiches, der Anzahl der durchgeführten Fahrten und der Organisationsstruktur des EIU können Funktionen des Fdl auch auf andere Infrastrukturmitarbeiter ausgelagert werden (z. B. Fahrgastinformation).

10.5.3 Mesoskopische Darstellung der Zugfahrtprozesse

Für die generische Beschreibung einer Zugfahrt wird das UML-Diagramm aus Abbildung 7.53 verwendet und mit je einer Partition für EVU und EIU vereinfacht dargestellt. Für einen bestimmten Gleisbereich wird es immer nur einen verantwortlichen Fdl geben, es können sich aber gleichzeitig mehrere Züge darin bewegen. In diesem Fall würde dann das Diagramm um weitere EVU-Partitionen erweitert werden, welche alle die gleichen verknüpfenden Kanten mit der EIU-Partition haben. Eine direkte Kommunikation zwischen den einzelnen Zug- oder Rangierfahrten ist nicht notwendig.

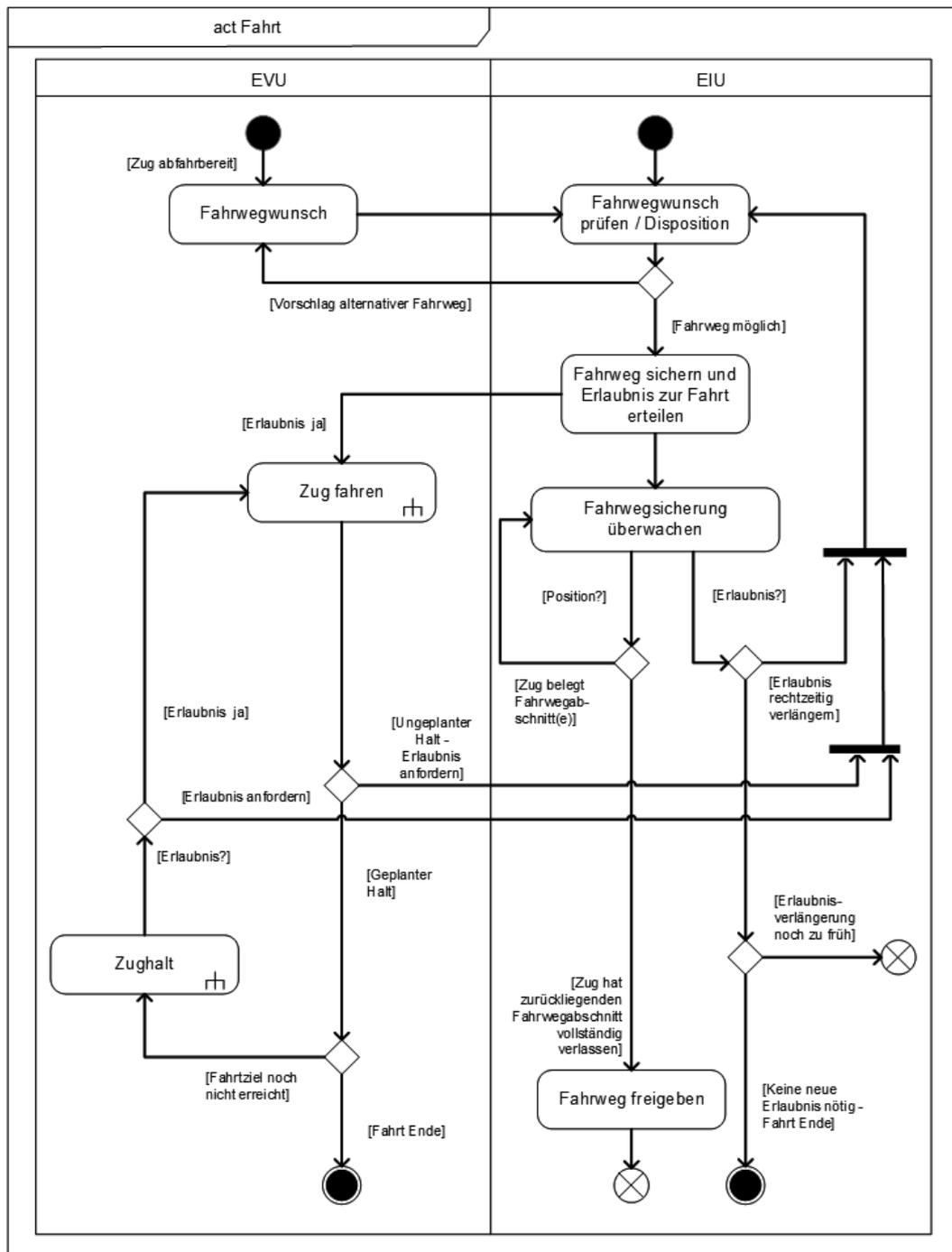


Abbildung 10.36 Generischer Betriebsprozess „Fahrt“

Die im mesoskopischen Prozess „Fahrt“ enthaltenen Aktivitäten „Zug fahren“ und „Zughalt“ werden nachfolgend in der darunterliegenden mesoskopischen Detaillierungsstufe abgebildet.

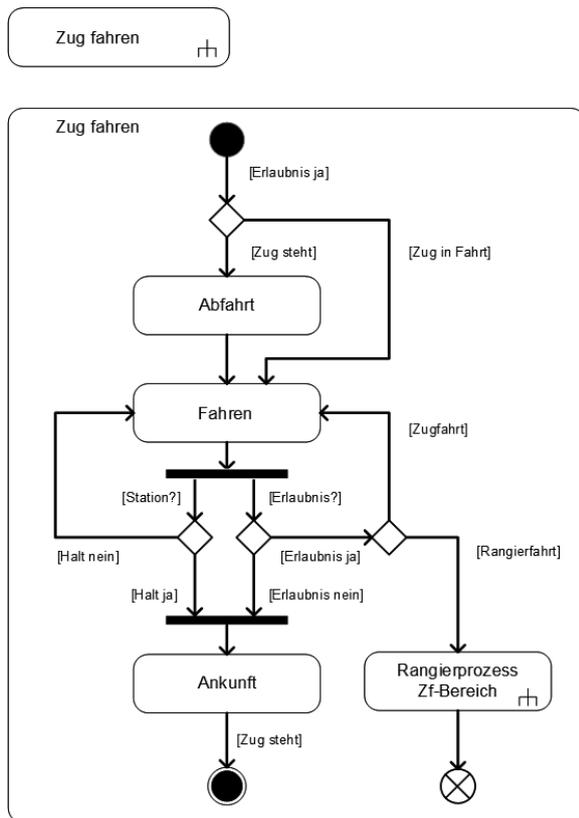


Abbildung 10.37 Mesoskopischer Unterprozess „Zug fahren“

Der Unterprozess „Zug fahren“ entspricht grundsätzlich dem aus Abbildung 7.48 und wurde lediglich um eine Übergangsmöglichkeit zum zwischenzeitlich eingeführten „Rangierprozess Zf-Bereich“ ergänzt. Es wird dadurch ermöglicht, dass eine Zugfahrt innerhalb eines Bahnhofs ohne Anhalten in eine Rangierfahrt übergehen kann. Voraussetzung dabei ist, dass die Geschwindigkeit ausreichend niedrig ist und der Lokführer sowie der Fdl darüber informiert sind.

Zur Vermeidung von Verwechslungen mit dem Aktivitätendiagramm „Fahrt“ (Abbildung 10.36) wurde die Aktivität „Fahrt“ in Abbildung 7.48 in die Aktivität „Fahren“ umbenannt. Es handelt sich hierbei um allgemeine Bewegungsabläufe eines Zuges.

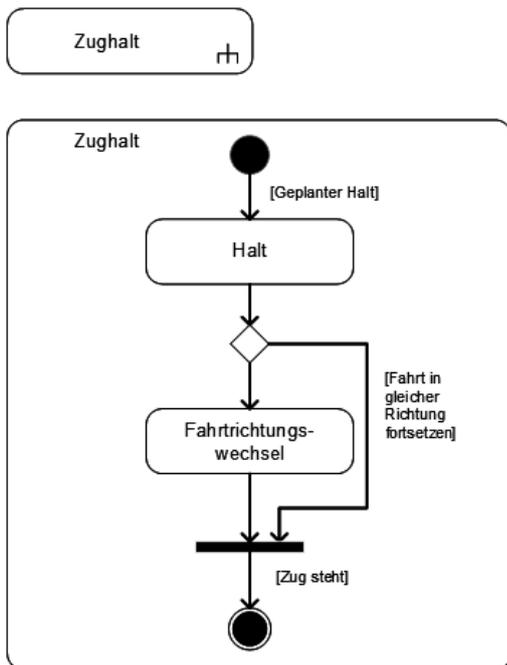


Abbildung 10.38 Mesoskopischer Unterprozess „Zughalt“

Der Prozess „Zughalt“ ist ein Vorgang, der während einer Zugfahrt stattfindet und mit dem auch die Fahrtrichtung gewechselt wird. Es wird nicht näher spezifiziert, was während der Aktion „Halt“ genau erfolgt, so dass es sich je nach Situation um einen Fahrgastwechsel, Ladevorgang, das Abwarten einer neuen Erlaubnis oder etwas anderes handeln kann.

10.5.4 Mesoskopische Darstellung der Rangierprozesse

Analog zum vorhergehenden Kapitel werden die Rangierprozesse zusammengefasst abgebildet. Der nachfolgende Prozess dient dazu, nach einer Abstimmung festzustellen, welcher Rangierprozess ausgeführt werden soll.

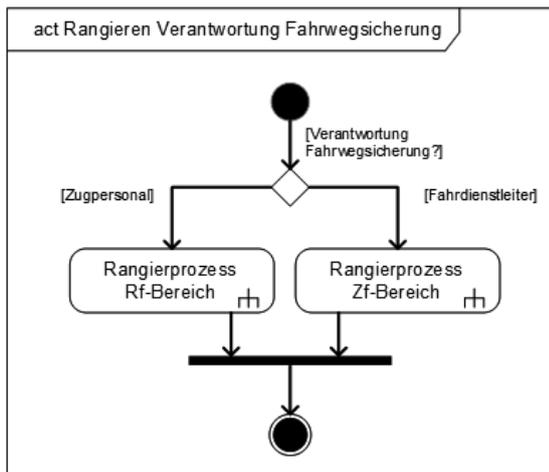


Abbildung 10.39 Generischer Entscheidungsprozess für das Rangieren

Im Anschluss sind die beiden Rangierprozesse für den Rf-Bereich (Abbildung 10.40) und den Zf-Bereich abgebildet (Abbildung 10.41). Zur Vermeidung von Verwechslungen mit dem Aktivitätendiagramm „Fahrt“ (Abbildung 10.36) wurde die Aktivität „Fahrt“ in Abbildung 10.40 in die Aktivität „Fahren“ umbenannt. Es handelt sich hierbei um allgemeine Bewegungsabläufe der Fahrzeuge im Rangierprozess.

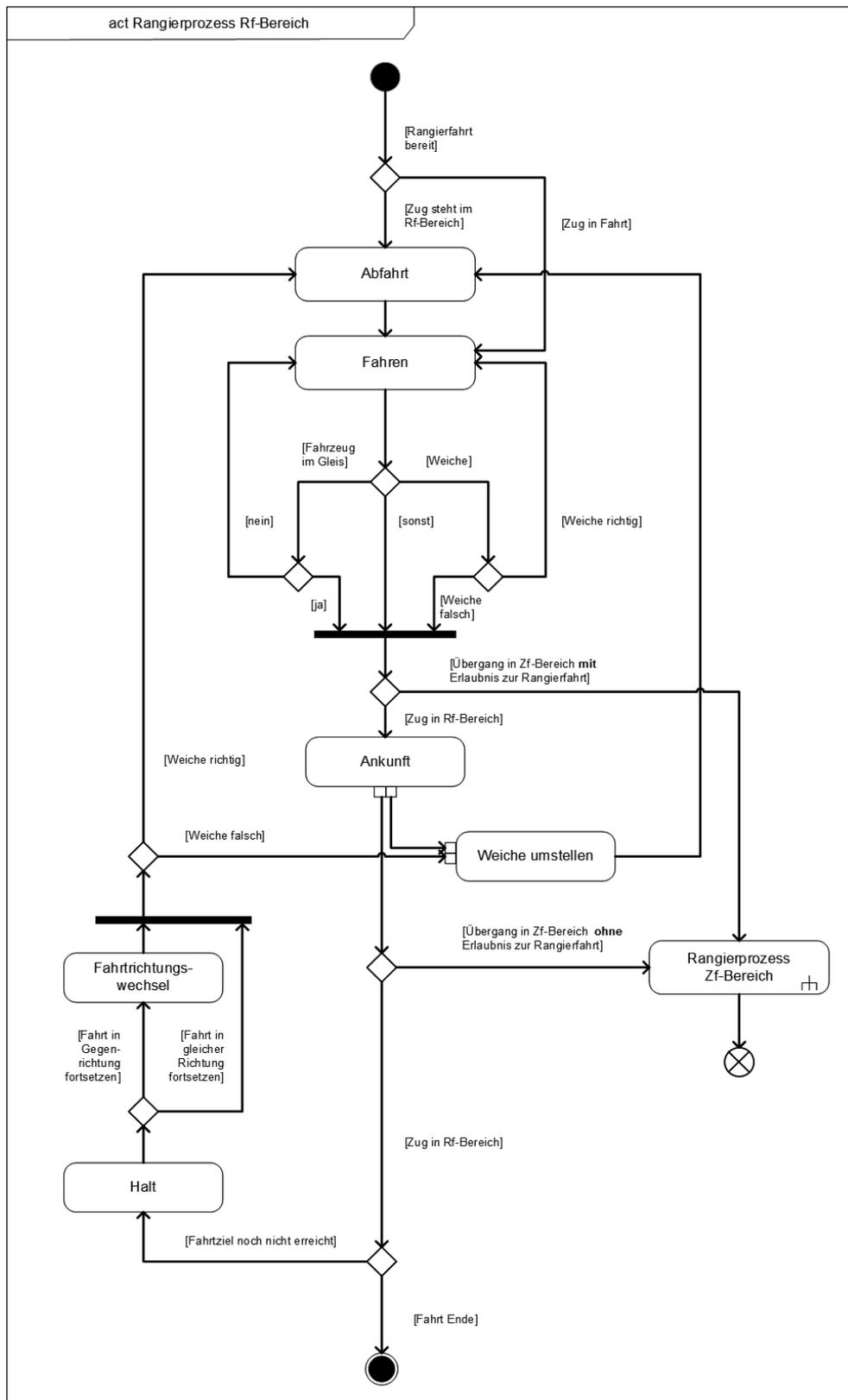


Abbildung 10.40 Generischer Rangierprozess Rf-Bereich

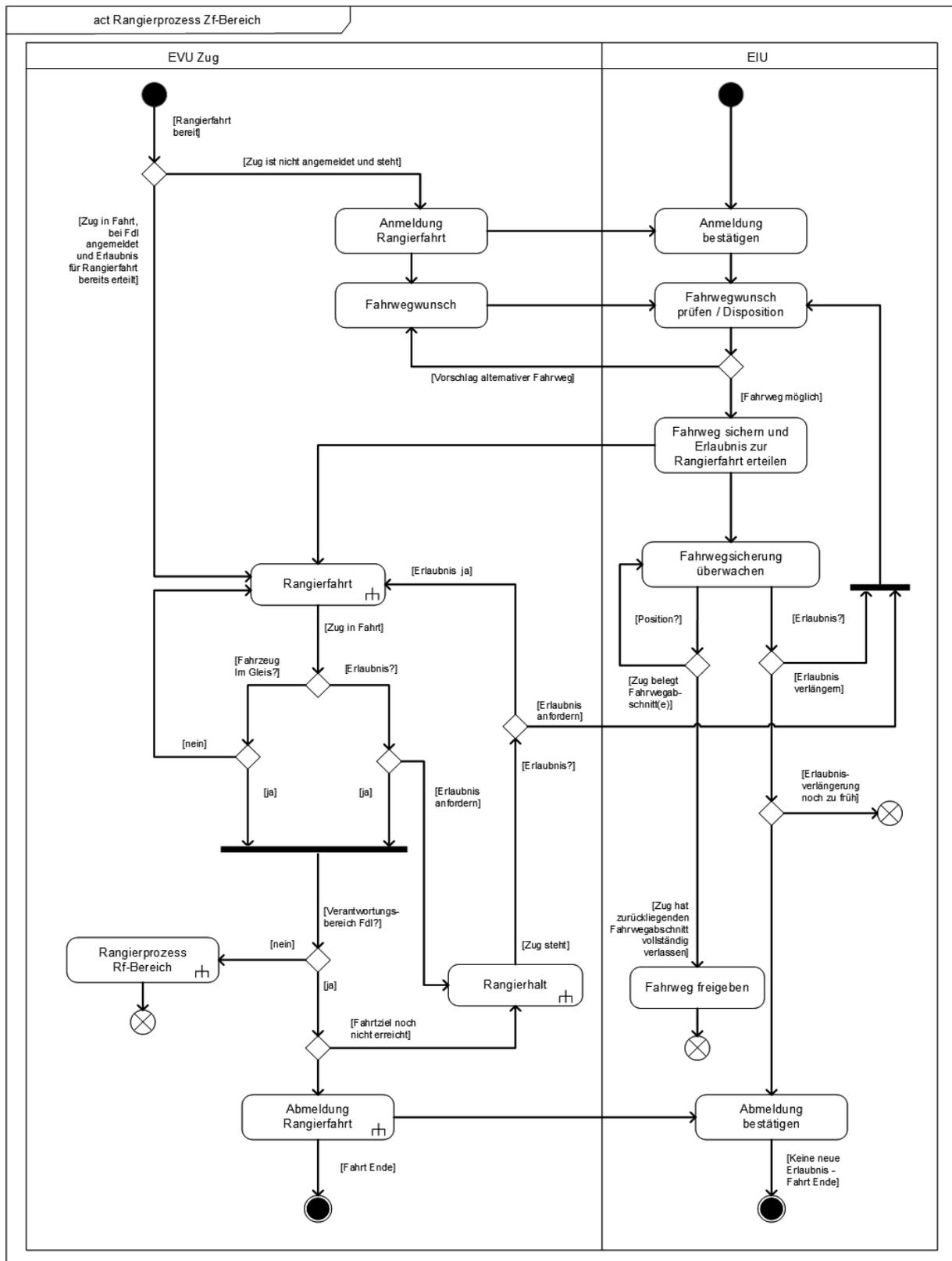


Abbildung 10.41 Generischer Rangierprozess Zf-Bereich

Der „Rangierprozess Zf-Bereich“ weist eine große Ähnlichkeit mit dem Zugfahrprozess „Fahrt“ auf, hat jedoch einen wesentlichen Unterschied in der Modellierung der EVU-Aktivitäten. Alle Bewegungen als Zugfahrt finden während des Unterprozesses „Zug fahren“ statt (siehe Abbildung 10.37), denn dieser beginnt mit einer „Abfahrt“ und endet mit einer „Ankunft“. Außerhalb dieses Unterprozesses finden keine Bewegungen statt, demzufolge wird die Aktivität „Halt“ nur im Stillstand ausgeführt.

Die Unterprozesse „Rangierfahrt“ und „Rangierhalt“ sind nicht mit den Unterprozessen „Zug fahren“ und „Zughalt“ gleichzusetzen. Der von „Rangierfahrt“ ausgehende Kontrollfluss sowie alle nachfolgenden Entscheidungen und Kanten gelten für eine fahrende Rangiereinheit. Daraus folgt, dass die Unterprozesse „Rangierhalt“ und „Abmeldung Rangierfahrt“ in einer Bewegung beginnen. Dadurch ist es möglich, den Übergang zum „Rangierprozess Rf-Bereich“ in das Modell einzufügen, welcher nur fahrend erfolgen kann (siehe Kapitel 10.2.7).

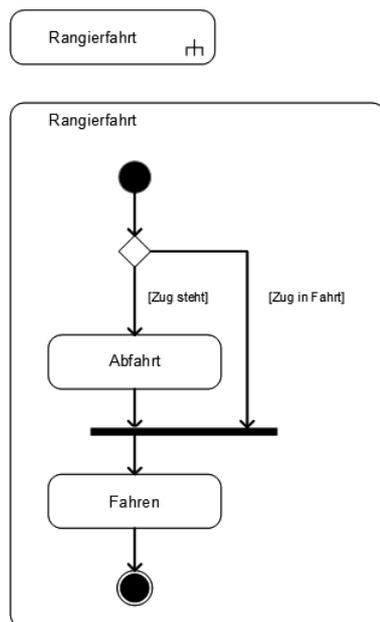


Abbildung 10.42 Mesoskopischer Unterprozess Rangierfahrt

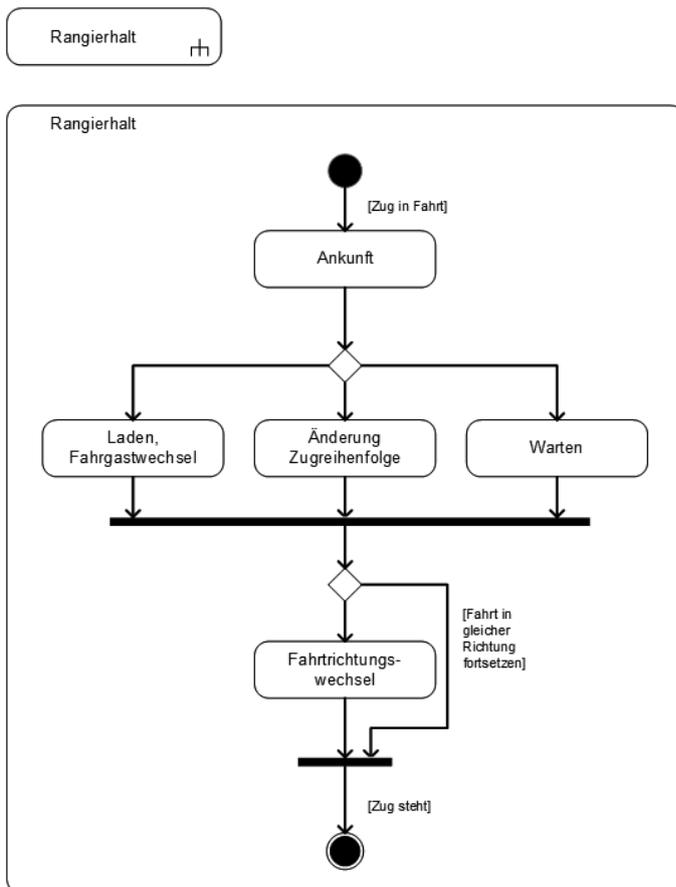


Abbildung 10.43 Mesoskopischer Unterprozess Rangierhalt

In den Unterprozess „Rangierhalt“ sind nach dem Anhalten alle üblichen Aktivitäten integriert und im Anschluss wird der Unterprozess „Rangierfahrt“ fortgesetzt (abhängig von der Erlaubnis).

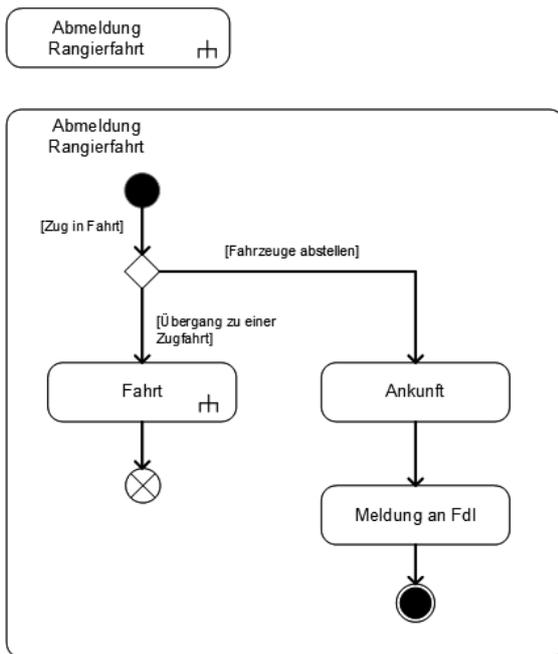


Abbildung 10.44 Mesoskopischer Unterprozess Rangierfahrt

Der fahrende Übergang von einer Rangierfahrt Zf-Bereich in eine Zugfahrt wird in den Unterprozess „Abmeldung Rangierfahrt“ integriert. Soll dieser Wechsel stehend erfolgen, dann wird die Rangiereinheit anhalten und sich anschließend beim Fdl melden. Der „Rangierprozess Zf-Bereich“ wird somit regulär beendet und ein neuer Prozess „Fahrt“ begonnen.

10.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde an Hand verschiedener Fallbeispiele untersucht, inwieweit die Prozessdiagramme ohne Veränderung auf unterschiedliche betriebliche Situationen anwendbar sind.

Eingangs wurden zusätzliche Rangierprozesse entwickelt, die eine Ergänzung zum generischen Betriebsprozess „Fahrt“ darstellen. Mit Hilfe der Rangierprozesse kann die absolute, räumliche Trennung zwischen den Zügen aufgehoben werden. Hierfür ist die Einbindung des Zugpersonals in die Fahrwegsicherung notwendig. Die Rangierprozesse wurden für die topologische Struktur „Bahnhof“ entwickelt. Ein Bahnhof kann aus unterschiedlichen Bereichen bestehen, abhängig von der örtlichen Zuständigkeit eines Fdl. Für die Entwicklung der Rangierprozesse konnte weiterhin auf die Erkenntnisse aus der Herleitung in den Kapiteln 7.6 und 7.7 zurückgegriffen werden.

Die drei untersuchten Rangierbeispiele sind typische Abläufe in konventionellen Bahnsystemen. Es kann als Ergebnis festgehalten werden, dass die Modellierung ohne spezielle Anpassungen der Aktivitätendiagramme an das Fallbeispiel möglich ist.

Daran anschließend wurden zwei Beispielvorgänge analysiert (Zugvereinigung, -trennung), die typische Bestandteile von Zugfahrten sein können. Für die Modellierung waren grundsätzlich der Zugfahrt- sowie die Rangierprozesse verfügbar. Es wurde untersucht, welche Prozesse verwendet und wie diese für eine Modellierung miteinander kombiniert werden müssen. Es konnte festgestellt werden, dass die Beispiele mit den verfügbaren Diagrammen nachvollzogen werden können, und es war keine nachträgliche Anpassung der Aktivitätendiagramme an die jeweilige Situation notwendig.

In den Kapiteln 10.2 und 10.3 konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche betriebliche Abläufe in verschiedenen Topologien mit den gleichen Prozessdiagrammen verknüpft und modelliert werden können. Es kann daraus geschlossen werden, dass es möglich ist, einen generischen Prozesskern zu bilden, der unabhängig von den örtlichen Realisierungen und nationalen Randbedingungen ist. Bspw. war es nicht notwendig, die schweizerische Eigenschaft des Linksfahrbetriebes (links stehende Signale) besonders zu berücksichtigen.

In Kapitel 10.4 werden zwei nicht-konventionelle Bahnsysteme sowie das noch nicht realisierte Zugsicherungssystem ETCS Level 3 untersucht. Ziel dieser Fallstudien

war es, zu untersuchen, inwieweit die Prozessdiagramme auch auf Bahnsysteme mit deutlich abweichenden Charakteristiken anwendbar sind. Die generischen Prozesse können teilweise auch auf diese besonderen Bahnen übertragen werden, jedoch unter der direkten Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften. Bspw. stellen die Zugfahrten der Betriebsform Zugverband eine Kombination aus Zug- und Rangierfahrten dar.

Das Kapitel schließt mit der Zusammenfassung der Betriebsprozesse. Es kann dabei veranschaulicht werden, welche Verknüpfungen zwischen den Prozessen bestehen, und dass das Beschreibungsmittel UML den in Kapitel 6.3 aufgeführten Anforderungen entspricht.

In Kapitel 10 wird der Nachweis erbracht, dass die hergeleiteten generischen Betriebsprozesse in unterschiedlichen Situationen verwendet werden können und die Bildung eines generischen Prozesskernes möglich ist. Das Beschreibungsmittel UML hat die Testanwendung unterstützt und die Prinzipien der Betriebsdurchführung der Eisenbahn sind daraus ablesbar. Die angewandte Beschreibungsmethode bietet die Möglichkeit, die Modelle, je nach geforderter Detaillierungstiefe der Beschreibung oder den jeweiligen Besonderheiten des untersuchten Systems, zu erweitern oder neu auszurichten.

11 Synthese

11.1 Prüfung der Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeit der Harmonisierung von Fahrdienstregeln zu untersuchen und einen Beitrag zur betrieblichen Interoperabilität zu leisten. Es ist dabei zu beantworten, ob auf Grundlage fundamentaler Eigenschaften einheitliche Regeln definiert und beschrieben werden können, mit denen ein europaweites Regelwerk erstellt werden kann.

Hypothese 1

Es gibt fundamentale Eigenschaften, die für alle Eisenbahnen zutreffen.

Die grundlegenden Eigenschaften sind die Spurführung und die geringe Reibung durch den Fahrzeug-Fahrweg-Kontakt Stahl auf Stahl. Diese haben Einfluss auf die Gestaltung der Betriebsregeln.

In einem Eisenbahnnetz dürfen lange und schwere Züge mit hoher Geschwindigkeit verkehren, deren Bremsweglänge von der Spitze des Zuges nicht sicher überblickt werden kann. Weiterhin erzwingt die Spurführung, dass nur an ausgewählten Punkten (Fahrwegverzweigungen) auf ein anderes Gleis ausgewichen werden kann. Daraus folgt, dass die Topologie für eine individuelles Fahren der Züge einen erhöhten Mehraufwand verursachen würde (vgl. Kapitel 7.5.3), so dass es einen infrastrukturseitigen Manager (Fdl) geben muss, der die Zugfahrten auf einer wirtschaftlichen Infrastruktur sicher koordiniert und disponiert. Ausnahmen bilden besondere Fahrten mit niedriger Geschwindigkeit (Rangierfahrten), die vor einem Hindernis im Sichtabstand anhalten können. Diese Fahrten dürfen jedoch nur in Bereichen verkehren (Rf-Bereich), die gegenüber Zügen mit langem Bremsweg abgegrenzt sind.

Eine weitere fundamentale Eigenschaft ist die mangelnde Selbstorganisationsfähigkeit der Eisenbahn, die das Verkehrssystem gegenüber anderen Schienenbahnsystemen unterscheidet. Selbstorganisierende Bahnsysteme sind nur unter den Randbedingungen möglich, dass kurze Züge verkehren, kurze Bremswege realisiert werden und ein homogenes Betriebsprogramm durchgeführt wird, wie bspw. in Straßenbahnsystemen.

Hypothese 2

Auf Grund der mangelnden Selbstorganisationsfähigkeit von Zugfahrten müssen einheitliche Regelungen existieren, die Konflikte sicher und zügig lösbar gestalten.

Die mangelnde Selbstorganisationsfähigkeit erfordert Abstimmung der einzelnen Fahrten zwischen der Infrastruktur und dem Zug. Dabei müssen für Zugfahrten folgende einheitliche Regelungen eingehalten werden, unabhängig welcher technische Ausstattungsgrad auf einer Bahnstrecke besteht:

- Grundsatz: Eine Zugfahrt muss immer gegenüber anderen Fahrzeugen abgegrenzt und gesichert werden.
- Für die Abgrenzung wird die Infrastruktur in Fahrwegabschnitte unterteilt.
- Ein Zug darf nur mit der Erlaubnis des Infrastrukturbeobachters (Fdl) in einem Fahrwegabschnitt fahren.
- Der gesamte Fahrweg eines Zuges muss dem Zugpersonal und dem Infrastrukturbeobachter bekannt sein. Das gilt auch bei zwischenzeitlichen (dispositiven) Änderungen.
- Der Fahrweg muss vor dem Befahren richtig eingestellt sein und es dürfen sich keine anderen Fahrzeuge darin befinden.
- Der Fahrweg muss während des Befahrens unveränderlich sein und es dürfen keine fremden Fahrzeuge eindringen.
- Der Fahrweg muss nach dem Befahren frei von Fahrzeugen sein, bevor die Sicherung aufgehoben werden darf.

Diese Grundregeln gelten für jeden Fahrwegabschnitt, der Befahren werden soll. Da Zugfahrten immer von anderen Eisenbahnfahrten räumlich getrennt werden, besteht keine Möglichkeit für einfache Fahrzeugbewegungen zur Zugbildung, Be-/ Entladung oder Abstellung von Zügen. Die Prozesslandschaft wird durch weitere Prozesse für Rangierfahrten ergänzt, bei denen teilweise oder ganz Funktionen der Fahrwegsicherung und Disposition auf den Zug übergehen. Hierfür wurden zwei Rangierpro-

zesse modelliert, welche in kleinräumigen Bereichen (Bahnhöfe) durchgeführt werden können.

- Sollen sich mehrere Fahrzeuge gleichzeitig in einem Fahrwegabschnitt bewegen, dann müssen alle Fahrten innerhalb des einsehbaren Fahrweges sicher vor einem Hindernis anhalten können (Rangierfahrten).

Es könnten einheitliche Regelungen bestimmt werden, um Züge sicher und schnell verkehren zu lassen (siehe Kapitel 7.6 bis 7.9 sowie Kapitel 10.2). Die einheitlichen, generischen Regelungen sind auch bei nicht konventionellen Bahnen unter Abstraktion der jeweiligen Besonderheiten wiederzuerkennen (siehe Kapitel 10.4).

Hypothese 2 kann bestätigt werden.

Hypothese 3

Die Harmonisierung findet in einem Umfang statt, der alle netzweit geltenden Regeln mit Schnittstellen zu mobilem Personal betrifft und ohne konkreten Bezug zu Realisierungsformen beschrieben werden kann.

Dem Zugpersonal und den Infrastrukturmitarbeitern können eindeutige Bezugssysteme zugeordnet werden. Für das Zugpersonal ist das der Zug, für den es verantwortlich ist, und für das Infrastrukturpersonal (Fdl) ist es ein definierter Gleisbereich. Auf Grund der mangelnden Selbstorganisationsfähigkeit müssen Zug und Infrastruktur miteinander kommunizieren.

Für die Durchführung von Zug- und Rangierfahrten müssen mehrfach Informationen übermittelt werden. Hierzu zählen die Anmeldung der Fahrt, die Zustimmung oder Ablehnung des Fahrtwunsches durch den Fdl, die Erteilung der Fahrerlaubnis, die Anforderung einer neuen Erlaubnis durch den Zug sowie die Übermittlung von Statuswechseln des Zuges (Rangierfahrt, Abstellung). Grundsätzlich gilt dies für alle weiteren Mitarbeiter, denen Aufgaben aus den entsprechenden Verantwortungsbereichen übertragen werden können (vgl. Abbildung 10.35).

Wird die Erlaubnis zur Fahrt abschnittsweise erteilt, dann ist eine punktweise Kommunikation ausreichend. Erfolgt dies permanent, dann muss eine ständig (Funk-) Kommunikation aufrecht erhalten werden. Ist der Zustand eines Zuges unklar, z. B.

durch eine Störung, dann dürfen keine positiven Annahmen getroffen werden und mögliche Gefährdungen sind auszuschließen.

Die Entwicklung der generischen Diagramme und ihre Testanwendung in den Fallbeispielen haben gezeigt, dass die Handlungsprinzipien unverändert bestehen bleiben, auch wenn die technischen Ausführungen sich unterscheiden. Das Prinzip der Erteilung der Fahrerlaubnis bleibt gleich, unabhängig davon, ob dies auf Strecken mit konventioneller LST erfolgt oder mit ETCS Level 2. Grundsätzlich muss immer zuerst feststehen, welcher Weg befahren werden soll, ob dieser entsprechend eingestellt und frei von anderen Fahrzeugen ist und erst danach darf die Erlaubnis zur Abfahrt (oder Weiterfahrt) erteilt werden.

Allgemein hat die Beschreibung mit generischen Produktionsmitteln in einer generischen Umgebung dazu beigetragen, den generischen Anspruch zu bewahren. Es wurden lediglich typische Bezeichnungen innerhalb des Verkehrssystems verwendet, wie bspw. Zug. Es musste nicht näher definiert werden, aus welchen Fahrzeugen dieser Zug besteht und welche besonderen Eigenschaft er besitzt.

Die makro- und mesoskopischen Diagramme sind generisch und benennen nur Objekte, die charakteristisch für die Eisenbahn sind und berücksichtigen keine besonderen Realisierungsformen.

Hypothese 3 kann ebenfalls bestätigt werden.

Hypothese 4

Die Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen ist basierend auf einem einheitlichen Glossar interoperabel möglich und zwischen natürlichen Sprachen übersetzbar.

Es steht kein gemeinsames und interoperabel nutzbares Fachwörterbuch zur Verfügung. Das umfangreichste Fachlexikon für das Gesamtsystem Eisenbahn wurde im Jahr 1990²¹⁹ veröffentlicht und ist neben der nachlassenden Aktualität auch von der Begriffsbestimmung der ehemaligen DDR geprägt. Eine aktualisierte Auflage für die BRD oder gar den deutschsprachigen Raum ist nicht verfügbar. Aus diesem Grund

²¹⁹ Siehe [ADLER 1990]

muss auf verschiedene Fachwortlisten und Glossare zurückgegriffen werden, z. B. auf Fachlexika oder Definitionen in Rechtsnormen und FDV.

Die Termini der Eisenbahn werden seit mehr als 175 Jahren weiterentwickelt und sind neben unternehmensinternen Festlegungen auch durch die staatliche Gesetzgebung geprägt. Für die betriebliche Interoperabilität ist es notwendig, dass Begriffe einheitlich bezeichnet und verstanden werden, da diese nun nicht mehr unternehmensintern sind, sondern einem öffentlichen Kreis an Fachpersonen zur Verfügung stehen müssen. Weiterhin müssen Bezeichnungen mit abweichenden Begriffsbestimmungen vermieden werden, um die Verwechslungsgefahr zu reduzieren. Sind die Termini innerhalb der Fachsprachen harmonisiert, dann können diese auch einheitlich zwischen diesen übersetzt werden.

Es wird empfohlen, für eine saubere und vollständige Harmonisierung der Termini neben den Verkehrswissenschaften auch die Sprach- und Rechtswissenschaften zu beteiligen. Eine Harmonisierung von Begriffen ist auf Grund der inhaltlichen Fülle und unter alleinigem Fokus der Eisenbahnbetriebswissenschaft vorerst nicht zielführend. Es werden jedoch Beispiele aufgeführt, an Hand derer die Komplexität der Harmonisierung verdeutlicht werden soll (siehe Kapitel 8) und mögliche Lösungsansätze gegeben werden (siehe Kapitel 8.2.3.1 Entgleisungsvorrichtung). Weiterhin wurden für die Modellierung und Erläuterung der generischen Prozessdiagramme Bezeichnungen verwendet, welche im täglichen Betriebsablauf verwendet werden. Diese sind vorerst noch nicht auf einen realen Bahnbetrieb zu beziehen und sollen innerhalb der Arbeit als generische Termini angesehen werden. Als Nachschlagewerk dient die Wortliste in Kapitel 8.3.

Obwohl zur Zeit keine harmonisierten Termini zur Verfügung stehen, müssen die Eisenbahngesellschaften in Europa miteinander kommunizieren und Regelwerke in unterschiedlichen Zeitabständen anpassen und weiterentwickeln. Die wiederkehrenden Aktualisierungen der TSI haben sowohl auf die nationale Gesetzgebung als auch auf die betrieblichen Regelwerke Einfluss. Es müssen demzufolge immer wieder Richtlinien miteinander verglichen und angepasst werden. Hierfür wurde eine Methode entwickelt, welche ein strukturiertes Vorgehen bei der Analyse, dem Vergleich und der Anpassung von Regelwerkstexten unterstützt (siehe Kapitel 9). Die Harmonisierung von Regeln ist möglich, sie muss sich aber auf einen bestimmten Fachwortschatz beziehen und die berücksichtigten Wortlisten und Glossare referenzieren.

Die Hypothese 4 kann bestätigt werden.

11.2 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die anfangs aufgestellten Hypothesen konnten positiv beantwortet werden und die Bildung eines generischen Prozesskerns ist möglich. Es wurde eine Basis geschaffen, auf der ein zukünftiges, harmonisiertes Betriebsverfahren aufgebaut werden kann. Diese Grundlage besteht aus generischen Betriebsmitteln, welche zusammen mit den funktionalen Anforderungen das Generische Referenzsystem Eisenbahn bilden. In diesem Referenzsystem werden Prozesse modelliert, die von einem einfachsten System ausgehen und bis zu einem bestimmten Punkt erweitert werden, ab dem keine Änderung des Modells mehr nötig ist. Es besteht keine Notwendigkeit sich auf konkrete technische Realisierungsformen zu beziehen, so dass ein allgemeingültiger Prozessverlauf abgebildet werden kann. Es ist davon auszugehen, dass die generischen Betriebsprozesse auch auf Bahnen außerhalb des Untersuchungsgebietes DACH übertragen werden können, da allgemein die gleichen generischen Betriebsmittel verwendet werden und auch die gleichen Grundanforderungen an das Verkehrssystem gestellt sind. Der Zweck einer Zugfahrt ändert sich nicht mit dem Überfahren einer Staatsgrenze und dem damit verbundenen Wechsel der FDV.

Weiterhin ist die Bildung der Prozesse auch ohne einen harmonisierten Fachwortschatz möglich. Dies erfordert zwar zusätzliche Begriffsbestimmungen oder die Zuordnung bestimmter Wortlisten, ist jedoch durch die Unterstützung eines semiformalen Beschreibungsmittels realisierbar und ermöglicht eine übersichtliche und nachvollziehbare Darstellung. In diesem generischen Beschreibungsstadium wird durch Verwendung der UML die Wahrscheinlichkeit von Missdeutungen reduziert und die Verfahrensabläufe sind weitestgehend genau modellierbar.

Die Harmonisierung des Fachwortschatzes, limitiert auf die in dieser Arbeit verwendeten Termini und den deutschsprachigen Raum, ist bereits so umfangreich, dass eine Angleichung aller Begriffe nur über einen langen Zeithorizont möglich und hier nicht vollumfänglich integrierbar ist. Es sind neben unterschiedlichen Bezeichnungen auch ungleich definierte Begriffe mit abweichenden Abgrenzungen zu beachten, die wiederum in Verbindung zu anderen Termini stehen können und dort zusätzliche Harmonisierungsanforderungen nach sich ziehen. Weiterhin sind Definitionen in Rechtsnormen zu beachten und es muss bei einer Vereinheitlichung methodisch korrekt und sachlogisch vorgegangen werden. Aus diesem Grund ist es notwendig, für eine Harmonisierung die Methoden der Sprach- und Rechtswissenschaft einzubeziehen sind und eine praktische Anpassung länderübergreifend mit den jeweiligen Aufsichtsbehörden und Bahngesellschaften durchzuführen ist.

Gleichzeitig kann die Weiterentwicklung der generischen Betriebsprozesse erfolgen, mit dem Ziel, eine Harmonisierung der Verfahrensabläufe zu erreichen und eine Migrationsstrategie für die Anpassung der Regelwerke zu entwickeln. Hierfür ist ebenfalls mit einem langfristigen Anpassungsprozess zu rechnen, welcher jedoch für die betriebliche Interoperabilität unabdingbar ist und mit der Umsetzung von ETCS notwendig wird. Die Harmonisierung und tatsächliche Umsetzung wären dann nicht mehr generisch und sind ebenfalls auf die Mitwirkung verschiedener Akteure angewiesen, um eine ausreichende Akzeptanz bei allen Beteiligten zu erreichen. Die zwischenstaatliche Zusammenarbeit ist dabei unabdingbar und es ist durchaus denkbar, dies in einem kontinentalen Forschungsprojekt durchzuführen.

Als positiver Begleiteffekt wird ein besseres Verständnis des Bahnbetriebes erwartet, indem heutige Differenzen quasi automatisch reduziert werden. Zusätzliche Erläuterungen für den Bau und Betrieb von Eisenbahninfrastrukturen, Fahrzeugen und LST würden dann entfallen und auch die Übersetzung von Fachtexten und Richtlinien wäre einheitlich möglich. Die Beibehaltung national gewachsener Unterschiede ist bei einem geforderten internationalen Erwerb und Einsatz von (mobilen) Betriebsmitteln nicht haltbar. Daraus resultieren wiederum Anforderungen an die Infrastruktur und LST, welche auf Grund der starken Verzahnung zwischen den Betriebsmitteln unabdingbar sind.

Eine einheitliche Basis zur gemeinsamen Betriebsdurchführung ist in einem liberalisierten und internationalisierten Verkehrssystem eine Grundanforderung und muss in Zukunft realisiert werden.

11.3 Fazit

Es kann abschließend festgehalten werden, dass eine Harmonisierung der betrieblichen Regeln ausgehend von den heutigen, in natürlicher Sprache verfassten Regelwerken von geringem Erfolg wäre und unverhältnismäßig lange dauern würde. Zu groß sind die Differenzen der Eisenbahnfachsprache bereits innerhalb einer natürlichen Sprache, so dass das Hinzufügen jeder weiteren Sprache zu einer deutlich höheren Komplexität führt.

Zum einen bestehen in der deutschen Eisenbahnfachsprache zahlreiche Termini, die mit gleicher Bezeichnung für verschiedene Begriffe verwendet werden, oder die mit ähnlichen Bezeichnungen, jedoch komplett anderer Begriffsbestimmung, zu einer Verwechslung führen können, und zum anderen keine festgeschriebene Definition

besitzen. Im Weiteren sind die unterschiedlich strukturierten Richtlinien ein Hemmnis, indem keine einheitliche Regelungstiefe besteht, der inhaltliche Umfang stark abweicht, die Aussagenlogik differiert ist, oder die natürlich-sprachliche Formulierung der einzelnen Regeln abweicht.

Für den Entwurf eines gemeinsamen, betrieblichen Regelwerkes müsste der Inhalt der bestehenden Richtlinien abstrahiert, miteinander verglichen und harmonisiert werden. Auf Grund der zahlreichen sprachlichen Differenzen und des fehlenden Fachwortschatzes erscheint es als unwahrscheinlich, gemeinsame Grundsätze herauszuarbeiten und mit der Zustimmung aller Beteiligten zu publizieren. Es müsste eine sehr große Anzahl an Entscheidungen und Annahmen getroffen werden, so dass ein künstliches und erzwungenes Ergebnis für eine harmonisierte Richtlinie zu erwarten wäre.

Das System Eisenbahn wird von gemeinsamen technisch-physikalischen Eigenschaften geprägt und wird europaweit für einheitliche Verkehrsfunktionen verwendet. Es hat sich in dieser Arbeit gezeigt, dass die Möglichkeit zur Bildung eines Generischen Referenzsystems besteht, das generische Betriebsmitteln der Infrastruktur, der Fahrzeuge und der LST umfasst. Weiterhin war es möglich, die Bewegungsabläufe zur Erfüllung des allgemeinen Verkehrszwecks an Hand generischer Betriebsprozesse nachzubilden. Die Handlungsprinzipien können mit einem semiformalen Beschreibungsmittel abgebildet werden, dass neben graphischen Elementen auch Begriffe verwendet.

Eine Übersetzung der generischen Aktivitätendiagramme in eine andere natürliche Sprache ist ohne großen Aufwand möglich. Die Anzahl der verwendeten Begriffe ist anfangs sehr gering und die Verknüpfung innerhalb des Prozesses sind graphisch leicht nachvollziehbar. Die ersten Begriffe können für den Aufbau eines Fachwortschatzes verwendet werden, in dem diese eine eindeutige Definition erhalten und gegenüber anderen Begriffen abgegrenzt werden. Es können durchaus bisherige Bezeichnungen verwendet werden, jedoch ist darauf zu achten, dass die Definitionen vollständig aufgeführt werden und innerhalb eines Wörterbuches keine Widersprüche auftreten. Daraus ergibt sich die Möglichkeit zur Übersetzung in eine andere natürliche Sprache.

Werden die Prozessbeschreibungen in weiteren Schritten präzisiert, dann sind die Wörterbücher entsprechend nachzuführen und zu erweitern. Bei der Konkretisierung der Prozesse ist darauf zu achten, dass diese in einer erweiterten generischen Um-

gebung modelliert werden, so dass keine technischen Realisierungen oder historisch gewachsene Grundsätze einen Einfluss ausüben. Es ist ab einem bestimmten Entwicklungspunkt damit zu rechnen, dass ein Basisbetriebsverfahren verfügbar ist, dessen Handlungsprinzipien als Regeln in natürlicher Sprache formuliert werden können. Diese Grundregeln können dann schrittweise in die bestehenden FDV eingearbeitet werden. Ein Regelkern wird in die Anwenderrichtlinien implementiert, der die wichtigsten Handlungsabläufe regelt. Es ist zusätzlich erlaubt, dass regionale Besonderheiten oder Übergangslösungen die eingesetzten Richtlinien ergänzen.

Die Veröffentlichung eines Basisbetriebsverfahrens kann einer zukünftigen Ausgabe der TSI Betrieb erfolgen, die durch eine mögliche „TSI Terminologie“ als Fachwörterbuch ergänzt wird. Das Fachwörterbuch muss für das gesamte TSI-Regelwerk verwendet werden und verhindert Widersprüche zwischen den Richtlinien und in den unterschiedlichen Sprachversionen. Nach Ansicht des Verfassers kann an die wissenschaftlichen Ergebnisse von [BOSSE 2010] angeknüpft werden und ein weiterer Schritt zum methodischen Vorgehen in Richtung betrieblicher Interoperabilität unterbreitet werden.

12 Quellen- und Literaturverzeichnis

- [80/1263/EWG] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften: Erste Richtlinie 80/1263/EWG des Rates vom 4. Dezember 1980 zur Einführung eines EG-Führerscheins. Veröffentlichter Rechtsakt, 31.12.1980
- [96/48/EG] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften: Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystem. Veröffentlichter Rechtsakt, 17.09.1996
- [1692/96/EG] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften: Entscheidung Nr. 1692/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Juli 1996 über gemeinschaftliche Leitlinien für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes. Veröffentlichter Rechtsakt, 09.09.1996.
- [2001/16/EG] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften: Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems. Veröffentlichungsbedürftige Rechtsakte, 20.04.2001.
- [2008/57/EG] Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft (Neufassung). Veröffentlichungsbedürftige Rechtsakte, die in Anwendung des EG-Vertrags/Euratom-Vertrags erlassen wurden, 18.07.2008.
- [2008/231/EG] Amtsblatt der Europäischen Union: Technische Spezifikationen für die Interoperabilität zum Teilsystem „Betrieb“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems. Richtlinie 2011/231/EG, Aktenzeichen K(2006) 358, 26. März 2008.
- [2011/314/EU] Amtsblatt der Europäischen Union: Technische Spezifikationen für die Interoperabilität zum Teilsystem „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ des konventionellen transeuropäischen

- Bahnsystems. Richtlinie 2011/314/EU, Aktenzeichen K(2011) 3099, 12. Mai 2011.
- [2012/757/EU] Amtsblatt der Europäischen Union: Technische Spezifikationen für die Interoperabilität zum Teilsystem „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union. Richtlinie 2012/757/EU, Aktenzeichen C(2012) 8075, 14. November 2012.
- [A BVG 2014] Bundeskanzleramt Österreich: Bundes-Verfassungsgesetz, Stand 1. Januar 2014, Wien, 2014.
- [A EISBVO 2008] Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): Verordnung über den Bau, den Betrieb und die Organisation von Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung – EisbVO), in der Fassung von Bundesgesetzblatt II Nr. 398/2008, Wien, 2008.
- [A EISBBBV 2008] Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen (Eisenbahnbau- und –betriebsverordnung – EisbBBV), in der Fassung von Bundesgesetzblatt II Nr. 398/2008, Wien, 2008.
- [A EISBG 2006] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957 – EisBG). In der Fassung Bundesgesetzblatt I Nr. 125/2006, Wien, 2006.
- [A EISBKRV 2012] Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): Verordnung über die Sicherung von Eisenbahnkreuzungen und das Verhalten bei der Annäherung an und beim Übersetzen von Eisenbahnkreuzungen (Eisenbahnkreuzungsverordnung 2013 – EisbKrV), in der Fassung von Bundesgesetzblatt II Nr. 216/2012, Wien, 2012.
- [ABEL 1990] Abel, Dirk: Petri-Netze für Ingenieure, Modellbildung und Analyse diskret gesteuerter Systeme. Springer-Verlag, Berlin, 1990. ISBN 3-540-51814-2

- [ADLER 1990] Adler, Gerhard; Fenner, Wolfgang; Franke, Peter; Hofmann, Karl; Schümborg, Günter; Töpfer, Klaus (Hrsg.): Lexikon der Eisenbahn. Transpress-Verlag, Motorbuch-Verlag, 8. Bearbeitete Auflage, Berlin, Stuttgart, 1990. ISBN 3-344-00160-4
- [AEUV 2012] Amtsblatt der Europäischen Union: Konsolidierte Fassungen des Vertrags über die Europäische Union und des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union. Informationsnummer 2012/C 326/01, 26. Oktober 2012. ISSN 1977-088X
- [AMMOSER 2006] Ammoser, Hendrik; Hoppe, Mirko: Glossar Verkehrswesen und Verkehrswissenschaften. Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr, Nr. 2/2006, Herausgeber: Institut für Wirtschaft und Verkehr, Technische Universität Dresden, 2006. ISSN 1433-626X
- [ARNOLD 1987] Apel, Wilfrid; Arnold, Hans-Jürgen (Leitung Autorenkollektiv); Hahn, Heinz; Krauthem, Klaus; Linsel, Manfred; Manschweski, Hans-Walter; Schünemann, Rolf; Uhlig, Jost: Eisenbahnsicherungstechnik. Transpress Verlag für Verkehrswesen, 4. bearbeitete Auflage, Berlin, 1987. ISBN 3-344-00152-3
- [BARROW 2010] Barrow, Keith: Changing signals In International Railway Journal. Edition February. Simmons-Boardman Publishing Corporation, New York, 2010. ISSN 0744-5326
- [BARTSCH 2012] Bartsch, Ronald I.C.: International Aviation Law. Ashgate Publishing Ltd., Farnham, Surrey, England, 2012. ISBN 978-1-409-43287-6
- [BÄR 2004] Bär, Matthias: Betriebsführung des Bahn- und ÖPN-Verkehrs. Vorlesungsskript, Professur für Bahnverkehr, öffentlichen Stadt- und Regionalverkehr, TU Dresden, 2004.
- [BAUR 2005] Baur, Karl Gerhard: Die Geschichte der Drehstromlokomotive. EK-Verlag, Freiburg, 2005. ISBN 3-88255-146-1
- [BAV 2012] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Verkehr BAV: Umsetzung der Interop- und der Sicherheitsrichtlinien der EU, Entwürfe Än-

- derungsanlässe NZV, EBV, VPVE und STEBV. Bern, 28.09.2012.
- [BAV 2013] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Verkehr BAV(Hrsg.): Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung. Vertrieb durch Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL), 3003 Bern, Stand vom 01.08.2013.
- [BAYER 1989] Bayer, Rolf (Hrsg.): Reglements und Instructions der Leipzig-Dresdner Eisenbahn-Compagnie. Transpress-Verlag, Berlin, 1989. ISBN 3-344-00353-4
- [BÄZOLD 1997] Bäzold, Dieter; Rampp, Brian; Tietze, Christian: Elektrische Triebwagen deutscher Eisenbahnen, Die Baureihen: Oberleitungs-Triebwagen. Verlag Alba Publikationen, Düsseldorf, 1997. ISBN 3-87094-169-3
- [BEHMANN 1999] Behmann, Uwe: Spannungsausfall als Gefahrmeldung In Elektrische Bahnen, Heft 1-2, Jahrgang 97, DIV Deutscher Industrie-Verlag, München, 1999. ISSN 0013-5437
- [BERGER 1979] Berger, Martin; Helmers, Walter: Schiffsrecht und Manövrieren, 2. Band. 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1979. ISBN 3-540-08820-2.
- [BERGER 2009] Berger, Hans-Ulrich; Güller, Peter; Mauch, Samuel; Oetterli, Jörg: Verkehrspolitische Entwicklungspfade in der Schweiz, Die letzten 50 Jahre. Rüegger Verlag, Zürich, Chur, 2009. ISBN 978-3-7253-0912-2
- [BERNDT 2001] Berndt, Thomas: Eisenbahngüterverkehr. 1. Auflage. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001. ISBN 3-519-06387-5
- [BIESENACK 2006] Biesenack, Hartmut; George, Gerhard; Hofmann, Gerhard; Schmieder, Axel u.a.: Energieversorgung elektrischer Bahnen. 1.Auflage. B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2006. ISBN 3-519-06249-6

- [BODENSEE 2005] N.N.: Verordnung über die Schifffahrt auf dem Bodensee (Bodensee-Schifffahrts-Ordnung, BSO). Abgeschlossen am 13. Januar 1976, vom Bundesrat genehmigt am 17. März 1976, in Kraft getreten am 01. April 1976, Stand am 27. Dezember 2005.
- [BOSSE 2010] Bosse, Gunnar: Grundlagen für ein generisches Referenzsystem für die Betriebsverfahren spurgeführter Verkehrssysteme. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2010.
- [BPMN 2.0] OMG (Hrsg.): Business Process Model and Notation (BPMN). Version 2.0. OMG Document Number: formal/2011-01-03, Standard document URL: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0> - January 2011.
- [BRAASCH 1994] Braasch, Ernst O.: Kleines Signalbuch für die Sportschifffahrt. 7. Auflage, Verlag Klasing, Bielefeld, 1994. ISBN 3-87412-099-6
- [BRANDT 1985] Brandt, Harm-Heinrich; Jehle, Manfred: Zug der Zeit – Zeit der Züge, Deutsche Eisenbahn 1835 – 1985. Siedler-Verlag, Berlin, 1985. ISBN 3-88680-146-2
- [BREINL 2007] Breinl, Walter; Dworaczek, Alex: Interoperabilität ist mehr als internationaler Verkehr In ZEVrail Glasers Analen. Tagungsband SFT Graz. 131. Jahrgang, Berlin, 2007. ISSN 1618-8330
- [BROCKHAUS 2014] Brockhaus: Die Enzyklopädie Online. Verlag F. A. Brockhaus, wissensmedia in der inmediaONE GmbH, Gütersloh, München, 2014.
- [BRUX 2007] Brux, Gunther: ETCS im Einsatz in der Schweiz In Eisenbahningenieur. Ausgabe 07. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2007. ISSN 0013-2810
- [BSO 2012] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Binnenschifffahrtsstraßen-Ordnung vom 16. Dezember 2011 (BGBl. 2012 I S. 2, 1666), die durch Artikel 2 § 9 der Verordnung vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2802) geändert worden ist. Berlin, 2012.
- [BSV 2013] Der Schweizerische Bundesrat (Hrsg.): Verordnung über die Schifffahrt auf schweizerischen Gewässern (Binnenschifffahrts-

- verordnung, BSV). Vom 08. November 1078 (Stand 01. Januar 2013), Bern, 2013.
- [CER 2008] Community of European Railway and Infrastructure Companies (Hrsg.): European Railway Legislation Handbook. Second Edition, Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2008. ISBN 978-3-7771-0389-1
- [CH 0.740.72] N.N.: Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Güter- und Personenverkehr auf Schiene und Strasse. Abgeschlossen am 21. Juni 1999, in Kraft getreten am 1. Juni 2002, Stand vom 1. Januar 2014.
- [CH 101] Schweizerische Bundeskanzlei: Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (Stand am 3. März 2013), Bern, 2013.
- [CH 742] Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft: Eisenbahngesetz (EBG) vom 20. Dezember 1957 (Stand am 1. Juli 2013), Bern, 2013.
- [CH 742.141] Schweizerische Bundesrat: Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV) vom 23. November 1973 (Stand am 1. Juli 2013), Bern, 2013.
- [CH 742.141.3] Schweizerische Bundesrat: Verordnung betreffend die Technische Einheit im Eisenbahnwesen vom 16.12.1938, Stand 01.07.1956.
- [CH 1948] Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft: Bundesgesetz über die Luftfahrt (Luftfahrtgesetz) vom 21.12.1948, Stand 01.01.2009.
- [CH 1973] Schweizerische Bundesrat: Verordnung über die Luftfahrt (Luftfahrtverordnung) vom 14.11.1973, Stand 15.10.2009.
- [CH 2013a] N.N.: 0.741.10 Übereinkommen vom 08. November 1968 über den Strassenverkehr (mit Anhängen). Wien, 1968. Deutsche Übersetzung für die Schweiz, Stand 15.02.2013.

- [CH 2013b] Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft: Bundesgesetz über die Seeschifffahrt unter der Schweizer Flagge vom 23.09.1953, Stand 20.08.2013.
- [CHEERS 2012] Cheers, Gordon (Hrsg.): *Maritimea; Meere, Ozeane, Seehandel, Schifffahrt*. Verlag H.F. Ullmann Publishing, Potsdam, 2012. ISBN 978-3-8480-0178-1
- [D AEG 2013] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): *Allgemeines Eisenbahngesetz*. Ausfertigungsdatum: 27.12.1993, zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 4 G v. 26.06.2013 | 1738, Berlin, 2013.
- [D EBO 2012] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung*. Ausfertigungsdatum: 08.05.1967, zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 25.07.2012 | 1703, Berlin, 2012.
- [D ESBO 2012] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen*. Ausfertigungsdatum: 25.02.1972, zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 25.07.2012 | 1703, Berlin, 2012.
- [D ESO 2006] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): *Eisenbahn-Signalordnung*. Ausfertigungsdatum: 07.10.1959, zuletzt geändert durch Art. 498 V v. 31.10.2006 | 2407, Berlin, 2006.
- [D GG 2012] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): *Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland*. Ausfertigungsdatum: 23.05.1949, zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 11.07.2012 | 1478, Berlin, 2012.
- [DB301 2012] DB Netz AG, Betriebsverfahren (Hrsg.): *Ril 301 – Signalbuch*. Fachautor: Volker Behrendt, Ruschestrasse 104, D-10365 Berlin, Bekanntgabe 5, gültig ab 09.12.2012.
- [DB408 2012] DB Netz AG, Betriebsverfahren (Hrsg.): *Züge fahren und Rangieren, Module 01-19*. Bestelladresse: DB Kommunikationstechnik GmbH, Medien- und Kommunikationsstelle, Logistikcenter –

- Kundenservice – Kriegsstraße 136, D-76133 Karlsruhe, gültig ab 10.06.2012.
- [DB432 2009] DB AG Netz AG, I.NPB 4 (Hrsg.): Sonderbestimmungen für den Betrieb der Berliner S-Bahn (SBS). Ruschestraße 104, D-10365 Berlin, gültig ab 13.12.2009.
- [DB436 2003] DB AG Fahrbetrieb, Betriebsverfahren (Hrsg.): Zug- und Rangierfahrten im Zugleitbetrieb durchführem (ZLB). Ruschestraße 104, D-10365 Berlin, gültig ab 15.06.2003.
- [DB437 2009] DB AG Bahnbetrieb: Konzernrichtlinie 437 Signalisierter Zugleitbetrieb. 2009.
- [DB819 2000] DB AG (Hrsg.): LST-Anlagen planen; Signale für Zug- und Rangierfahrten, Hauptsignale. DB AG, FTZ TZ03/La, Grundsatzfragen Regelwerk, Ruschestraße 104, D-10365 Berlin, 2000.
- [DSO 2012] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Donauschiffahrtsverordnung vom 27. Mai 1993 (BGBl. I S. 741; 1994 I S. 523), die zuletzt durch Artikel 2 § 1 der Verordnung vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2802) geändert worden ist. Berlin, 2012.
- [DIN 2342] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 2342, Begriffe der Terminologie. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [DIN 25003] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 25003, Systematik der Schienenfahrzeuge, Übersicht, Benennungen, Definitionen. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag, Berlin, 2001.
- [DIN 66001] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 66001, Informationsverarbeitung, Sinnbilder und ihre Anwendung. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag, Berlin, 1983.
- [DÖLP 2002] Dölp, Wolf-Ekkehard: Harmonisierung der Fahrdienstvorschrift DS/DV 408 – „Züge fahren und Rangieren“ In Eisenbahntechnische Rundschau. Ausgabe 07/08. Hestra-Verlag, Darmstadt, 2002. ISSN 0013-2845

- [DUDEN 2014] Dudenredaktion (Hrsg.): Duden, Die deutsche Sprache. Wörterbuch in drei Bänden. Dudenverlag, Berlin, Mannheim, Zürich, 2014. ISBN 978-3-411-70666-2
- [EICKMANN 2007] Eickmann, Carla; Gerlach, Katrin; Grimm, Matthias; Lemmer, Karsten; Meyer zu Hörste, Michael: Sichere Ortung von Schienenfahrzeugen auf Regionalstrecken In GZVB [Hrsg.] Positions Kongress 2007. ISBN 978-3-937655-13-0
- [EICKMANN 2008] Eickmann, Carla; Kohlruss, Jacob; Knollmann, Volker; Wulf, Alexander: Vorschlag für eine systematische Beschreibung des Eisenbahnbetriebs In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 09. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2008. ISSN 0013-2810
- [ELSASSER 2013] Elsasser, Kilian; Appenzeller, Stephan (Hrsg.): Pionierbahn am Lötschberg, Die Geschichte der Lötschbergbahn. AS Verlag & Buchkonzept, Zürich, 2013 ISBN 978-3-906055-06-0
- [EMS 2006] Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006, Teil I Nr. 30, ausgegeben zu Bonn am 30. Juni 2006.
- [EN 60812] DIN EN 60812: Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlerzustandsart- und –auswirkungsanalyse (FMEA) (IEC 60812:2006); Deutsche Fassung EN 60812, 2006.
- [ENDERS 2014] Enders, Dirk: Betriebsweisen bei den Eisenbahnen. In Deine Bahn, Ausgabe 02/2014, Bahn Fachverlag GmbH, Berlin, 2014. ISSN 0948-7263
- [ERA 2007] European Railway Agency: Recommendation on the 1st set of Common Safety Methods. Reference: ERA-REC-02-2007-SAF.docx, Valenciennes, 12/2007.
- [FDV A 2012] ÖBB-Infrastruktur AG – Stab Betriebsleitung (Hrsg.): Dienstvorschrift V3, Betriebsvorschrift. Gültig ab 09.12.2012, nicht veröffentlicht.
- [FDV CH 2012] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Verkehr BAV (Hrsg.):

- Schweizerische Eisenbahnen, Schweizerische Fahrdienstvorschriften FDV (R 300.1-.15). Vertrieb: BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern, 2012.
- [FDV D 2012] DB Netz AG – Betriebsverfahren (I.NPB 4) (Hrsg.): Richtlinie Züge fahren und Rangieren, 408.01 – 19. Bestelladresse: DB Kommunikationstechnik GmbH, Kriegsstraße 136, 76133 Karlsruhe. Gültig ab 10.06.2012.
- [FENDRICH 2007] Fendrich, Lothar (Hrsg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007. ISBN 978-3-540-29581-5
- [FENNER 2003] Fenner, Wolfgang; Naumann, Peter; Trinckauf, Jochen: Bahnsicherungsstechnik. Verlag Publicis Corporate Publishing, Erlangen, 2003. ISBN 3-89578-177-0
- [FRANK 2012] Frank, Patrick; Höppner, Silko; Weidmann, Ulrich: Das modernisierte Eisenbahnbetriebslabor der ETH Zürich. In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 07, 63. Jahrgang, Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2012. ISSN 0013-2810
- [FRANK 2013] Frank, Patrick: Methodik zur Effizienzbeurteilung der Kapazitätsnutzung und –entwicklung von Bahnnetzen. Dissertation, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Nummer 163, ETH Zürich, 2013.
- [FRAULOB 1982] Fraulob, Otto: Technische Einheit im Eisenbahnwesen (TE), Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum, 1882 – 1982. Bundesamt für Verkehr, Bern, 1982.
- [FRIEDRICHS 2010] Friedrichs, Bernd; Stange, Andreas: Die Leicht-Verbrennungstriebwagen (LVT) der Deutschen Reichsbahn. EK-Verlag, Freiburg, 2010. ISBN 978-3-88255-231-7
- [FUCHS 2007] Fuchs, Dieter: Fahrdienstvorschrift und Signalbuch – die Entwicklung zweier Regelwerke In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 10. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2007. ISSN 0013-2810

- [FVNE 2008] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.): Fahrdienstvorschrift für Nichtbundeseigene Eisenbahnen (FV-NE). Kamekestraße 37-39, D-50672 Köln, 2008.
- [GERSTENKORN 2006] Gerstenkorn, Alfred; Hums, Lothar; Schmidt, Armin (Hrsg.): Die Sprache der Bahn, Zur deutschen Eisenbahnsprache im europäischen Kontext. Reihe Informationswissenschaft der DGI, Band 8. Frankfurt am Main, 2006. ISBN 3-925474-56-0
- [GKB V3 2002] Graz-Köflacher Eisenbahn GmbH (Hrsg.): V3 Betriebsvorschrift. 1. Änderung, Graz, 2002, nicht veröffentlicht.
- [GLÜCK 2010] Glück, Helmut (Hrsg.): Metzler Lexikon Sprache. 4. Auflage, Verlag J.B. Metzler, Stuttgart, 2010. ISBN 978-476-02335-3
- [GÖPFERT 2013] Göpfert, Jochen; Lindenbach, Heidi: Geschäftsprozessmodellierung mit BPMN 2.0, Business Process Model and Notation. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2013. ISBN 978-3-486-71805-8
- [GROTHER 1962] Grothe, Hans (Hrsg.): Lueger – Lexikon der Technik, Lexikon des Bergbaus, Band 4. Deutsche Verlag-Anstalt, Stuttgart, 1962.
- [GWYER 2006] Gwyer, William L.: Train orders In Trains Magazine. Kalmbach Publishing Co., Waukesha, WI, USA. Published May 1, 2006. ISSN 0041-0934
- [HAGER 1984] Hager, Christian: Eisenbahn-Sicherungsanlagen in Österreich, Band 1: Stellwerke. Verlag Pospischil, Wien, 1984.
- [HAGER 1994] Hager, Christian: Eisenbahn-Sicherungsanlagen in Österreich, Band 2: Signale. Verlag Pospischil, Wien, 1994.
- [HARVEY 2014] Harvey, Dan: Crossrail passes Halfway Mark. In Metro Report International. Edition June 2014. Publisher DVV Media UK Limited, Sutton, Surrey, 2014. ISSN 1756-4409
- [HASE 2009] Hase, Klaus-Rüdiger: „openETCS“ – ein Vorschlag zur Kostensenkung und Beschleunigung der ETCS-Migration In Signal und

Draht. Ausgabe 10. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2009.
ISSN 0037-4997

- [HEIDL 2007] Heidl, Matthias: Möglichkeiten und Grenzen bei der Harmonisierung der Betriebsvorschriften in der TSI Betrieb In Eisenbahntechnische Rundschau. Ausgabe 07/08. 56. Jahrgang, Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2007. ISSN 0013-2845
- [HEISTER 2006] Heister, Gert; Kunke, Jörg; Lindstedt, Carsten; Pomp, Roswitha; Schaer, Thorsten; Schill, Thomas; Schmidt, Stephan; Wagner, Norbert; Weber, Wolfgang: Eisenbahnbetriebstechnologie. 1. Auflage, Bahn Fachverlag, Heidelberg, Mainz, 2006. ISBN 978-3-9808002-2-8
- [HINZEN 1993] Hinzen, Albrecht: Der Einfluss des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn. Dissertation, Heft 48, Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der RWTH Aachen, Aachen, 1993. ISSN 0176-9359
- [HÖPPNER 2011] Höppner, Silko; Weidmann, Ulrich: Entwicklung einer Methodik zum Vergleich von Eisenbahnbetriebsprozessen und Einfluss der TSI Betrieb auf die Schweizerischen Fahrdienstvorschriften. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr BAV im Eidgenössischen Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern, 2011.
- [HÜRLIMANN 2002] Hürlimann, Daniel: Objektorientierte Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen. Dissertation, Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Nummer 125, ETH Zürich, 2002.
- [ICAO 2005] International Civil Aviation Organization:

Annex 1 to the Convention on International Civil Aviation, Personnel Licensing. Eleventh Edition, Amendment 171, 2011.

Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation, Rules of the Air. Tenth Edition, Amendment 43, 2012.

Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation, Operation of Aircraft. Seventh Edition, Amendment 32-A, 2008.

Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Telecommunication – Volume II. Sixth Edition, Amendment 85, 2001.

- [INCOSE 2004] International Council on Systems Engineering: Systems Engineering Handbook. INCOSE-TP-2003-016-02, Version 2a, 01. Juni 2004.
- [ISO/IEC 26702] International Standard: ISO/IEC 26702; Systems Engineering – Application and Management of the Systems Engineering Process. First Edition, 2007-07-15. Reference Number ISO/IEC 26702:2007 (E) IEE Std 1220-2005
- [ITU 2009] International Telecommunication Union (Hrsg.): International Morse code. Recommendation ITU-R M.1677-1, Geneva, 2009.
- [JACOBS 2003] Jacobs, Jürgen: Rechnerunterstützte Konfliktermittlung und Entscheidungsunterstützung bei der Disposition des Zuglaufs. Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Heft 61, Aachen, 2003. ISSN 0176-9359
- [JANICKI 2011] Janicki, Jürgen: Systemwissen Eisenbahn. Bahn Fachverlag (DB-Fachbuch), Berlin, 2011. ISBN 978-3-9808002-6-6
- [KASTENS 2005] Kastens, Uwe; Kleine Büning, Hans: Modellierung; Grundlage und formale Methoden. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2005. ISBN 3-446-40460-0
- [KIESSLING 2014] Kießling, Friedrich; Puschmann, Rainer; Schmieder, Axel: Fahrleitungen elektrischer Bahnen. 3. Auflage, Verlag Publics Publishing, Erlangen, 2014. ISBN 978-3-89578-407-1
- [KIRSCHKE 1987] Kirsche, Hans-Joachim; Müller, Hans: Eisenbahnatlas DDR. 1. Auflage, Tourist-Verlag, Berlin, Leipzig, 1987. ISBN 3-350-00293-5

- [KNOLLMANN 2007] Knollmann, Volker: UML-basierte Testfall- und Systemmodelle für die Eisenbahnleit- und –sicherungstechnik. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2007.
- [KRAMER 2009] Kramer, Reinhard; Kramer, Wolfgang; Foerster, Horst-Dieter: Zwischen gestern und morgen – Die Fährverbindung Sassnitz – Trelleborg. Verlag Riedeck & Schade, Rostock, 2009. ISBN 978-3-934116-82-5
- [KVR 2009] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Internationale Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See (Anlage zu § 1 der Verordnung zu den Internationalen Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See), Kollisionsverhütungsregeln – KVR. Berlin, Stand 18.03.2009.
- [LAHLOU 2007] Lahlou, O.; Bon, Ph.; Allain, L.: Operating Rules description using Petri Nets In FORMS/FORMAT 2007, Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems. Proceeding of Symposium FORMS/FORMAT 2007, Braunschweig, 2007. ISBN 978-3-937655-09-3
- [LEHMANN 2008] Lehmann, Frank R.: Integrierte Prozessmodellierung mit ARIS. dpunkt.verlag, 1. Auflage, Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-89864-497-6
- [LFG A 2013] Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: Luftfahrtgesetz vom 02.12.1957, ausgegeben am 20.06.2013, NR: GP XXIV RV 2299 AB 2349 S. 203. BR: AB 8984 S. 821.
- [LBV 1994] Lausitzer Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (Hrsg.): 70 Jahre Abraumförderbrücken in der Lausitz, Reihe Lausitzer Braunkohlerevier. Broschüre der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit LBV, Franz-Mehring-Straße, 01968 Brieske, 1994.
- [LMBV 2014] Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (Hrsg.): Werkbahnen im Lausitzer Braunkohlenbergbau, Reihe Wandlungen und Perspektiven. LMBV Unternehmenskommunikation, Knappenstraße 1, 01968 Senftenberg, 2014.

- [LÜBKE 2008] Lübke, Dietmar (Hrsg.): Das System Bahn. 1. Auflage, Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2008. ISBN 978-3-7771-0374-7
- [MARMARY 2013] N.N.: The clock is ticking. In Railway Gazette International. Edition May 2013. Publisher DVV Media UK Limited, Sutton, Surrey, 2013. ISSN 0373-5346
- [MASCHEK 2009] Maschek, Ulrich: Eine generische Sicht auf die Betriebssicherheit im spurgeführten Verkehr In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 02. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2009. ISSN 0013-2810
- [MASCHEK 2012] Maschek, Ulrich: Sicherung des Schienenverkehrs; Grundlagen und Planung der Leit- und Sicherungstechnik. Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012. ISBN 978-3-8348-1020-5
- [MENSEN 2004] Mensen, Heinrich: Moderne Flugsicherung; Organisation, Verfahren, Technik. 3. Bearb. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2004. ISBN 3-540-20581-0
- [MESCHÉDE 2010] Meschede, Dieter: Gerthsen Physik. 24. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010. ISBN 978-3-642-12893-6
- [MEYER 2004] Meyer zu Hörste, Michael: Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und –sicherungssystemen. Fortschrittberichte VDI, Reihe 12, Nr.571. VDI Verlag, Düsseldorf, 2004. ISBN 3-18-357112-9
- [MSO 2012] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Moselschiffahrtspolizeiverordnung vom 03. September 1997 (BGBl. 1997 II S. 1670), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 21. Juni 2012 (BGBl. 2012 II S. 618 (1144)) geändert worden ist. Berlin, 2012.
- [NAUMANN 2004] Naumann, Peter; Pacht, Jörn: Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb, Fachlexikon. Tetzlaff Verlag, 2. Auflage, Hamburg, 2004. ISBN 3-87814-702-3

- [NORDBAHN 1976] Schweizerische Nordbahn: Instruktion für die Bahnwärter der schweizerischen Nordbahn, Zürich, 1847. Minirex Verlag, Reprint, Luzern, 1976.
- [OEHLER 1981] Oehler, Karl: Eisenbahnsicherungstechnik in der Schweiz. Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Stuttgart, 1981.
- [OESTEREICH 2012] Oesterreich, Bernd; Bremer, Stefan; Scheithauer, Axel: Analyse und Design mit der UML 2.5. Oldenbourg-Wissenschaftsverlag, München, 2012. ISBN 978-3-486-71667-2
- [ÖBB V2 2012] ÖBB-Infrastruktur AG; Stab Betriebsleitung – Betriebsstandards (Hrsg.): V2 Signalvorschrift. 20. Änderung, 2012, nicht veröffentlicht.
- [ÖBB ZSB 2012] ÖBB-Infrastruktur AG; Stab Betriebsleitung – Betriebsstandards (Hrsg.): ZSB Zusatzbestimmungen zur Signal- und Betriebsvorschrift. 22. Änderung, 2012, nicht veröffentlicht.
- [PACHL 2001] Pachl, Jörn: Übertragbarkeit US-amerikanischer Betriebsverfahren auf europäische Verhältnisse In Eisenbahntechnische Rundschau. Ausgabe 7/8, Hestra-Verlag, Darmstadt, 2001. ISSN 0013-2845
- [PACHL 2002] Pachl, Jörn: Stand und Perspektiven der Leit- und Sicherungstechnik der Eisenbahn In Leit- und Sicherungstechnik für die Bahn von morgen. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Bergisch Gladbach, 2002. ISBN 3-933392-57-8
- [PACHL 2004] Pachl, Jörn: Vorschlag für eine neue Systematik der Betriebsverfahren deutscher Eisenbahnen In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 07. Tetzlaff-Verlag, Hamburg, 2004. ISSN 0013-2810
- [PACHL 2008] Pachl, Jörn: Die Bedeutung betrieblicher Regelwerke für die Leit- und Sicherungstechnik In Signal und Draht. Ausgabe 12. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2008. ISSN 0037-4997
- [PACHL 2011] Pachl, Jörn: Systemtechnik des Schienenverkehrs; Bahnbetrieb planen, steuern und sichern. Vieweg+Teubner Verlag, Springer

- Fachmedien, 6. überarbeitete Auflage, Wiesbaden, 2011. ISBN 978-3-8348-1428-9
- [PACHL 2012] Pacht, Jörn: Betriebssicherheitliche Regelwerke im internationalen Vergleich In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 02. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2012. ISSN 0013-2810
- [PORE 2009] Poré, Jaques: ERTMS/ETCS: Bahnverkehr leben oder sterben lassen! In Signal und Draht. Ausgabe 07/08. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2009. ISSN 0037-4997
- [POTTHOFF 1979] Potthoff, Gerhart: Die Eisenbahn; Fahren und Leiten. Transpress-Verlag, Berlin, 1979.
- [POTTHOFF 1980] Potthoff, Gerhart: Verkehrsströmungslehre, Band 1, Zugfolge auf Strecken und in Bahnhöfen. Transpress-Verlag, 3. bearbeitete und ergänzte Auflage, Berlin, 1980.
- [PUFFERT 2009] Puffert, Douglas J.: Tracks across Continents, Paths through History. Published by The University of Chicago Press, Chicago, London, 2009. ISBN 978-0-226-68509-0
- [UML 2.5] OMG (Hrsg.): OMG Unified Modeling Language (OMG UML). Version 2.5 FTF – Beta 1. OMG Document Number: ptc/2012-10-12, Normative Reference: <http://www.omg.org/spec/UML/2.5> - October 2012.
- [RELLSTAB 2012] Rellstab, Mathias: Post-TGV in London In Schweizer Eisenbahn-Revue. Ausgabe 5, Verlag Minirex, Luzern, 2012. ISSN 1022-7113
- [RHEIN 1963] Zentralkommission für die Rheinfahrt (Hrsg.): Revidierte Rheinschifffahrtsakte vom 17. Oktober 1868 in der Fassung vom 20. November 1963. Straßburg, 1963.
- [ROSSBERG 2012] Rossberg, Ralf Roman: Hundert Jahre Übereinkommen zum elektrischen Zugbetrieb in Deutschland. In Elektrische Bahnen, Heft 4, Jahrgang 110, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2012. ISSN 0013-5437

- [RPV 2013] Verordnung des UVEK über die Inkraftsetzung der Schifffahrtspolizeiverordnung Basel – Rheinfelden vom 26.09.2002, Dokumentnummer 747.224.221. Stand 01.01.2013.
- [RSO 2012] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Rheinschifffahrtspolizeiverordnung vom 19. Dezember 1994 (BGBl. 1994 II S. 3816), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 21. Juni 2012 (BGBl. 2012 II S. 618) geändert worden ist. Berlin, 2012.
- [SBB 2012] SBB Infrastruktur (Hrsg.): Ausführungsbestimmungen zu den Fahrdienstvorschriften, AB FDV Infrastruktur. © SBB und BLS Netz AG, unveröffentlicht, Bewilligung bei SBB I-B-SBE, gültig ab 01.07.2012.
- [SCHEER 1992] Scheer, August-Wilhelm: Architektur integrierter Informationssysteme; Grundlagen der Unternehmensmodellierung. Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, 1992. ISBN 3-540-55401-7
- [SCHEPPAN 2006] Scheppan, Michael: Zugleitbetrieb für einfache betriebliche Verhältnisse. Verlag Eurailpress Tetzlaff-Hestra, Hamburg, 2006. ISBN 3-7771-0340-3
- [SCHMELZER 2008] Schmelzer, Hermann J.; Sesselmann, Wolfgang: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis; Kunden zufrieden stellen – Produktivität steigern – Wert erhöhen. Carl Hanser Verlag, 6. Auflage, München, 2008. ISBN 978-3-446-41002-2
- [SCHMIDT 2007] Schmidt, Tina: Die Weichen sind gestellt – Eine terminologische Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb. Diplomarbeit, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Neuphilologische Fakultät, Seminar für Übersetzen und Dolmetschen, Heidelberg, 2007.
- [SCHNABEL 1997] Schnabel, Werner; Lohse, Dieter: Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 1, 2. überarb. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997. ISBN 3-345-00566-2
- [SCHNIEDER 1999] Schnieder, Eckehard: Methoden der Automatisierung, Beschreibungsmittel, Modellkonzepte und Werkzeuge für Automatisie-

- nungssysteme. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden, 1999. ISBN 3-528-06566-4
- [SCHNIEDER 2000] Schnieder, Eckehard (Hrsg.): Forms 2000 – Formale Techniken für die Eisenbahnsicherung. Reihe 12, Nummer 441. VDI Verlag, Düsseldorf, 2000. ISBN 3-18-344112-8
- [SCHOSSIG 2007] Schossig, Wolfgang (Gesamtleitung); Köbbel, Wolfram; Nestler, Peter; Sperling, Dieter; Steinmetz, Richard: Bergbau in der Niederlausitz. Band 1, 3. Auflage, Vertrieb Förderverein Kulturlandschaft Niederlausitz e. V., Cottbus, 2007. ISBN 3-980803-4-6
- [SCHÖNE 2011] Schöne, Eric: Auf dem Weg zu einem gemeinsamen Regelwerk für Bahnübergänge In Der Eisenbahningenieur. Ausgabe 11. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2011. ISSN 0013-2810
- [SCHÖNSLEBEN 2001] Schönsleben, Paul: Integrales Informationsmanagement; Informationssysteme für Geschäftsprozesse - Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie. Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, 2001. ISBN 3-540-41712-5
- [SCHWEERS 2013] N.N.: Eisenbahnatlas EU. 2. Auflage, Verlag Schweers + Wall, Aachen, 2013. ISBN 978-3-89494-131-4
- [SEE 2012] Bundesministerium der Justiz (Hrsg.): Seeschiffahrts-Ordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Oktober 1998 (BGBl. I S. 3209; 1999 I S. 193), die zuletzt durch Artikel 2 § 3 der Verordnung vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2802) geändert worden ist. Berlin, 2012.
- [SEIDLMEIER 2010] Seidlmeier, Heinrich: Prozessmodellierung mit ARIS. Vieweg+Teuber-Verlag, Springer Fachmedien, 3. Auflage, Wiesbaden, 2010. ISBN 978-3-8348-0606-2
- [SIEKER 2010] Sieker, Bernd: Systemanforderungsanalyse von Betriebsverfahren mit Hilfe der Ontological Hazard Analysis am Beispiel des Zugleitbetriebs nach FV-NE. Dissertation, TU Bielefeld, Technische Fakultät, 2010.

- [SOMMER 2013] Sommer, Stefan: ETCS in der Schweiz – Schritt für Schritt zum Ziel In Schweizer Eisenbahn-Revue. Ausgabe 7. Verlag Minirex, Luzern, 2013. ISSN 1022-7113
- [SØNDERGAARD 2012] Søndergaard, Morten; Lüking, Jost: Managing Banedanmark's signalling programme In Railway Gazette International. Edition March 2012. Publisher DVV Media UK Limited, Sutton, Surrey, 2012. ISSN 0373-5346
- [SPECKER 2005] Specker, Adrian: Modellierung von Informationssystemen; Ein methodischer Leitfaden zur Projektabwicklung. Vdf Hochschulverlag, 2. Auflage, Zürich, 2005. ISBN 3-7281-2984-4
- [STANLEY 2011] Stanley, Peter (Editor): ETCS for Engineers. 1. Edition, Verlag DVV Media Group GmbH Eurailpress, Hamburg, 2011. ISBN 978-3-7771-0416-4
- [STEIMEL 2006] Steimel, Andreas: Elektrische Triebfahrzeuge und ihre Energieversorgung. 2. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2006. ISBN 978-3-8356-3090-1
- [STOLL 2009] Stoll, Rolf Dieter; Niemann-Delius, Christian; Drebenstedt, Carsten; Müllensiefen, Klaus (Hrsg.): Der Braunkohlentagebau – Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt. 1. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-78400-5
- [SUTJAGIN 2008] Sutjagin, Dmitrii W.: Unsere Kindereisenbahnen. Band 1, Verlag Eisenbahnwesen, Moskau, 2008. Сутягин Д.В.: Наши детские железные дороги. Том 1, Издательство Железнодорожное Дело, Москва, 2008. ISBN 5-93574-031-1
- [SVARICEK 2013] Svaricek, Ferdinand: Steuer- und Regelungstechnik, Studienbegleittext der Lehrveranstaltung Steuer- und Regelungstechnik. Institut für Steuer- und Regelungstechnik, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik. Universität der Bundeswehr München, 2013.
- [SysML 1.2] OMG (Hrsg.): OMG Systems Modeling Language (OMG SysML). Version 1.2. OMG Document Number: formal/2010-06-01, Standard Specification URL:
<http://www.omg.org/spec/SysML/1.2> - June 2010.

- [SVG 2013] Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (Hrsg.): Strassenverkehrsgesetz (SVG), 741.01, Stand 01.07.2013.
- [THEEG 2009] Theeg, Gregor; Vlasenko, Sergej: Train Protection in Railway Signalling and Interlocking, International Compendium. 1. Edition. Verlag DVV Media Group, Hamburg, 2009. ISBN 978-3-7771-0394-5
- [THÜRER 2007] Thürer, Daniel; Weber, Rolf; Portmann, Wolfgang; Kellerhals, Andreas (Hrsg.): Bilaterale Verträge I & II Schweiz – EU, Handbuch. Verlag Schulthess Juristische Medien AG, Zürich, Basel, Genf, 2007. ISBN 978-3-7255-5377-8
- [TRÖSTER 2011] Tröster, Fritz: Steuerungs- und Regelungstechnik für Ingenieure Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 3. Auflage, München, 2011. ISBN 978-3-486-58984-9
- [UIC 2009] Union international des chemins de fer (Hrsg.): Projects & Future, UIC ERTMS platform. Brochure, Paris, 2009
- [UN 1968a] United Nations: Convention on road traffic. File name: Ch_XI_B_19, vol. 1, Vienna, 1968
- [UN 1968b] United Nations: Convention on road signs and signals. File name: Ch_XI_B_20, vol. 1, Vienna, 1968.
- [USA 2003] United States Government: International Code of Signals, for Visual, Sound, and Radio Communications. United States Edition, 1969 (Revised 2003), published by the National Imagery and Mapping Agency, Bethesda, Maryland, USA, 2003.
- [UVEK 2013] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Auftraggeber): Expertengruppe Organisation Bahninfrastruktur (EOBI). Schlussbericht, Referenz/Aktenzeichen: 012.3/2013-04-09/318, Bern, April 2013. URL:
<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/30492.pdf>

- [VANTUONO 2002] Vantuono, William C. (Editor): Railway Age's Comprehensive Railroad Dictionary. Second Edition, Published by Simmons-Boardman Books, Inc., Omaha, NE. ISBN 0-911382-27-5
- [VATTENFALL 2008] Vattenfall Europe Mining AG (Hrsg.): Bau- und Betriebsanweisung Eisenbahn: Teil 2 – Fahrbetrieb & Teil 6 – Signalordnung. Unveröffentlicht, gültig seit 01.07.2003, aktualisiert zum 01.12.2008. Vattenfall Europe Mining AG, Zentraler Eisenbahnbetrieb, Schwarze Pumpe – An der Heide, D-03130 Spremberg.
- [VFR 2013] Skyguide: VFR-Guide, Recueil VFR, 008/2013 DEC 12. Skyguide, AIP Services, CH-8602 Wangen.
- [VOUILLAMOZ 2008] Vouillamoz, Joëlle; Friedli, Thomas: Netzzugangsbedingungen für Fahrzeuge auf der Lötschberg-Basisstrecke In Elektrische Zugförderung im Lötschberg-Basistunnel. Oldenbourg Industrieverlag, München, 2008. ISBN 978-3-8356-3146-5
- [WALDIS 2003] Waldis, Alfred: Pioniere der Eisenbahn-Elektrifikation. Herausgeber Verein für wirtschaftliche Studien, Meilen, 2003. ISBN 3-909059-31-7
- [WEIDMANN 2012] Weidmann, Ulrich: Bahninfrastrukturen (Verkehr II) Vorlesungsskript, Band 3.1, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, 2012.
- [WEIDMANN 2013] Weidmann, Ulrich: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Eisenbahnbetrieb. Vorlesungsskript, Band 4.3, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, 2013.
- [WEILKIENS 2006] Weilkiens, Tim: Systems Engineering mit SysML/UML, Modellierung, Analyse, Design. Dpunkt-Verlag, 1. Auflage, Heidelberg, 2006. ISBN 3-89864-409-X
- [WESKE 2007] Weske, Mathias: Business Process Management, Concepts, Languages, Architectures. Springer-Verlag, Second Edition, Berlin, Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-642-28615-5
- [WINCHESTER 2007] Winchester, Jim: Chronik der Luftfahrt. Heel Verlag, Königswinter, 2007. ISBN 978-3-86852-089-7

- [WINTER 2009] Winter, Peter u.a.: Compendium on ERTMS. 1. Edition, Verlag DVV Media Group GmbH Eurailpress, Hamburg, 2009. ISBN 978-3-7771-0396-9
- [WSV 2013] Bundesministerien für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): Wasserstraßen-Verkehrsordnung (WVO). BGBl. II Nr. 289/2011, Wien, Fassung vom 11.12.2013.
- [ZOELLER 2008] Zoeller, Hans-Joachim: Handbuch der ESTW-Funktionen, Die Sicherungsebene im Elektronischen Stellwerk. Verlag Eurailpress DVV Media Group, 2. Auflage, Hamburg, 2008. ISBN 978-3-7771-0388-4
- [ZÜST 2004] Züst, Rainer: Einstieg ins Systems Engineering; Optimale, nachhaltige Lösungen entwickeln und umsetzen. Orell Füssli Verlag, 3. Auflage, Zürich, 2004. ISBN 3-85743-721-9

Anhänge

A 1 Generische Funktionen der Leit- und Sicherungstechnik nach [MEYER 2004]

Die Auflistung der generischen Funktionen in der taktischen und operativen Ebene erfolgt auf Grundlage von [MEYER 2004].²²⁰ Auf die Aufzählung der Funktionen der strategischen und dispositiven Ebene (Unternehmensleitung & Fahrplanung) wurde verzichtet, da diese Funktionen den Aufgaben der Leittechnik zugeordnet werden können und weniger die eigentliche operative Betriebsdurchführung und –sicherung betreffen.

Funktionsklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
Betrieb aufrecht erhalten	Zuglauf prognostizieren	Die Prognose des Zuglaufs dient dazu, Probleme und Konflikte zu erkennen.
	Betriebseinschränkungen ausgleichen	Diese Funktion dient dazu, auftretende Einschränkungen des Betriebs so auszugleichen, dass eine möglichst geringe Beeinträchtigung auftritt.
	Deadlock verhindern	Speziell auf eingleisigen Strecken muss vermieden werden, dass von beiden Seiten Züge einfahren, so dass der Betrieb zum Erliegen kommt.
Betriebsablauf optimieren	Betriebsablauf optimieren	Für die Optimierung des Betriebsablaufs werden die zu optimierenden Parameter definiert und geeignete Maßnahmen unternommen.
	Vorrangregelung	Diese Funktion dient dazu, Belegungskonflikte an Behinderungspunkten durch Vorrangregelung zu lösen.

²²⁰ Kapitel 4.3 in [MEYER 2004], Seite 70

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
	Geschwindigkeit empfehlen	Wenn der Zug manuell von einem Triebfahrzeugführer gefahren wird, ist es zur Optimierung des Energieverbrauchs während der Fahrt sinnvoll, eine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Länge des zur Verfügung stehenden Fahrwegs zu empfehlen.
Bilden und Sichern der Fahrstrasse	Weichenlage anfordern	Der erste Schritt zur Einstellung der Fahrstraße ist das Absenden der Aufforderung an die Weiche, eine bestimmte Lage einzunehmen.
	Weichenverschluss aufheben	Um die Lage einer Weiche ändern zu können, muss ihr Verschluss aufgehoben werden. Dies erfolgt mit dem Stellbefehl und wird von dem Weichenantrieb automatisch mit durchgeführt.
	Weiche stellen	Nach Durchführung der beiden vorhergehenden Funktionen kann die Weiche in die neue Position gebracht werden. Der Weichenumlauf bringt die Weiche in eine neue Position.
	Weiche verschließen	Sobald die Weiche ihre neue Position erreicht hat, wird sie in dieser Lage mechanisch verriegelt, um eine ungewollte Bewegung zu verhindern. Auch diese Funktion wird in der Regel vom Weichenantrieb mit ausgeführt.
Aufrechterhaltung der eingestellten Fahrstraße während der Zugfahrt	Gleisbelegung überwachen	Diese Funktion ordnet jedem Zug ein oder mehrere Fahrwegelemente zu.
	Fahrstraße verschließen	Sobald die Fahrstraße eingestellt ist, wird sie gegen Umstellen gesichert. Dieser Vorgang heißt „Fahrstraßenverschluss“.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
Sicherung der Fahrstraße	Zulässigkeit prüfen	Zu Beginn der Sicherung muss geprüft werden, ob die Fahrstraße für den Zug zulässig ist.
	Richtungserlaubnis prüfen	Ebenso, wie die Zulässigkeit geprüft werden muss, wird auch geprüft, ob die Richtung, in der die Fahrstraße befahren werden soll, erlaubt ist.
	Schutzweichen ermitteln	Diese Funktion ermittelt die Weichen, die dazu geeignet sind, der gestellten Fahrstraße Flankenschutz zu bieten. Diese Funktion ist genau genommen eine Gruppe von Funktionen, die die unterschiedlichen Regeln für die Sicherung des Flankenschutzes umsetzt
	Flankenschutz überwachen	Neben der Einstellung und Sicherung der Fahrstraße für den Zug muss auch der Schutz nach außen gewährleistet werden. Dieser wird durch den Flanken-, Folgefahr- und Gegenfahrerschutz gegeben.
Ermitteln der Fahrerlaubnis	Fahrstraße zuordnen	Nach der Einstellung und Sicherung der Fahrstraße wird dem Zug die Erlaubnis zugeordnet, bis zu einem bestimmten Punkt mit einem definierten Geschwindigkeitsprofil zu fahren. Sie umfasst die zulässigen Geschwindigkeiten in Bezug auf den eingestellten Streckenverlauf.
	Länge der Fahrerlaubnis ermitteln	Durch die Anpassung der Länge der Fahrerlaubnis kann eine Anpassung der Leistungsfähigkeit vorgenommen werden.
Erteilung der Fahrerlaubnis	Fahrerlaubnis erteilen	Die Fahrerlaubnis wird nach der Ermittlung an den Zug übertragen. Dies kann z.B. mittels optischer Signalisierung an den Fahrer erfolgen.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
Auflösung der Fahrstraße nach der Zugfahrt	Fahrstraße auflösen	Eine ganze Fahrstraße oder ein Teil kann, wenn er vom Zug durchfahren worden ist, aufgelöst und wieder freigegeben werden.
	Fahrstraße zurücknehmen	In bestimmten Situationen kann es erforderlich sein, eine Fahrstraße zurückzunehmen, ohne dass sie von einem Zug durchfahren worden ist. Es handelt sich hierbei nicht um eine Notfallmaßnahme, sondern um die Rücknahme einer Fahrstraße, die so, wie sie eingestellt ist, nicht sinnvoll oder erforderlich ist. Dies kann auftreten, wenn eine Fahrstraße irrtümlich zu einem falschen Ziel eingestellt wurde oder eine Zugfahrt unplanmäßig beendet werden musste.
Sichern der Bahnübergänge	Sicherung anfordern	Im Rahmen der Sicherung der Fahrstraße müssen auch die Bahnübergänge entlang dieser Strecke gesichert, d.h. geschlossen werden. Dies kann nicht sofort mit der Einstellung der Fahrstraße erfolgen, da bei Bahnübergängen mit so genannten Halbschranken nach fünf Minuten damit gerechnet werden muss, dass Autofahrer die Schranken umfahren. Daher darf der Verschluss erst fünf Minuten vor dem Durchfahren des Zugs erfolgen.
	Bahnübergang sichern	Dies erfolgt üblicherweise dezentral entlang der Strecke, kann aber im Einzelfall auch zentral erfolgen (Wärterstellwerk).
	Verletzung erkennen	Mit Hilfe spezifischer Sensoren kann erkannt werden, wenn die Sicherung des Bahnübergangs von einem Fahrzeug verletzt worden ist.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
	Bündelung mehrerer Fahrten	Wenn mehrere Fahrten kurz hintereinander denselben Bahnübergang passieren, ist es nicht immer möglich, den Bahnübergang zwischen allen Fahrten zu öffnen. Daher wird von einer speziellen Funktion vor der Auslösung des Öffners überprüft, ob weitere Fahrten innerhalb des zum Öffnen benötigten Zeitfensters den Bahnübergang passieren. Wenn dies der Fall ist, wird das Öffnen unterdrückt.
	Bündelung mehrerer paralleler Gleise	Wenn mehrere parallele Gleise von einem Bahnübergang gesichert werden, müssen als Vorbereitung der letztgenannten Funktion alle Fahrten auf allen diesen Gleisen betrachtet werden.
	Aufheben der Sicherung	Nach der Durchfahrt des Zugs wird die Sicherung des Bahnübergangs wieder aufgehoben und der Bereich für den Straßenverkehr freigegeben.
Steuerung des Fahrzeugs	Sollgeschwindigkeit berechnen	Aus dem Fahrplan und der Überwachungsgeschwindigkeit kann eine Sollgeschwindigkeit berechnet werden.
	Fahrdynamik regeln	Diese Funktion übernimmt die Regelung der Fahrt. Sie muss jeweils passend zum entsprechenden Optimierungsziel (Zeit, Energie, Verschleiss etc.) gewählt werden.
	Antrieb steuern	Die Steuerung des Antriebs erhält von der Regelung der Fahrdynamik die Anforderungen und steuert danach die Bereitstellung der Antriebsleistung.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
	Bremseingriff	Innerhalb der Steuerung des Fahrzeugs wird die betriebliche Bremsung ausgeführt. Auch die Verteilung der Bremsleistung auf verschiedene sichere oder nicht-sichere Bremsysteme findet hier statt.
	Führung	Aus der aktuellen Betriebssituation werden Parameter für die Fahrt des Zugs abgeleitet und entweder dem Fahrzeugführer bereitgestellt oder unmittelbar in eine Fahrtregelung eingespeist.
Sicherung des Fahrzeugs	Betriebsbremsgeschwindigkeit berechnen	Die momentan zur Betriebsbremskurve gehörige Geschwindigkeit wird von dieser Funktion bestimmt.
	Betriebsbremsgeschwindigkeit überwachen	Diese Funktion vergleicht in bestimmten Zeitintervallen die aktuelle Geschwindigkeit, die von der Ortung übermittelt wird, und die Betriebsbremsgeschwindigkeit mit einander und gibt, je nach Ergebnis dieses Vergleichs, eine Warnung, einen Bremsbefehl oder nichts aus.
	Schnellbremsgeschwindigkeit berechnen	Die zur Schnellbremskurve gehörige Geschwindigkeit wird von dieser Funktion bestimmt.
	Schnellbremsgeschwindigkeit überwachen	Diese Funktion vergleicht in bestimmten Zeitintervallen die aktuelle Geschwindigkeit, die von der Ortung übermittelt wird, und die Schnellbremsgeschwindigkeit mit einander und gibt, je nach Ergebnis dieses Vergleichs, eine Warnung, einen Schnellbremsbefehl oder nichts aus.
	Betriebsbremseingriff	Wenn die aktuelle Geschwindigkeit die Betriebsbremskurve übersteigt, wird eine betriebliche Bremsung ausgelöst.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
	Schnellbremseingriff	Wenn die aktuelle Geschwindigkeit die Schnellbremskurve übersteigt, wird eine Schnellbremsung ausgelöst.
	Rangieren überwachen	Die Überwachung des Rangierens besteht aus zwei Teilfunktionen: Der Überwachung des maximal erlaubten Geschwindigkeit und der Überwachung des zugewiesenen Bereichs.
	Beginn einer Mission (Start of Mission – SoM)	Der Beginn einer Zugfahrt ist in der Regel mit einer bestimmten Prozedur zu durchlaufen. Bei Berücksichtigung möglicher Sonderfälle, wie z.B. das Einschalten ohne Positionsinformation oder der unmittelbare Übergang in die Betriebsart Rangieren, kann diese Funktion erhebliche Komplexität annehmen.
	Ende einer Mission (End of Mission – EoM)	Diese Funktion beendet eine Zugfahrt. Sie ist in der Regel deutlich weniger komplex als der Beginn einer Mission.
	Fernsteuern (Sleeping)	Diese Funktion dient dazu, von einem führenden Triebfahrzeug weitere Fahrzeuge technisch fernzusteuern.
	Stärken im Stillstand (Joining)	Diese Funktion dient der Überwachung des betrieblichen Ablaufs zur Kombination von zwei Zügen zu einem, ohne dass erneut die Startprozedur vollständig durchlaufen werden muss.
	Schwächen im Stillstand (Splitting)	Diese Funktion dient der Überwachung des betrieblichen Ablaufs zur Trennung von zwei Teil-Zügen, ohne dass erneut die Startprozedur vollständig durchlaufen werden muss.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
	Stärken in Fahrt (Coupling)	Diese Funktion dient der Überwachung des betrieblichen Ablaufs zur Kombination von zwei Zügen zu einem, ohne dass erneut die Startprozedur durchlaufen werden muss. Die dynamischen Anforderungen sind andere als beim Stärken im Stillstand (Joining).
	Schwächen in Fahrt (Sharing)	Diese Funktion dient der Überwachung des betrieblichen Ablaufs zur Trennung von zwei Zügen, ohne dass die Startprozedur durchlaufen werden muss. Die dynamischen Anforderungen sind andere als beim Schwächen im Stillstand (Splitting).
	Nachschieben (Banking)	Diese Funktion dient der Überwachung des betrieblichen Ablaufs zum gemeinsamen Antrieb eines Zugs durch zwei Triebfahrzeuge, wobei das nachschiebende Triebfahrzeug am Zugschluss ebenfalls von einem Triebfahrzeugführer gefahren und nicht angekuppelt wird.
Ermittlung des diskreten Zugorts	Zug geographisch orten	Eine Ortung des Zugs im geographischen Sinne ist für die Informationssysteme von Bedeutung. Für die Steuerung und Sicherung wird ggf. die geographische Information mit Hilfe einer Streckenkarte in eine topologische überführt.
	Zug topologisch orten	Die für Steuerung und Sicherung relevante Position ist das Streckenelement, auf dem sich der Zug derzeit befindet.
	Zugorte verwalten	Diese Funktion speichert die Orte der verschiedenen Züge.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
	Zuglauf melden	Für die Übergabe von einer Betriebsstelle zur nächsten wird von dieser Funktion die Übergabe der relevanten Informationen sichergestellt.
	Zuglauf verfolgen	Für die Steuerung und die Prognose wird die Entwicklung der Zugfahrt verfolgt.
	Integrität des Zugs überwachen	Um eine Gefährdung des Betriebs durch unerkannte Zugtrennungen zu verhindern, ist eine Überwachung der Zugintegrität – hier vor allem der Vollständigkeit – erforderlich.
Bestimmung der Bewegungsparameter	Gefahrene Strecke messen	Diese Funktion misst den zurückgelegten Weg. Für eine Abbildung auf die Netztopologie sind definierte Referenzpunkte notwendig.
	Beschleunigung messen	Diese Funktion bestimmt die momentane Beschleunigung des Zugs.
	Geschwindigkeit messen	Diese Funktion bestimmt die momentane Geschwindigkeit des Zugs.
	Fahrtrichtung bestimmen	Sowohl das Fahrzeug als auch die Streckenelemente weisen je zwei Fahrtrichtungen auf, so dass es insgesamt vier Kombinationen gibt. Diese Funktion bestimmt, welcher der vier Fälle vorliegt.
	Stillstand feststellen	Rein funktional betrachtet, ist die Stillstandserkennung mit der Messung der Geschwindigkeit bereits abgedeckt. Da technische Realisierungen immer ein gewisses Rauschen aufweisen, kann es zu fehlerhafter Erkennung des Stillstands oder einer scheinbaren Bewegung kommen. Daher ist die eindeutige Bestimmung des Stillstands eine eigene Funktion.

Funktionenklasse	Generische Funktionen	Beschreibung
Datenspeicherung	Betriebsablauf	Für die on-line Disposition wie auch zur Verbesserung der Prognosegüte wird der Betriebsablauf aufgezeichnet.
	Laufleistung	Für Zwecke der betriebswirtschaftlichen Auswertung oder der Instandhaltung wird die Laufleistung der Züge erfasst.
	Juristische Aufzeichnung	Bestimmte sicherheitsrelevante Informationen müssen für juristische Zwecke aufgezeichnet werden. Da es hierbei auch um die Rekonstruktion von Übertragungsfehlern gehen kann, erfolgt die Aufzeichnung dezentral und zum Teil mehrfach.

A 2 Prozesse Eisenbahnbetrieb

Evaluationsprozess „Abfahrt des Zuges“

Aktivitäten „Abfahrt des Zuges“ nach [FDV CH 2012], Abschnitt R 300.6

Bezeichnung	Beschreibung	Quelle (Kapitel/Seite)
Kundendienstliche Bereitschaft	Zugbegleiter beendet pünktlich Fahrgastwechsel oder Beladung von Güterwagen.	3.4 / 377
Abschluss der Zugvorbereitung	Meldung (des Zugespersonals) an Fdl, das Zugvorbereitung abgeschlossen ist	3.2 / 375
Zustimmung zur Fahrt	Fahrtstellung des Ausfahrtsignals (durch Fdl)	3.2 / 375
Erteilen der Abfahrerlaubnis	Zugbegleiter erteilt Abfahrerlaubnis	3.5.2 / 377
Abfahrt des Zuges	Lokführer beschleunigt Zug.	3.1.1 / 375

Aktivitäten „Abfahrt des Zuges“ nach [FDV A 2012]

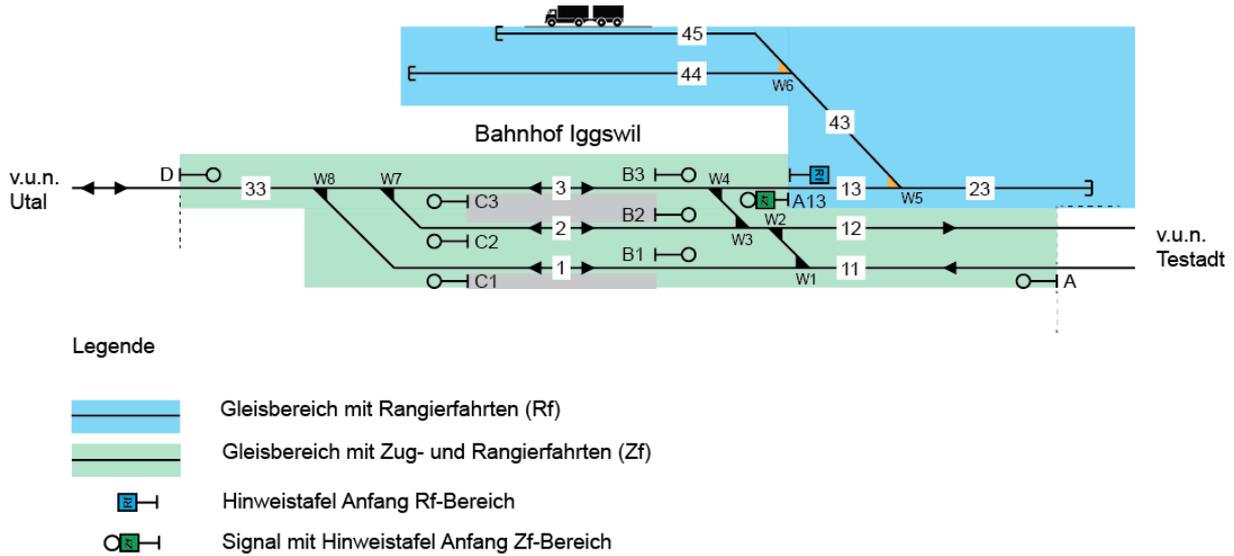
Bezeichnung	Beschreibung	Quelle (§/ Seite)
Vorbereitung der Fahrt	Zugbegleiter überprüft Wagenzug (Bremsprobe, Kuppelzustand,...) und Lokführer überprüft Lok (Fahrzeug in Ordnung, Papiere vorhanden,...).	63 / 505
Fertigmeldung	Zugbegleiter meldet Abfahrtsbereitschaft an Lokführer	45 / 419 64 / 506
Meldung Abfahrtsbereitschaft	Meldung (des Lokführers) an Fdl, das Zugvorbereitung abgeschlossen ist (Abfahrtsbereitschaft)	63 / 505
Zustimmung zur Fahrt	Fahrtstellung des Ausfahrtsignals (durch Fdl)	45 / 417
Zustimmung vermitteln	Zugbegleiter vermittelt „Zustimmung“ an Lokführer (Abfahren erlaubt)	45 / 417
Abfahrt des Zuges	Lokführer beschleunigt Zug. Zugmannschaft beobachtet Zug.	64 / 506

Aktivitäten „Abfahrt des Zuges“ nach [FDV D 2012]

Bezeichnung	Beschreibung	Quelle (Modul/ Seite)
Vorbereitung Zug abgeschlossen	Zug ist vorbereitet, wenn ordnungsgemäß gekuppelt ist, Bremsen in Ordnung sind, ...	408.0321 / 1
Meldung Zug vorbereitet	Zugaufsicht meldet Abfahrbereitschaft an Fdl, wenn Zustimmung zur Abfahrt fehlt.	408.0321 / 2
Zustimmung zur Fahrt	Fdl erteilt Zugaufsicht die Zustimmung zur Abfahrt (Fahrstellung des Ausfahrsignals)	408.0331 / 1
Abfahrbereitschaft feststellen	Zugaufsicht stellt Abfahrbereitschaft fest oder Zugführer meldet örtlicher Aufsicht die Abfahrbereitschaft.	408.0332 / 1, 2
Abfahrauftrag erteilen	Zugaufsicht (örtl. Aufsicht) erteilt Abfahrauftrag an Lokführer.	408.0333 / 1
Bedingungen für Abfahrt	Lokführer überprüft Bedingungen zur Abfahrt (Bremsen in Ordnung, Türen geschlossen, ...)	408.0333 / 1, 2
Abfahrt des Zuges	Lokführer beschleunigt Zug. Lokführer und Zugbegleiter beobachten Zug.	408.0333 / 2

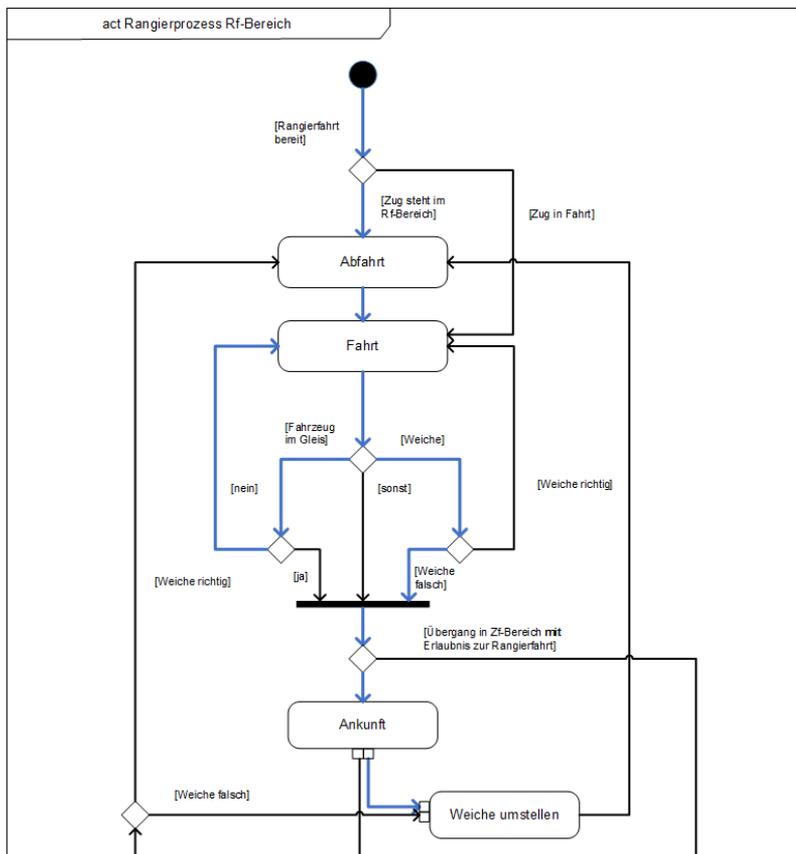
A 3 UML-Diagramme für Kapitel 10.2

Topologie Beispielbahnhof Iggswil:

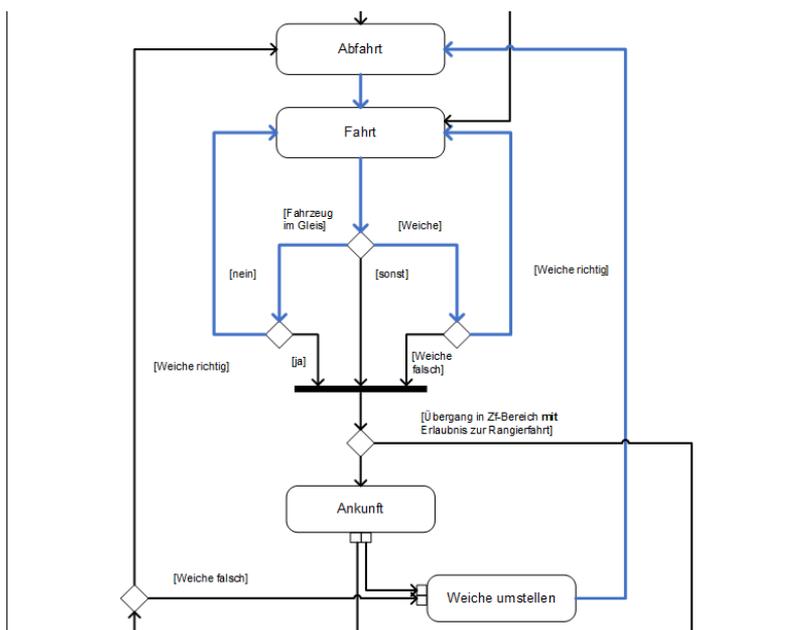


Beispielvorgang 2: Verstärkung S-Bahnzug (vgl. Kapitel 10.2.5)

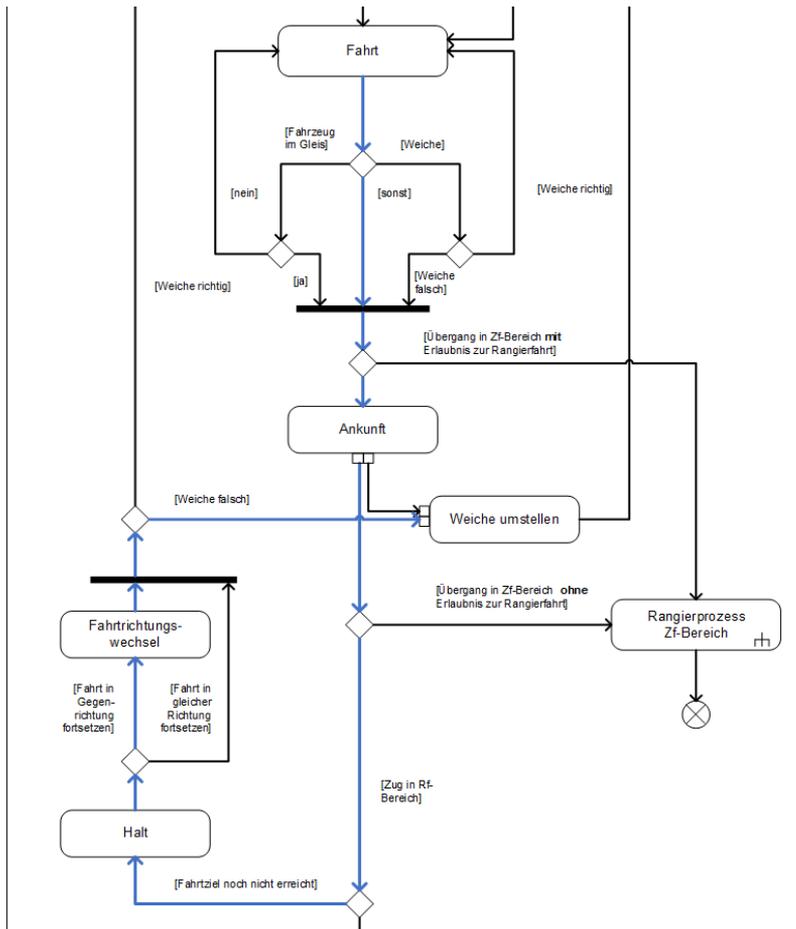
Die Rangierfahrt von Triebwagen 1 von Gleis 44 nach Gleis 3 des Bahnhofs Iggswil kann an Hand von Diagrammausschnitten nachvollzogen werden.



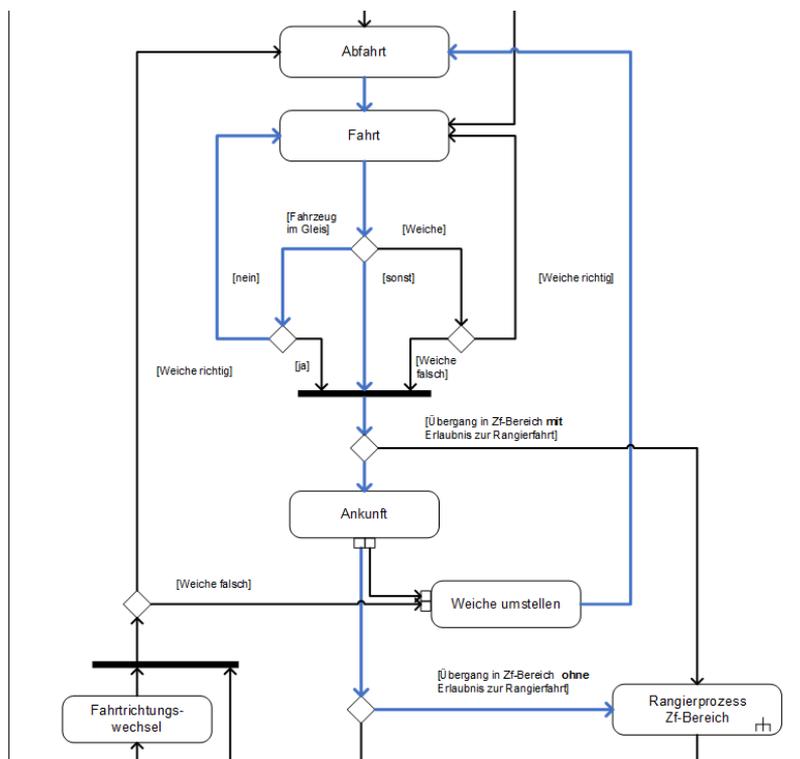
Schritt 1: Beginn der Rangierfahrt in Gleis 44, Halt vor Weiche 6 (Stellung rechts, Richtung Gleis 45)



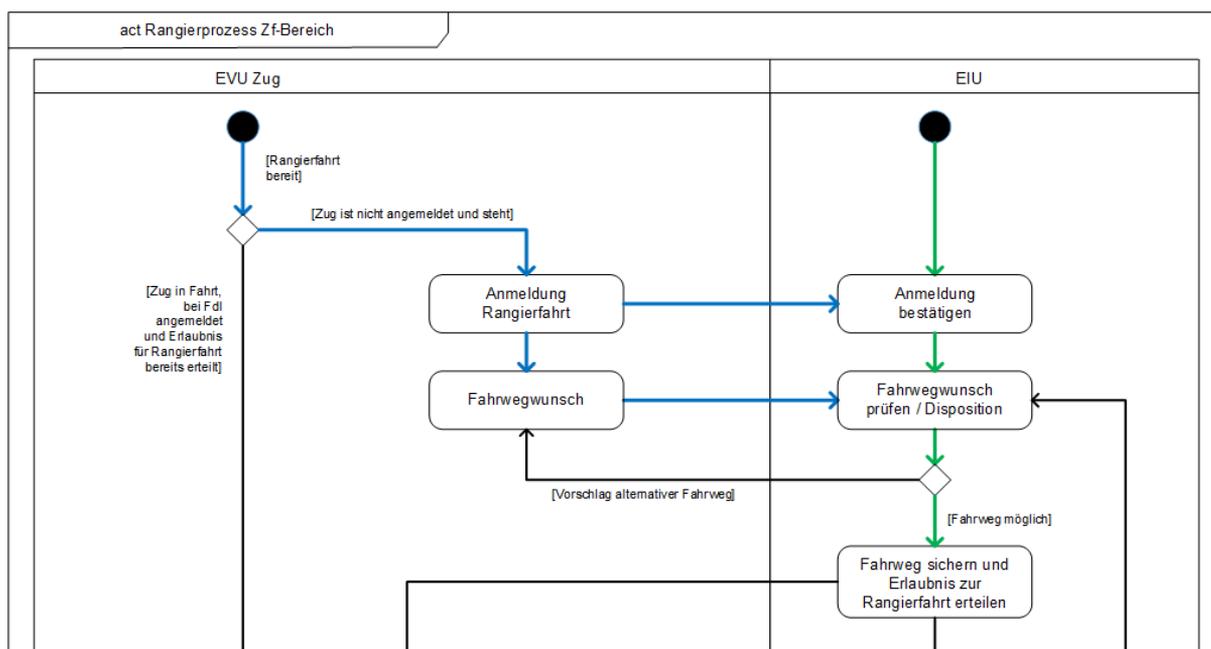
Schritt 2: Fortsetzung Rangierfahrt über Weiche 6, Gleis 43, Weiche 5 (Weichenstellung richtig) nach Gleis 23



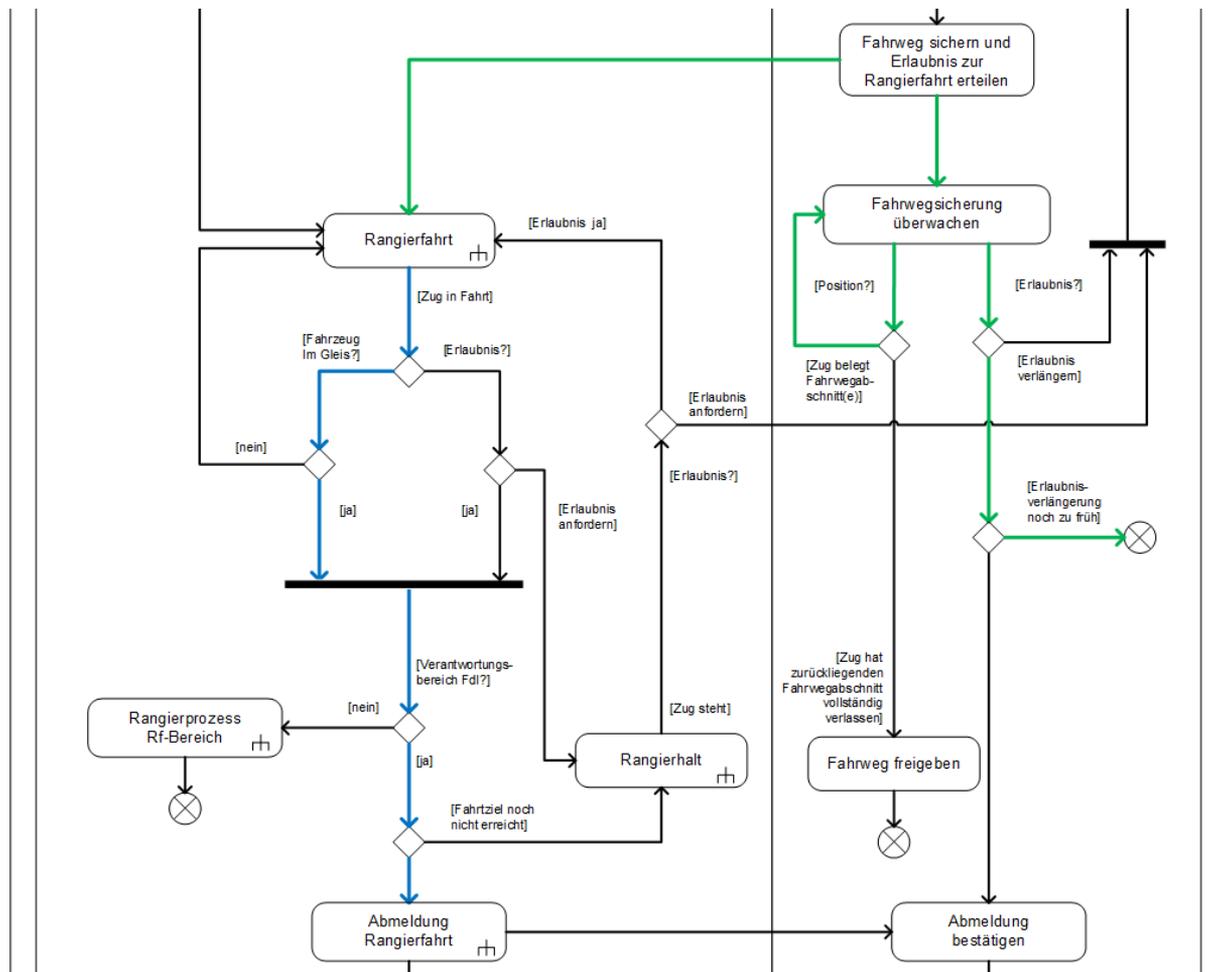
Schritt 3: Halt in Gleis 23 mit anschließendem Fahrtrichtungswechsel und Umstellung von Weiche 5



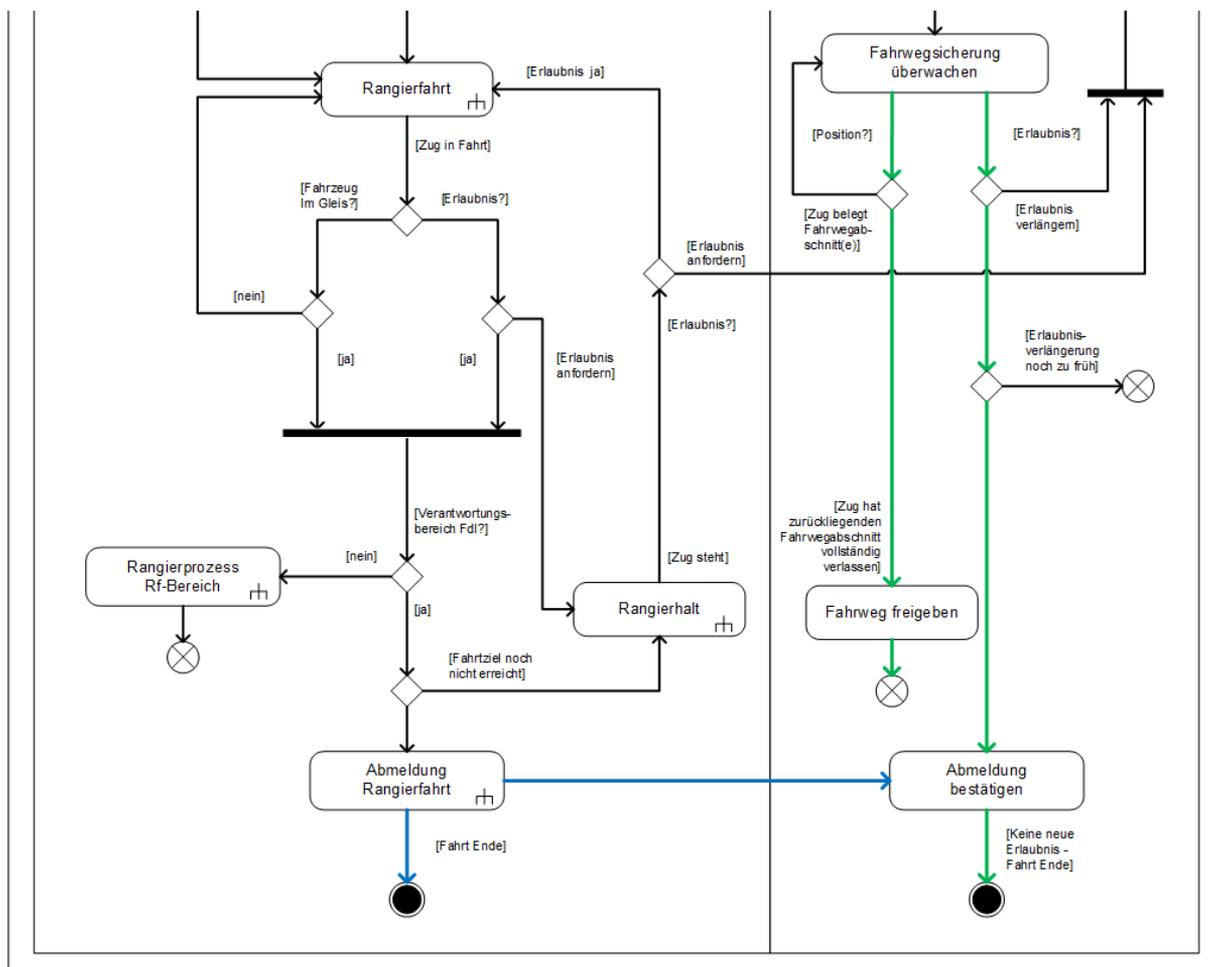
Schritt 4: Fortsetzung Rangierfahrt über Weiche 5 und Gleis 13 bis Signal A13, dort Halt und Wechsel in Prozess „Rangierfahrt Zf-Bereich“



Schritt 5: Wechsel des Triebwagens in „Rangierprozess Zf-Bereich“ und Halt vor Signal A13



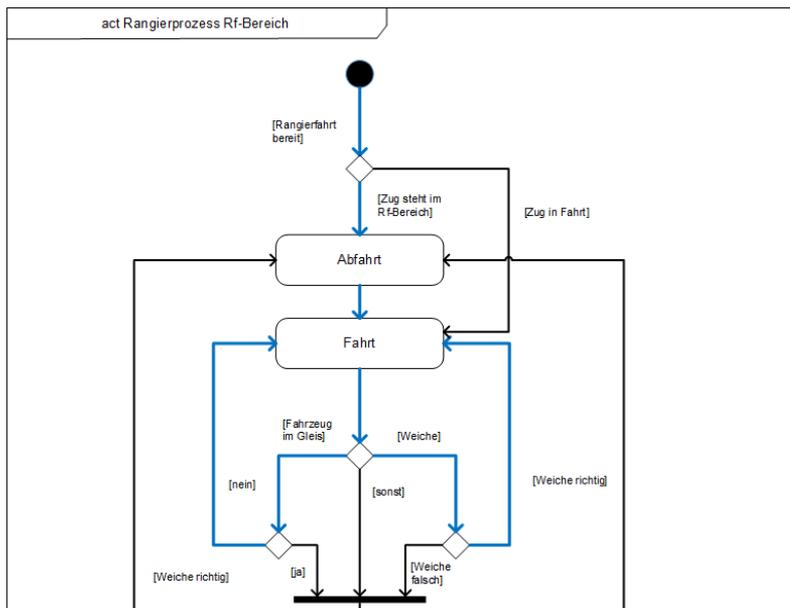
Schritt 6: Fdl erteilt Erlaubnis zur Rangierfahrt nach Gleis 3, Triebwagen 1 setzt Rangierfahrt bis Triebwagen 2 fort und bleibt dort für das Zusammenkuppeln stehen.



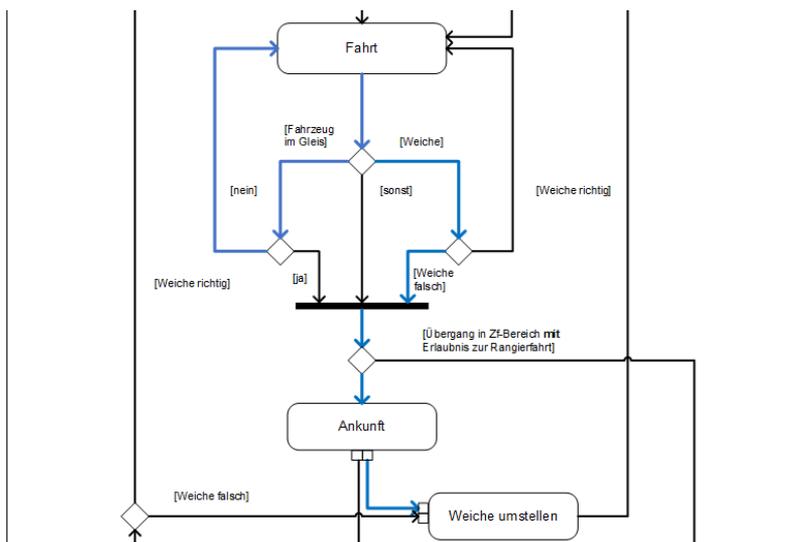
Schritt 7: Vereinigung von Triebwagen 1 & 2 (Abmeldung Triebwagen 1 als Rangierfahrt) und Auflösung des Fahrweges für die Rangierfahrt durch den Fdl, Ende der Rangierfahrt

Beispielvorgang 3: Bereitstellung eines Güterzuges (vgl. Kapitel 10.2.6)

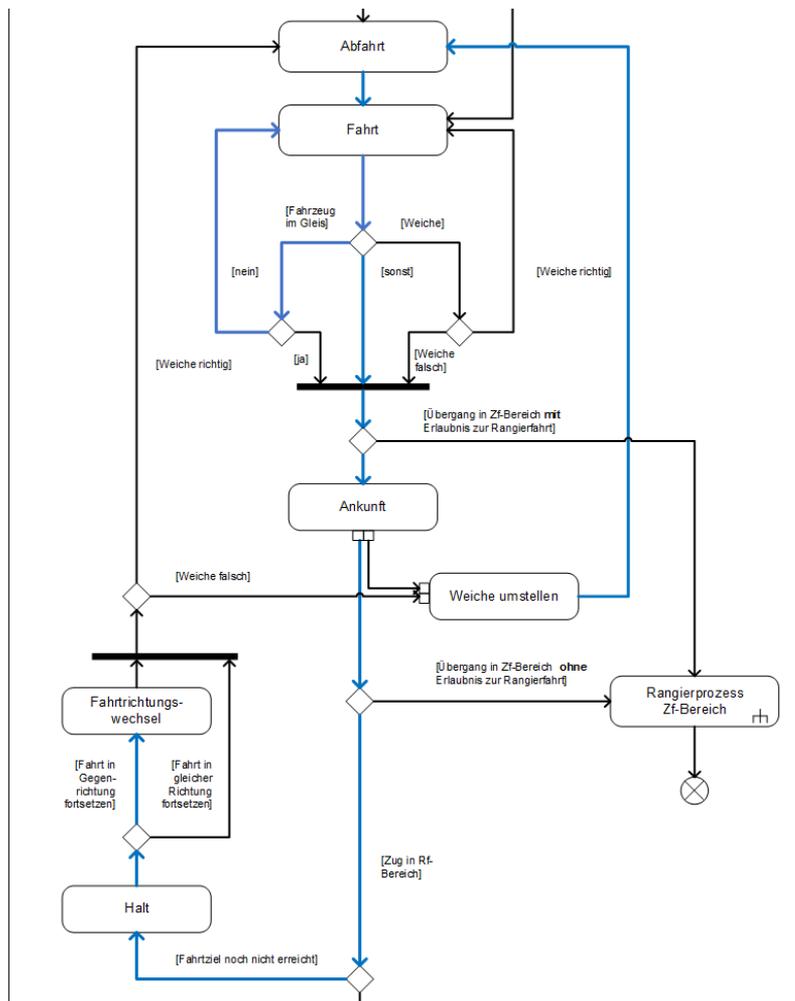
Die Rangierfahrt des Güterzuges von Gleis 45 nach Gleis 3 des Bahnhofs Iggswil kann an Hand der nachfolgenden Diagrammausschnitte nachvollzogen werden.



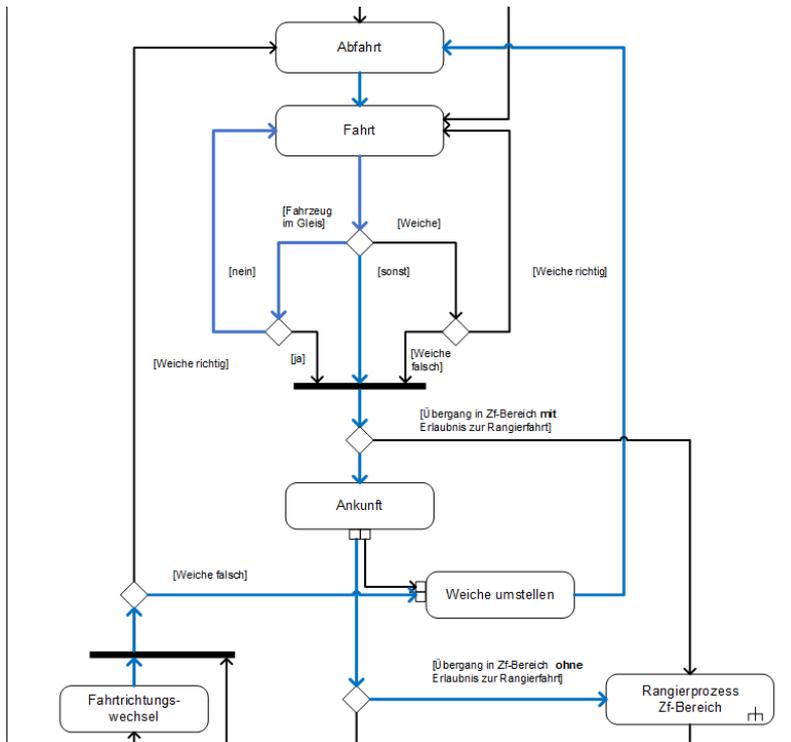
Schritt 1: Beginn der Rangierfahrt in Gleis 45, Überfährt Weiche 6 und Beachtung möglicher anderer Fahrzeuge in Gleis 43



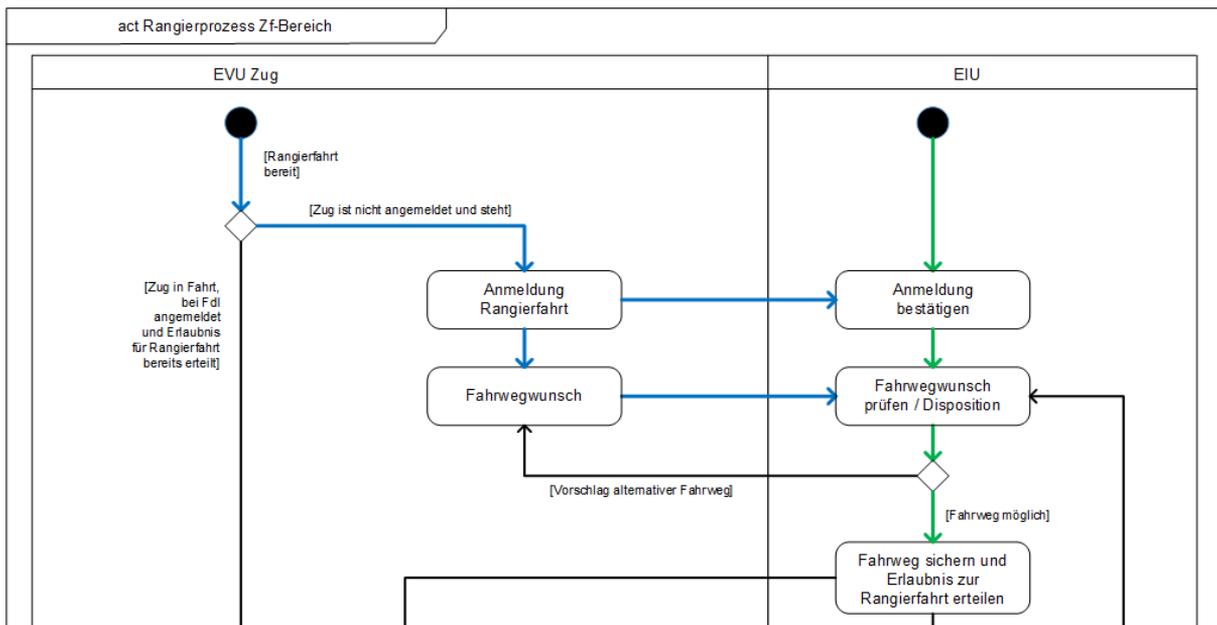
Schritt 2: Fortsetzung Rangierfahrt bis Weiche 5, Halt vor Weiche 5 (Stellung links, Richtung Gleis 13)



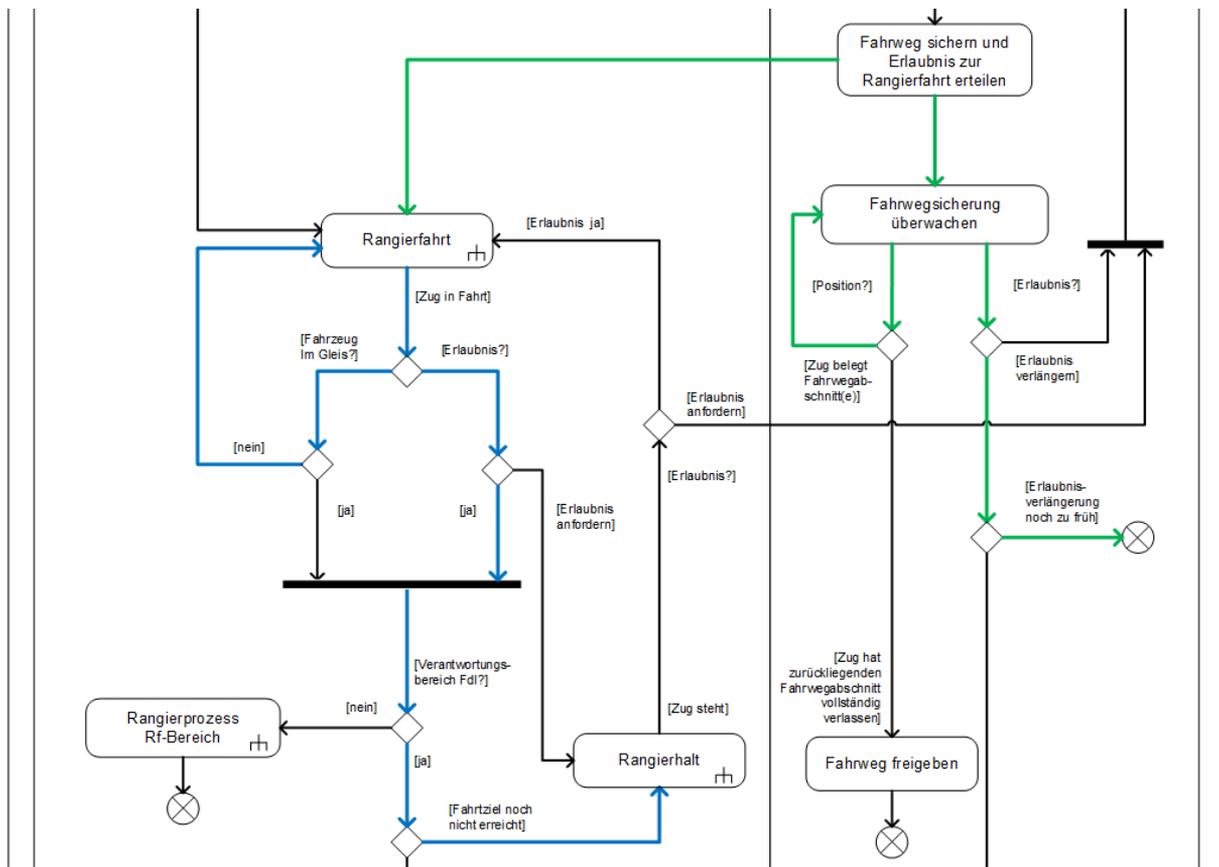
Schritt 3: Umstellung Weiche 5 und Fortsetzung der Fahrt bis Gleis 23, anschließend Fahrtrichtungswechsel



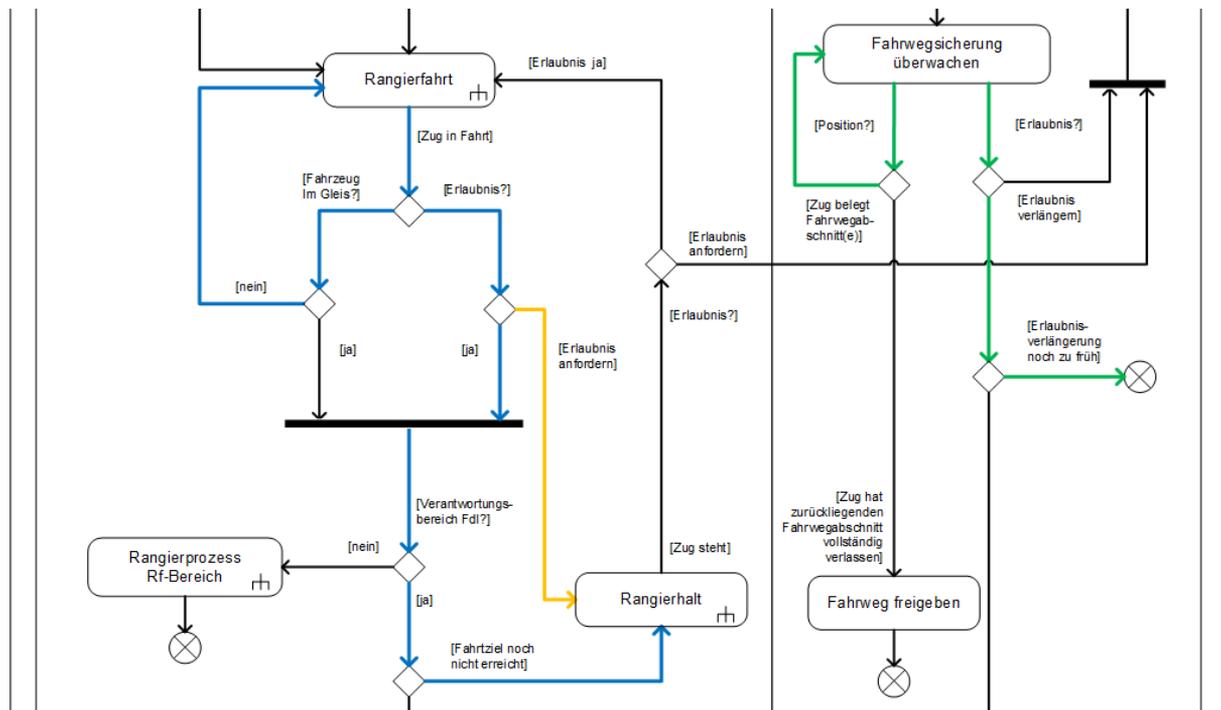
Schritt 4: Fortsetzung Rangierfahrt über Weiche 5 und Gleis 13 bis Signal A13, dort Halt und Wechsel in Prozess „Rangierfahrt Zf-Bereich“



Schritt 5: Wechsel des Güterzuges in „Rangierprozess Zf-Bereich“ und Halt vor Signal A13

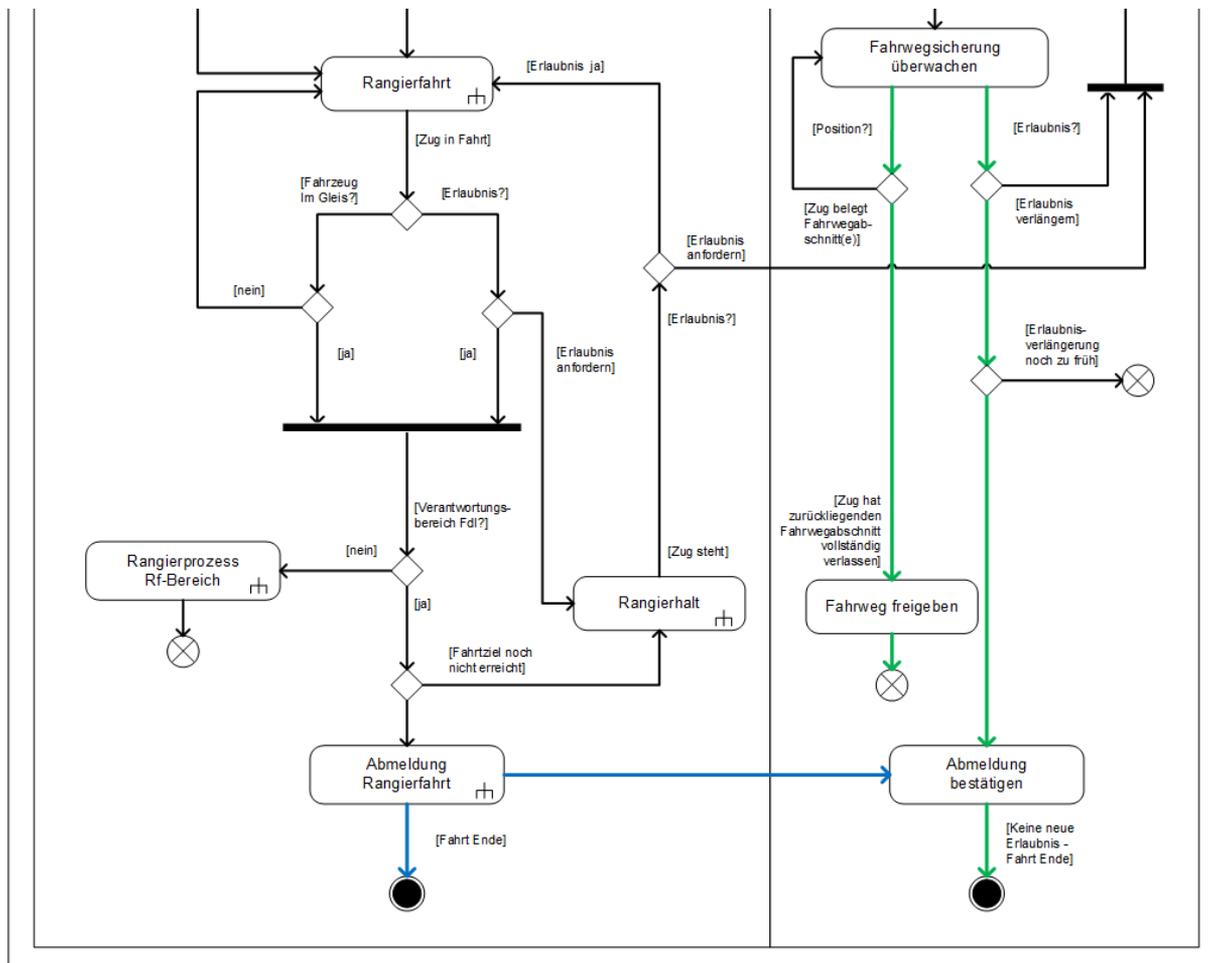


Schritt 6: Fdl erteilt Erlaubnis zur Rangierfahrt nach Gleis 3, Lokomotive schiebt Wagen nach Gleis 3, Rangierer prüft zusätzlich das Gleis bezüglich anderer Fahrzeuge.



Schritt 9: Vom Grundsatz her ist Schritt 9 eine Wiederholung von Schritt 6. Die Lokomotive erreicht ihr Zwischenziel und legt dort einen Rangierhalt für den Fahrtrichtungswechsel in Gleis 12 ein. In der Abbildung ist zu erkennen, dass der Prozess theoretisch auch über die orange Kante [Erlaubnis anfordern] abgekürzt werden könnte. Diese Kante hat die Funktion, bei langen Rangierfahrwegen mit mehreren Zwischenabschnitten (und Signalen) eine außerplanmäßige Anforderung der Weiterfahrerlaubnis durch das Zugpersonal zu ermöglichen. Weiterhin wäre auch ein Entscheidungsknoten mit Kante zur Aktivität „Rangierprozess Rf-Bereich“ nicht in die orange Kante integrierbar.

Nun wiederholen sich die Schritte 7 bis 9 mehrfach bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Lokomotive aus Richtung Utal an die Güterwagen herangefahren ist.



Schritt 10: Die Lokomotive hat die Wagengruppe wieder erreicht und wird mit den Güterwagen zusammengekuppelt. Dieser Schritt bildet den Abschluss des Rangierprozesses und entspricht Schritt 7 aus Beispielvorgang 2 (siehe auch Kapitel 10.2.5).

Der Übergang von „Rangierhalt“ zu „Abmeldung Rangierhalt“ erfolgt direkt über die entsprechende Aktion im Unterprozess „Rangierhalt“.

A 4 Sonstige Quellen

Internetseite www.bav.admin.ch, Zugriff am 17.12.2014

The screenshot shows the website www.bav.admin.ch with a navigation menu at the top including 'Aktuell', 'Themen', 'Grundlagen', 'Dokumentation', 'Dienstleistungen', and 'Das BAV'. The main content area features a news item titled 'Bahneform 2.2.: Richtlinien zur Interoperabilität und Sicherheit in Kraft gesetzt'. The article text discusses the implementation of the EU railway interoperability directives in Switzerland, mentioning the 'Hauptteil der Bahneform 2.2.' and the 'Güterverkehrsverkehr'. A sidebar on the right contains 'Weitere Informationen' with links to 'Bahneform', 'Cross-Access', and 'Verordnungen per 01.07.2013'. A search bar and language selection options are also visible at the bottom of the page.

A 5 Lebenslauf

Dipl.-Ing. Silko Höppner

Geboren am 28.07.1981 in Karl-Marx-Stadt, heute Chemnitz, Bundesrepublik Deutschland

Beruflicher Werdegang

2009 – 2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme an der ETH Zürich

2006 Praktikum im regionalen Busverkehr, Reisedienst Dörfelt OHG, Gahlenz

2005 Praktikum beim Zentralen Eisenbahnbetrieb, Vattenfall AG, Schwarze Pumpe

2004 Praktikum bei S-Bahn Berlin GmbH, Berlin

2002 Praktikum bei Regio Infra Service Sachsen GmbH (EIU), Chemnitz

2000 – 2001 Zivildienst im Seniorenbetreuungszentrum Chemnitz-Glösa

Ausbildung

2010 – 2015 Dissertation an der ETH Zürich

2001 – 2008 Studium Verkehrsingenieurwesen an der TU Dresden, Vertiefungsrichtung Verkehrssystemtechnik und Logistik, Schwerpunkt Eisenbahnverkehr und ÖPNV, Abschluss Diplom-Ingenieur

1988 – 2000 Schulausbildung in Chemnitz, Abschluss Allgemeine Hochschulreife

Schriftenreihe des IVT

Herausgegeben vom Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH Zürich

Nr.	Titel	Autor	Jahr	Preis	Status
59	Aufteilung von Erholungsaktivitäten im Raum und in der Zeit	A. Deloukas	1986	20.-	vergriffen
60	Baulich integrierte Strassen	M. Rotach	1986	20.-	erhältlich
61	Unterhaltskosten von Trolley- und Dieselmussen in der Schweiz	H. Brändli	1986	30.-	vergriffen
62	Eichung und Validation eines Umlegungsmodelles für den Strassengüterverkehr	E. Meier	1986	10.-	erhältlich
63	Fahrpläne für die Zürcher S-Bahn	G. Rey	1986	20.-	erhältlich
64	Quergefälle in Geraden und Kurven	P. Spacek	1987	20.-	erhältlich
65	Simulation von Eisenbahnsystemen mit RWS-I	P. Giger	1987	20.-	erhältlich
66	Siedlung - Verkehrsangebot - Verkehrsnachfrage	Prof. M. Rotach	1987	20.-	vergriffen
67	N 13, Au-Haag: Auswirkungen der Sofortmassnahmen vom Sommer 1984 auf das Unfallgeschehen	Prof. K. Dietrich	1987	10.-	vergriffen
68	Entwicklung des Schweizerischen Personenverkehrs 1960-1990	Prof. C. Hidber	1987	30.-	vergriffen
69	MacTrac – interaktives Programm für Zuglaufrechnungen Benutzerhandbuch	P. Brunner	1988	15.-	vergriffen
70	Mehrdimensionale Bewertungsverfahren und UVP im Verkehr	Prof. C. Hidber	1988	30.-	vergriffen
71	Ein Beitrag zur Umlegung: Ausgewählte Probleme und Lösungsansätze	Prof. C. Hidber, M. Keller	1988	15.-	erhältlich
72	Flexible Betriebsweise: Die Kombination von Linien- und Bedarfsbetrieb auf einer Buslinie	Prof. H. Brändli, B. Albrecht, K. Bareiss	1988	10.-	vergriffen
73	Von der Bahn 2000 zum System OeV 2000	Prof. H. Brändli, B. Albrecht, W. Glünkin	1988	80.-	vergriffen
74	Planung des öffentlichen Verkehrs in nichtstädtischen Gebieten	Prof. H. Brändli, H. Amacker	1988	20.-	vergriffen
75	Simulation of railway networks with RWS-I	P. Giger	1989	15.-	erhältlich
76	Einfluss des Mischprozesses auf die Qualität bituminöser Mischungen	M. Kronig	1989	20.-	vergriffen
77	Regionale Arbeitsmobilität	W. Dietrich	1989	20.-	erhältlich
78	Zur Bewertung der Wirkung sicherheitsorientierter Massnahmen im Eisenbahnbetrieb	R. Röttinger	1989	30.-	erhältlich
79	Bewertung der offiziellen NEAT-Varianten	W. Schurter, N. Bischofsberger	1989	20.-	vergriffen
80	DQM-2: Ein Gerät zur dynamischen Querprofilmessung auf Strassen	U. Scheifele	1989	20.-	erhältlich
81	Neuverkehr infolge Ausbau und Veränderung des Verkehrssystems	E. Meier	1989	35.-	erhältlich
82	Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes Teil I: Modelle für bleibende Verformungen	J.-D. Zufferey	1989	20.-	vergriffen
83	Moderne EDV-Anwendungen zur Verkehrsbeeinflussung	Prof. C. Hidber, W. Schurter	1989	30.-	erhältlich
84	Berufspendlerverkehr 1950-1990 Entwicklung des Berufspendlerverkehrs der schweizerischen Agglomerationen	Prof. C. Hidber, N. Bischofsberger	1989	25.-	erhältlich
85	Drainasphalt Beobachtungen des Verhaltens von hohlraumreichen Verschleisschichten unter Verkehr	H. Köster	1990	42.-	erhältlich
86	Güterverkehrsaufkommen in Industriegebieten	P. Schirato, Prof. C. Hidber	1991	30.-	vergriffen

87	Langzeitverhalten von bituminösen Drainbelägen Teil I: Lärmverhalten von Drainbelägen	T. Isenring	1991	52.-	erhältlich
88	EDV-Anwendungen im Verkehrswesen	Prof. C. Hidber, W. Schurter	1991	50.-	erhältlich
89	Sichtweiten	F. Bühlmann, H. P. Lindenmann, P. Spacek	1991	30.-	erhältlich
90	Transporttechnik der Fussgänger	U. Weidmann	1992	30.-	erhältlich
91	Optimierung in Verkehrsplanung, Transporttechnik und Logistik	(Referate)	1992	40.-	erhältlich
92	Elemente eines computergestützten Werkzeugs zur Entwicklung von Eisenbahnsicherungsanlagen mit Petri-Netzen	M. Montigel	1993	25.-	erhältlich
93	Verkehrsangebot Schweiz 1960–1992	Prof. C. Hidber, N. Bischofberger	1992	35.-	erhältlich
94	Simulationsmodell für Tramnetze	P. Brunner	1993	40.-	erhältlich
95	Desserte ferroviaire de l'aéroport de Geneve-Cointrin	Prof. C. Hidber, Dr. G. Abay, J.-P. Widmer	1993	40.-	erhältlich
96	Kostenproblematik des Schienenverkehrs: Ansätze zur Reduktion der Produktionskosten	Prof. H. Brändli, J. Wichser	1993	25.-	erhältlich
97	Think Trac: ein einfach zu portierendes Traktionsprogramm für die Berechnung von Fahrzeiten im Eisenbahnverkehr	Prof. H. Brändli, J. Hoessly	1993	30.-	erhältlich
98	Pioniere des Verkehrs. Eine Auswahl von Kurzbiographien zur Einführung in die Verkehrsgeschichte	Prof. C. Hidber u.a.	1993	30.-	erhältlich
99	Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr. <i>Anstelle 99 kann Nr. 106 (Zusammenfassung) bestellt werden.</i>	U. Weidmann	1994	80.-	vergriffen
100.1	Optimierung des Oberbaus bei Meterspurbahnen: Teil 1: Berechnung und Beurteilung	Prof. H. Brändli, J. Wichser, S. Rangosch, M. Kohler	1994	25.-	erhältlich
100.2	Optimierung des Oberbaus bei Meterspurbahnen: Teil 2: Grundlagen und Methodik	Prof. H. Brändli, J. Wichser, S. Rangosch, M. Kohler	1994	50.-	erhältlich
100.3	Optimierung des Oberbaus bei Meterspurbahnen: Teil 3: Literaturkatalog mit Kommentar	Prof. H. Brändli, J. Wichser, S. Rangosch, M. Kohler	1994	25.-	erhältlich
101	Zur Gestaltungsaufgabe des Bauingenieurs: Systemtheoretische Grundlagen und Folgerungen für Planung und Ausführung ein Beitrag zur Ingenieurwissenschaft	B. Meyer	1994	40.-	erhältlich
102	Modellierung und Gewährleistung von Abhängigkeiten in Eisenbahnsicherungsanlagen	M. Montigel	1994	50.-	erhältlich
103	Simulation von Eisenbahnsystemen mit RWS-I: 3. Auflage RWS Version 1.7 für Apple Macintosh	P. Giger	1994	30.-	erhältlich
104	Nationalstrasse N2, Basel–Chiasso Kapazitätsuntersuchung: Verkehrstechnische Studie zur Beurteilung der heutigen Kapazitätsverhältnisse	Prof. K. Dietrich, P. Spacek	1994	50.-	erhältlich
105	Anwendungsbeispiele zur Optimierung in Verkehrsplanung, Transporttechnik und Logistik	Prof. C. Hidber, Z. Oblozinska	1994	25.-	erhältlich
106	Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit	U. Weidmann	1995	30.-	erhältlich
107	Umweltbilanz der Warenverteilung (Non Food) des Migros-Genossenschafts-Bundes	Prof. C. Hidber, E. Meier	1995	30.-	erhältlich
108	Lagestabilität lückenloser Meterspurgleise in kleinen Bogenradien	S. Rangosch	1995	80.-	erhältlich
109	Pioniere des Verkehrs. Eine Auswahl von Kurzbiographien zur Einführung in die Verkehrsgeschichte. Band 2.	Prof. C. Hidber u. a.	1995	30.-	erhältlich

I 10	Qualitätsmanagement von Eisenbahnstrecken.	E. Hediger	1996	20.-	erhältlich
I 11	Abschätzung des Zonen-Binnenverkehrs in Städten; Teil I	Prof. C. Hidber, J.-P. Widmer	1996	30.-	erhältlich
I 12	Vergleich: Schotterloser Oberbau / Schotteroberbau	P. Pingoud	1997	30.-	vergriffen
I 13	Leistungsfähigkeit von Verkehrssystemen	N. Bischofberger	1997	30.-	erhältlich
I 14	Do rail stations at airports allow a better distribution of air passenger transport demand among airports	R. Schilling, J.-P. Widmer	1997	50.-	vergriffen
I 15	Korridor-Leistungsfähigkeit - Zusammenwirken mehrerer Verkehrsträger bei Ueberlastung	Prof. C. Hidber	1997	50.-	erhältlich
I 16/1	Bahnerschliessung Flughäfen Stuttgart und Frankfurt a. M. Kosten-Nutzen-Analyse	J.-P. Widmer, R. Schilling, R. Gottwald	1997	25.-	erhältlich
I 16/2	Bahnerschliessung Flughäfen Brüssel. Kosten-Nutzen-Analyse	J.-P. Widmer, O. Hintermeister	1997	25.-	erhältlich
I 16/3	Bahnerschliessung Flughäfen Paris Roissy-CDG2 und Orly. Kosten-Nutzen-Analyse	J.-P. Widmer, C. Dasen-Sender	1997	25.-	erhältlich
I 16/4	Bahnerschliessung Flughafen Zürich. Kosten-Nutzen-Analyse	J.-P. Widmer, R. Gottwald	1998	25.-	erhältlich
I 17	Berufspendlerverkehr 1980–1990–2000	C. Dasen-Sender	1997	35.-	erhältlich
I 18	25 Jahre IVT-Messungen zum Verkehrsablauf auf Autobahnen	Prof. K. Dietrich, H. P. Lindenmann, Y. Chabot-Zhang	1998	30.-	erhältlich
I 19	Qualitätsfaktor – Vergleich der Angebotsqualität im Regionalverkehr	U. Widmer, M. Neumeister	1998	40.-	vergriffen
I 20	Einsatz von zementstabilisiertem Asphaltgranulat in Foundationsschichten	M. Shojaati	1998	35.-	vergriffen
I 21	Carpools im Spannungsfeld mit dem öffentlichen Personenverkehr	S. Dasen	1999	25.-	erhältlich
I 22	Bonus/Malus-System; System zur Gewährleistung der Betriebsqualität auf dem für den freien Zugang geöffneten SBB-Netz.	M. Hofer	1999	40.-	erhältlich
I 23	Beiträge zur Soziologie und Politologie im Verkehr	Prof. C. Hidber u. a.	1999	30.-	vergriffen
I 24	Stabilitätsprobleme lückenloser Meterspurgleise in engen Radien und in Uebergangsbögen	F. Gallati	2001	90.-	erhältlich
I 25	Objektorientierte Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen	D. Hürlimann	2002	60.-	erhältlich
I 26	Der Bettungsmodul für den Schotteroberbau von Meterspurbahnen	M. Kohler	2002	90.-	erhältlich
I 27	Verwendung von Eisenbahnbetriebsdaten für die Schwachstellen- und Risikoanalyse zur Verbesserung der Angebots- und Betriebsqualität	M. Ullius	2005	70.-	erhältlich
I 28	Netzgestaltungsgrundsätze für den öffentlichen Personennahverkehr in Verdichtungsräumen	U. Schäffeler	2005	90.-	vergriffen
I 29	GIS-basiertes Konzept zur Modellierung von Einzugsbereichen auf Bahn-Haltestellen	J. Jermann	2005	70.-	erhältlich
I 30	Fachbegriffe des öffentlichen Verkehrs	J. Wichser, H. Schneebeli, S. Bollinger	2005	40.-	erhältlich
I 31	Regionalisierung des Schienenverkehrs in der Schweiz	M. Rieder	2005	60.-	erhältlich
I 32	Parameters of pedestrians, pedestrian traffic and walking facilities	S. Buchmüller, Prof. U. Weidmann	2006	25.-	erhältlich
I 33	Strategies for increasing intermodal transport between Eastern and Western Europe, final report	N. Fries	2006	50.-	erhältlich
I 34	Europäische Marktstudie für das System Swissmetro	U. Weidmann, S. Buchmüller, M. Rieder, A. Nash, A. Erath	2006	90.-	erhältlich

135	Studie zu einem neuen schweizerischen Trassenpreissystem	U. Weidmann, N. Fries, J. Wichser, P. Schmidt, H. Schneebeli	2007	40.-	erhältlich
136	Regionen im Umbruch! – Regionalverkehr im Aufbruch	Tagungsband	2007	30.-	erhältlich
137	Systemvorschlag für ein neues schweizerisches Trassenpreissystem	U. Weidmann, J. Wichser, P. Schmidt	2008	40.-	erhältlich
138	Betriebsstabilität bei Buslinien mit Fahrausweisverkauf durch Fahrer	U. Weidmann, M. Lüthi, S. Buchmüller, R. Dorbritz	2008	25.-	erhältlich
139	Leistungsfähigkeitsbestimmung öffentlicher Verkehrssysteme	U. Weidmann, G. Anderhub, R. Dorbritz	2008	30.-	erhältlich
140	Peripherer Verkehr – Verkehrte Peripherie?	Tagungsband	2008	30.-	erhältlich
141	Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich	U. Weidmann, P. Spacek, K. W. Axhausen, B. Alt, G. Anderhub, R. Dorbritz, A. Frei, M. Laube, M. Scherer, C. Weis	2008	50.-	erhältlich
142	Gesamterschliessungskonzept Science City Synthesebericht	U. Weidmann, P. Frank	2008	90.-	erhältlich
143	Ein Trassenpreissystem aus Umweltsicht unter besonderem Augenmerk des Lärms – Studie	U. Weidmann, St. Moll, P. Schmidt	2009	30.-	erhältlich
144	Validierung eines semi-quantitativen Ansatzes zur Risikobeurteilung in der Eisenbahntechnik	S.-L. Bepperling	2009	30.-	erhältlich
145	Verlässliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs in der Schweiz Konzeptstudie	U. Weidmann, J. Wichser	2009	25.-	erhältlich
146	Die Revolution der Automation – Verkehrsautomatisierung und Gesellschaft im 20. und 21. Jahrhundert	Tagungsband	2009	40.-	erhältlich
147	Improving the efficiency of heavily used railway networks through integrated real-time rescheduling	M. Lüthi	2009	60.-	erhältlich
148	Market potential and value of sustainable freight transport chains	N. Fries	2009	45.-	erhältlich
149	100 Jahre Gesellschaft der Ingenieure des öffentlichen Verkehrs 1910–2010, (k)ein Wunder, dass es uns noch gibt	Gdl	2009	50.-	erhältlich
150	Investigation of space-time structures in public transport networks and their optimisation	B. Alt	2010	50.-	erhältlich
151	Nachhaltige Güterfeinverteilung	U. Weidmann, N. Fries, B. Bopp, W. Stölzle, E. Hofmann, K. Gebert	2010	40.-	erhältlich
152	Ein lärmabhängiges Trassenpreissystem für die Schweiz	U. Weidmann, St. Moll	2010	30.-	erhältlich
153	Laterales Fahrverhalten	G. Santel	2011	45.-	erhältlich
154	Stabil Mobil – Komplexe Verkehrssysteme als Herausforderung unserer Gesellschaft	Tagungsband	2011	40.-	erhältlich
155	Methodology for assessing the structural and operational robustness of railway networks	R. Dorbritz	2012	60.-	erhältlich
156	Operational stability and reliability of urban bus routes in Zurich, Switzerland	U. Weidmann, N. Carrasco, O. Fink	2012	50.-	erhältlich
157	Metro/tram – Eine Perspektive für Zürich	U. Weidmann, W. Huber	2012	15.-	erhältlich
158	Optimale Netznutzung und Wirksamkeit der Instrumente zu deren Lenkung	U. Weidmann, P. Frank, T. Fumasoli, St. Moll	2012	60.-	erhältlich
159	Europäische Eisenbahnregulierung im Wandel: Organisationsformen und Bestimmungsgrößen vom 19. bis zum 21. Jahrhundert	U. Weidmann, M. Rieder	2012	15.-	erhältlich
160	Productivity improvements for freight railways through collaborative transport planning	St. Moll	2012	40.-	erhältlich

161	Concept des transports et de mobilité dans des communes de Clos du Doubs et Soubey	U. Weidmann, S. Herrigel-Wiedersheim, M. Rieder	2014		im Erscheinen
162	Differences in cognition of public transport systems: Image and behavior towards urban public transport	M. Scherer	2013	40.-	erhältlich
163	Methodik zur Effizienzbeurteilung der Kapazitätsnutzung und -entwicklung von Bahnnetzen	P. Frank	2013	60.-	erhältlich
164	Prognose der Dauer von Störungen des Bahnbetriebs	St. Schranil	2013	45.-	erhältlich
165	Failure and degradation prediction by artificial neural networks: Applications to railway systems	O. Fink	2014	50.-	erhältlich
166	Das Verhalten von lückenlos verschweissten Gleisen (LVG) in engen Radien der Meterspur	B. Bopp	2014	50.-	erhältlich
167	How international borders affect local public transport: Analyses and evaluations of cross-border agglomerations in Switzerland, France and Germany	E. Barth	2014	40.-	erhältlich
168	Spurverhalten von Motorfahrzeugen in Kurven: Zusammenhänge zwischen Spurtypen, Unfallgeschehen und Kurvengeometrie	F. Baumgartner	2015		im Erscheinen
169	Planning, operation, and the influence of national culture in public transport service reliability	N. Carrasco	2015	45.-	erhältlich
170	Algorithmic decision support for the construction of periodic railway timetables	S. Herrigel-Wiedersheim	2015	40.-	erhältlich
171	Generische Beschreibung von Eisenbahnbetriebsprozessen	S. Höppner	2015	55.-	erhältlich
172	Holistic rail network operation by integration of train automation and traffic management	X. Rao	2015	50.-	erhältlich
173	Innovationen im Bahnbereich	U. Weidmann, St. Schranil, D. Bruckmann, T. Fumasoli, S. Herrigel-Wiedersheim	2015	30.-	erhältlich

Schriftenreihe wird fortgeführt

Bestellung

Nr. Titel

Anzahl

Meine Anschrift
Firma

Name

Adresse

PLZ/Ort

Land

Telefon

Fax

E-Mail

Lieferung erfolgt gegen Rechnung

Bestellungen sind zu richten an:
Sekretariat IVT, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich
Stefano-Frascini-Platz 5, HIL F 36.2
CH-8093 Zürich
Fax: +41 44 633 10 57
www.ivt.ethz.ch