

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 Vorrarbeiten.....	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	Domänen spezifische 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 Stillegung 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