

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	III
Kurzfassung .....	V
Abstract .....	VI
Inhaltsverzeichnis .....	VII
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme .....	XIII
Glossar .....	XVII
1 Einleitung.....	1
1.1 Herausforderungen im Schienenverkehr und mögliche Potenziale .....	1
1.1.1 Interoperabilität des Schienenverkehrs in Europa .....	1
1.1.2 Wirtschaftlicher Betrieb von Nebenstrecken .....	2
1.1.3 Verzicht auf streckenseitige Infrastruktur .....	2
1.1.4 Erhöhung der Streckenkapazität .....	3
1.1.5 ETCS als europäisches Zugbeeinflussungssystem .....	3
1.1.6 Ansatz, Problemstellung .....	4
1.2 Abgrenzung der Arbeit und Vorarbeiten.....	5
1.3 Ziele dieser Arbeit.....	6
1.3.1 Teilziel A: Konsistente Darstellung der Systemarchitektur.....	7
1.3.2 Teilziel B: Sicherheitsgerichteter Entwicklungsprozess.....	8
1.3.3 Teilziel C: Nachweis der sicheren Funktionalität.....	8
1.4 Struktur dieser Arbeit .....	9
2 Stand der Forschung und Technik in Zugbeeinflussung und Ortung .....	11
2.1 Leitsysteme zur Steuerung des Verkehrssystems Eisenbahn .....	11
2.1.1 Einführung Zugbeeinflussungssysteme .....	11
2.1.2 Gliederung der Zugbeeinflussungssysteme .....	12
2.1.3 Entwicklung und Anwendung der Zugbeeinflussung in Europa .....	12
2.1.4 Wandel zur europäischen Zugbeeinflussung .....	14
2.1.5 Technische Umsetzung von ETCS .....	14
2.1.6 Nutzung von ETCS in Europa .....	15
2.2 Migrationsprozesse im Schienenverkehr.....	16
2.2.1 Durchführung der Migration .....	16
2.2.2 Prozess der Migration .....	17
2.2.3 Besonderheiten der Migration von Zugbeeinflussungssystemen.....	18
2.2.4 Migration zwischen verschiedenen ETCS Leveln .....	19
2.3 Ortung im Schienenverkehr.....	20
2.3.1 Klassifikation von Ortungsmethoden.....	21
2.3.2 Fahrzeugseitige kontinuierliche Ortung.....	21
2.3.3 Strukturierung der zur Ortung verwendeten Sensoren.....	22
2.3.4 Fahrzeugseitige Sensoren und digitale Karte .....	23

2.3.5	Stand der Nutzung von GNSS im Schienenverkehr .....	24
2.3.6	In Betrieb befindliche satellitenbasierte Zugbeeinflussungssysteme.....	25
2.3.7	Konzepte satellitenbasierter Zugbeeinflussungssysteme .....	26
2.4	Satellitenbasierte Sensorik .....	27
2.4.1	Satellitenbasierte Ortung.....	28
2.4.2	Funktionsweise und technische Aspekte der GNSS .....	29
2.4.3	Weltweite GNSS .....	30
2.4.4	Galileo .....	31
2.4.5	Erhöhung der Genauigkeit .....	32
2.4.6	Weltweite Ergänzungssysteme .....	33
2.4.7	Anwendungen der Luftfahrt.....	33
2.5	Integration und Zertifizierung der satellitenbasierten Ortung.....	35
2.5.1	Generische Zertifizierung satellitenbasierter Ortungssysteme .....	35
2.5.2	Domänenspezifische Zertifizierung satellitenbasierter Ortung.....	37
2.5.3	Zertifizierung industrieller Komponenten für den Schienenverkehr .....	37
3	Normativer Rahmen.....	39
3.1	Entwicklung normativer Dokumente .....	39
3.1.1	Beteiligte Organisationen am Normerstellungsprozess .....	40
3.1.2	Beteiligte Organisationen im Gesetzgebungsprozess .....	40
3.1.3	Beteiligte Interessenverbände .....	41
3.1.4	Wandel der europäischen Legislative .....	41
3.1.5	Wandel des sicherheitsgerichteten Entwicklungsprozesses.....	44
3.1.6	Einfluss des rechtlichen Wandels auf die Entwicklung und Zertifizierung .....	44
3.2	Zugrunde liegende Dokumente des normativen Rahmens.....	45
3.2.1	Allgemeine Industrienormen.....	46
3.2.2	Normen der Systemklassifikation .....	47
3.2.3	Grundlegende Normen des Schienenverkehrs .....	47
3.2.4	Grundlegende Spezifikationen des Schienenverkehrs .....	49
3.2.5	Dokumente des Herstellers und Betreibers .....	50
3.2.6	Internationale Dokumente der Entwicklung im Schienenverkehr .....	51
3.3	Sicherheitsnachweisführung.....	51
3.3.1	Begriffsdefinitionen .....	52
3.3.2	Sicherheitsnachweis in der Luftfahrt .....	54
3.3.3	Sicherheitsnachweis im Schienenverkehr in Europa .....	54
3.3.4	Einfluss der TSI auf Entwicklung und Zertifizierung.....	58
3.3.5	Sicherheitsnachweis im Schienenverkehr weltweit .....	58
3.3.6	Domänenübergreifender Ansatz .....	59
3.3.7	Strukturierung der Sicherheitsnachweisführung.....	60
3.3.8	Zusammenfassung der Ansätze.....	60
3.4	Normative Anforderungen im Schienenverkehr .....	61

3.4.1	Risikoakzeptanzkriterien im Schienenverkehr.....	62
3.4.2	Normative Anforderungen an Komponenten im Schienenverkehr.....	63
3.4.3	Normative Anforderungen an den Entwicklungsprozess.....	64
3.4.4	Normative Anforderungen an den Entwicklungsprozess (international).....	65
3.4.5	Durchführung der sicheren Systementwicklung .....	67
3.4.6	Nachweiskonzeption .....	68
3.4.7	Normkonforme entwicklungsbegleitende Dokumentation .....	71
3.4.8	Inbetriebnahmegenehmigung .....	72
4	Entwicklung sicherer Systeme und Systemstrukturierung .....	73
4.1	Entwicklung technischer Systeme im Schienenverkehr.....	73
4.1.1	Generischer sicherheitsgerichteter Entwicklungsprozess .....	74
4.1.2	Domänenunabhängige Verantwortlichkeiten .....	75
4.1.3	Personelle und institutionelle Unabhängigkeiten nach Sicherheitsstufe .....	76
4.1.4	Verantwortlichkeiten im Entwicklungsprozess .....	77
4.1.5	Verantwortlichkeiten während der Zertifizierung.....	79
4.2	Grundlagen der Strukturierung eines technischen Systems .....	81
4.2.1	Herausforderungen der Systemstrukturierung .....	82
4.2.2	Grundlegende Definitionen.....	82
4.2.3	Eigenschaften des Systembegriffs .....	83
4.2.4	Bedeutende Aspekte der Erstellung der Systemarchitektur .....	84
4.3	Ansätze zur Durchführung der Systemstrukturierung.....	84
4.3.1	Funktionsbezogene Struktur .....	85
4.3.2	Produktbezogene Struktur.....	87
4.3.3	Ortsbezogene Struktur.....	88
4.3.4	Integrierte Struktur .....	90
5	Strukturierung der Anforderungsspezifikationen .....	91
5.1	Anforderungen an Betrieb und Instandhaltung .....	91
5.1.1	Generische Darstellung der Anforderungen an Anwendungen .....	91
5.1.2	Strukturierung der Funktionen im Schienenverkehr .....	92
5.1.3	Zusammenfassung.....	95
5.2	Anforderungen an Stilllegung und Entsorgung.....	96
5.3	Anforderungen an Betrieb mit externen Einflüssen .....	96
6	Strukturierung der Sicherheitsanforderungsspezifikationen.....	97
6.1	Aufstellen der Sicherheitsanforderungen .....	98
6.1.1	Anforderungen an Systemkomponenten.....	99
6.1.2	Anforderungen entsprechend des Funktionsaspekts .....	100
6.1.3	Resultierende Anforderungen an die Ortungseinheit.....	102
6.1.4	Anforderungen an den Entwicklungsprozess.....	105
6.1.5	Anforderungen an durch Sensoren gelieferte Informationen.....	105

6.1.6	Technische Sicherheitsanforderungen .....	105
6.2	Anforderungen an Sicherheitsüberwachung im Betrieb .....	106
6.3	Anforderungen an Stilllegung und Entsorgung .....	106
6.4	Anforderungen an Sicherheitserprobung .....	106
7	Erstellung des Sicherheitsnachweises .....	109
7.1	Definition des Systems .....	110
7.1.1	Einleitung .....	111
7.1.2	Systemarchitektur .....	112
7.1.2.1	Beschreibung der Systemarchitektur .....	113
7.1.2.2	Definition der Schnittstellen .....	116
7.1.3	Sichere Systementwicklung .....	119
7.1.3.1	Zusammenfassung der technischen Sicherheitsprinzipien .....	119
7.1.3.2	Projektierung von Teilsystemen und Systemaufbau .....	123
7.2	Allgemeine Informationen .....	124
7.2.1	Qualitätsmanagementbericht .....	124
7.2.2	Sicherheitsmanagementbericht .....	124
7.3	Technische Sicherheitsanalyse und Umsetzung .....	124
7.3.1	Einleitung .....	125
7.3.2	Betrieb mit externen Einflüssen .....	126
7.3.2.1	Klimatische Bedingungen .....	126
7.3.2.2	Mechanische Bedingungen .....	126
7.3.2.3	Höhe über Meeresspiegel .....	126
7.3.2.4	Elektrische Bedingungen (nicht auf Fahrzeugen) .....	127
7.3.2.5	Elektrische Bedingungen (auf Fahrzeugen) .....	127
7.3.2.6	Schutz vor unberechtigtem Zutritt .....	127
7.3.2.7	Erschwerte Bedingungen .....	127
7.3.3	Ausfallauswirkungen .....	127
7.3.3.1	Angabe der Fail-Safe-Prinzipien .....	128
7.3.3.2	Unabhängigkeit von Betrachtungseinheiten .....	129
7.3.3.3	Schutz gegen systematische Fehler .....	130
7.3.3.4	Auswirkung von Einzelausfällen .....	130
7.3.3.5	Auswirkung von Mehrfachausfällen .....	131
7.3.3.6	Offenbarung von (Einzel-)Ausfällen .....	132
7.3.3.7	Aktion nach Ausfalloffenbarung .....	132
7.3.4	Nachweis des korrekten funktionalen Verhaltens .....	132
7.3.4.1	Erfüllung der Sicherheitsanforderungen .....	133
7.3.4.2	Nachweis der korrekten Hardwarefunktionalität .....	135
7.3.4.3	Nachweis der korrekten Softwarefunktionalität .....	136
7.3.5	Sicherheitsbezogene Anwendungsbedingungen .....	137
7.3.5.1	Betrieb und Instandhaltung .....	138
7.3.5.2	Sicherheitsüberwachung im Betrieb .....	138

7.3.5.3	Stilllegung und Entsorgung.....	139
7.3.6	Sicherheitserprobung .....	139
7.3.6.1	Erfüllung der Systemanforderungen .....	139
7.3.6.2	Ergebnisse .....	140
7.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	140
7.4.1	Beziehungen zu anderen Sicherheitsnachweisen .....	140
7.4.2	Zusammenfassung.....	141
8	Sicherheitsgutachten .....	143
8.1	Begutachtungsgegenstand .....	143
8.2	Unabhängigkeit des Gutachters.....	143
8.3	Durchführung der Begutachtung .....	144
8.4	Dokumentation der Begutachtung.....	145
8.5	Abweichungen gegenüber Sicherheitsanforderungen .....	147
8.6	Zulassung des betrachteten Systems .....	148
9	Zusammenfassung und Ausblick .....	149
9.1	Zusammenfassung und kritische Diskussion der Ergebnisse.....	149
9.2	Ausblick.....	150
Anhang 1:	Projekte zur satellitenbasierten Ortung im Schienenverkehr.....	151
Anhang 2:	Bekannte ETCS Ausrüstung in Europa .....	152
Anhang 3:	Normativer Rahmen der satellitenbasierten Ortung .....	153
Anhang 4:	Strukturierung der Funktionen in anderen Verkehrsdomänen.....	154
Anhang 5:	Anforderungen an Komponenten in Schienenfahrzeugen .....	155
Literaturverzeichnis	.....	156
Abbildungsverzeichnis	.....	169
Tabellenverzeichnis	.....	172