



Eisenbahn-Bundesamt

EBA Forschungsbericht
2019-04

Analyse Optimierungspotential Bahnübergangssicherung

EBA Forschungsbericht 2019-04
Projektnummer 2017-I-2-1217

Analyse Optimierungspotential Bahnübergangssicherung

von
Jenny Oelsner
CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik, Dresden

Jens Buder
Professur für Verkehrssicherungstechnik / Technische Universität Dresden, Dresden

Im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes

Impressum

HERAUSGEBER
Eisenbahn-Bundesamt

Heinemannstraße 6
53175 Bonn

www.eba.bund.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE
CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik Bernhardstraße 77
01187 Dresden

Technische Universität Dresden
Professur für Verkehrssicherungstechnik
01062 Dresden

ABSCHLUSS DER STUDIE
Februar 2019

REDAKTION
Eisenbahn-Bundesamt
Roland Pelikan, Tobias Sieberichs, Referat 21
Karl Kammel, Referat 22, Sg 226

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
Ariane Boehmer

PUBLIKATION ALS PDF
<https://www.dzsf.bund.de/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte>

ISSN 2627-9851

[doi: 10.48755/dzsf.210020.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.210020.01)

Bonn, Dezember 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Motivation.....	10
1.2	Zielstellung.....	10
1.3	Herangehensweise.....	11
1.4	Abgrenzung.....	13
2	Systemdefinition Bahnübergangssicherungsanlagen	14
2.1	Klassifizierung der Bahnübergangssicherungsanlagen.....	14
2.1.1	Sicherungsarten.....	14
2.1.2	Art der Überwachung.....	16
2.1.3	Art der Einschaltung.....	16
2.1.4	Kombination der Sicherungs-, Einschalt- und Überwachungsart technisch gesicherter BÜSA.....	17
2.2	Funktionseinheiten der BÜSA.....	17
2.3	Charakterisierung der passiven BÜ-Arten.....	18
2.3.1	Sicherung durch Übersicht.....	18
2.3.2	Sicherung durch hörbare Signale der Schienenfahrzeuge.....	19
2.3.3	Postensicherung.....	20
2.4	Charakterisierung der aktiven BÜSA-Arten.....	21
2.4.1	Sicherung mit Lichtzeichen.....	21
2.4.2	Sicherung mit Lichtzeichen und Halbschranken.....	22
2.4.3	Sicherung mit Lichtzeichen und Schranken.....	23
2.4.4	Sicherung mit Schranken (Anrufschränke).....	24
3	Notwendige Eingangsdaten für eine quantitative Risikoanalyse	26
4	Abgleich mit vorhandenen Daten	28
4.1	Vorhandene Datenquellen.....	28
4.2	Ergebnisse.....	28
4.3	Tendenzen.....	28
5	Optimierungspotentiale am Bahnübergang	31
5.1	Menschliches Verhalten.....	31
5.1.1	Unbeabsichtigtes Fehlverhalten durch Detektionsprobleme.....	31
5.1.2	Unbeabsichtigtes Fehlverhalten durch mangelhaftes Wissen.....	32
5.2	Ablaufmodell der Nutzung eines BÜ.....	33
5.3	Technische und wirtschaftliche Einflussgrößen.....	35
6	Aufwands-Nutzen-Abschätzung	37

6.1	Bautechnik Straße.....	38
6.1.1	Geschwindigkeiten der Straßenverkehrsteilnehmer.....	39
6.1.2	Sichtweite der Straßenverkehrsteilnehmer	39
6.1.3	Straßenführung vor dem Bahnübergang	40
6.1.4	Verkehrsanlagen vor dem Bahnübergang.....	40
6.1.5	Räumungsmöglichkeit.....	44
6.1.6	Eisenbahnüber- und -unterführungen.....	46
6.2	Sicherungs- und Elektrotechnik.....	46
6.2.1	Annäherungszeit	46
6.2.2	Sicherungsart	47
6.2.3	Gefahrenraumfreimeldung.....	48
6.3	Bilanz der Aufwands-Nutzen-Abschätzung	48
7	NE-Anlagen im In- und Ausland	49
7.1	Technische Neuerungen	49
7.1.1	Rotlichtüberwachung	49
7.1.2	Funktechnologie zur Ansteuerung von BÜSA.....	53
7.1.3	Satellitengestützte Ortung.....	55
7.1.4	Warnsysteme im Pkw	56
7.1.5	Kosten- und Energieeffizienz bei technisch gesicherten Bahnübergängen.....	58
7.1.6	Videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung.....	59
7.1.7	Rundumleuchte.....	60
7.2	Änderung von Projektierungsgrundsätzen	63
7.2.1	Low-Cost-Anlagenkonzepte.....	63
7.2.2	Wechselverkehrszeichen	67
7.2.3	Fahrbahnlichter.....	69
7.2.4	Fahrbahnleiter	72
7.2.5	Klappbares Hindernis.....	73
7.2.6	NavTrain.....	75
7.2.7	Fahrbahnmarkierungen	77
7.2.8	Fahrbahnverschwenkung.....	78
7.2.9	Schrankenbäume mit Lichtgebern.....	79
7.2.10	Umgang mit Schwerlaststraßenverkehr	81
7.3	Verkehrserziehung	82
7.3.1	Beschreibung	82
7.3.2	Potential	84
7.3.3	Sicherungsarten.....	85
7.3.4	Sicherheit	85
7.3.5	Umsetzungsstrategie für EdB	85
7.4	Zusammenfassung der NE-Anlagen im In- und Ausland	86
8	Innovative Technologien.....	87
8.1	Technische Neuerungen	87
8.1.1	Blitzlichter (PeriLight)	87
8.1.2	Schienenfahrzeugerkennung durch akustische Sensorik	89

8.1.3	Zugdetektion mit kabellosen Achszählern	90
8.2	Änderung von Projektierungsgrundsätzen	91
8.2.1	Rüttelstreifen	91
8.2.2	Mobile Sicherungsanlage	93
8.2.3	Gefahrenraumfreimeldung an nichttechnisch gesicherten BÜ	95
8.3	Technologieadaption.....	97
8.3.1	Intelligente Videoüberwachung	97
8.3.2	Kollisionsvermeidung RCAS	99
8.3.3	Gefahrenraumfreimeldung mithilfe eines Local Positioning System.....	101
8.3.4	Kommunikation zwischen Schiene und Straße	102
8.3.5	Verkehrszeichenerkennung im Fahrzeug.....	104
8.4	Zusammenfassung der innovativen Technologien	106
9	Nutzwertanalyse	107
9.1	Bestimmung der Bewertungskriterien	107
9.2	Wichtung der Bewertungskriterien.....	107
9.2.1	Änderungsbedarf des Regelwerks	108
9.2.2	Zeitlicher Rahmen der Implementierung	108
9.2.3	Kostenrahmen der Implementierung	108
9.2.4	Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage	108
9.2.5	Verträglichkeit zur Umgebung	108
9.2.6	Anfälligkeit.....	108
9.2.7	Wirksamkeit	109
9.2.8	Negative verkehrspsychologische Effekte	109
9.3	Vergleichsmatrix	109
9.4	Besonderheiten bei der Ausprägung	109
9.4.1	Änderungsbedarf des Regelwerks	109
9.4.2	Kostenrahmen der Implementierung	110
9.4.3	Wirksamkeit	110
9.5	Weiteres Vorgehen	110
9.6	Nutzwertanalyse für nichttechnisch gesicherte BÜ	110
9.6.1	Micro-Anlage	111
9.6.2	NavTrain.....	111
9.6.3	Satellitengestützte Ortung	112
9.6.4	Verkehrserziehung	113
9.6.5	Blitzlichter.....	113
9.6.6	Rüttelstreifen	114
9.6.7	Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X)	115
9.6.8	Verkehrszeichenerkennung	116
9.6.9	Ergebnis der NWA für nichttechnisch gesicherte BÜ.....	116
9.7	Nutzwertanalyse für technisch gesicherte BÜ mit Lichtzeichen	117
9.7.1	Rotlichtüberwachung	118
9.7.2	Funktechnologie.....	119

9.7.3	Rundumleuchte.....	119
9.7.4	Fahrbahnlichter.....	120
9.7.5	Klappbares Hindernis.....	121
9.7.6	NavTrain.....	121
9.7.7	Verkehrserziehung.....	122
9.7.8	Rüttelstreifen.....	122
9.7.9	Akustische Sensorik.....	122
9.7.10	Kabellose Achszähler.....	123
9.7.11	RCAS.....	123
9.7.12	Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X).....	124
9.7.13	Verkehrszeichenerkennung.....	124
9.7.14	Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Lichtzeichen.....	124
9.8	Nutzwertanalyse für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken.....	126
9.8.1	Rotlichtüberwachung.....	126
9.8.2	Funktechnologie.....	126
9.8.3	Rundumleuchte.....	126
9.8.4	Fahrbahnlichter.....	126
9.8.5	Fahrbahnteiler.....	126
9.8.6	Klappbares Hindernis.....	127
9.8.7	NavTrain.....	127
9.8.8	Verkehrserziehung.....	127
9.8.9	Akustische Sensorik.....	127
9.8.10	Kabellose Achszähler.....	127
9.8.11	RCAS.....	127
9.8.12	Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X).....	127
9.8.13	Verkehrszeichenerkennung.....	127
9.8.14	Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken.....	128
9.9	Nutzwertanalyse für technische Gefahrenraumfreimeldung.....	129
9.9.1	Videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung.....	129
9.9.2	Lasersystem.....	130
9.9.3	Intelligente Videoüberwachung.....	130
9.9.4	Gefahrenraumfreimeldung mithilfe eines Local Positioning System.....	130
9.9.5	Ergebnis der NWA für technische Gefahrenraumfreimeldung.....	131
10	Bilanz der Potentialanalyse.....	132
11	Überprüfung der rechtlichen Vereinbarkeit.....	135
11.1	Rechtliche Rahmenbedingungen von Maßnahmen und Technologien zur Sicherung des BÜ.....	136
11.1.1	Fahrbahnteiler.....	136
11.1.2	Rotlichtüberwachung.....	137
11.1.3	Fahrbahnlichter.....	137
11.1.4	NavTrain.....	138
11.1.5	Verkehrszeichenerkennung.....	138
11.1.6	Verkehrserziehung.....	138
11.1.7	Rundumleuchte als Zusatzeinrichtung.....	138
11.1.8	Rundumleuchte als Ersatzeinrichtung.....	139

11.1.9	Kabellose Achszähler	140
11.2	Rechtliche Rahmenbedingungen von Maßnahmen zur technischen Gefahrenraumfreimeldung.....	141
11.2.1	Lasersystem.....	141
11.2.2	Intelligente Videoüberwachung	141
11.3	Ergebnis der Untersuchung zu rechtlichen Rahmenbedingungen	141
12	Empfehlungskatalog für Optimierungspotential an BÜ.....	144
12.1	Erste Empfehlung.....	145
12.2	Zweite Empfehlung	145
12.3	Dritte Empfehlung.....	145
12.4	Vierte Empfehlung.....	146
12.5	Weitere bereits in Anwendung befindliche Empfehlungen	146
13	Zusammenfassung	148
	Abkürzungsverzeichnis	150
	Abbildungsverzeichnis	152
	Tabellenverzeichnis	154
	Literaturverzeichnis	155

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bahnübergänge (BÜ) sind die bedeutendste Schnittstelle zwischen den Verkehrssystemen Eisenbahn und Straße, die unterschiedliche Eigenschaften und Sicherheitsphilosophien aufweisen. Ausgehend von den Systemeigenschaften des Schienenverkehrs ist bei Versagen der Sicherung des BÜ ein hohes Schadensausmaß zu erwarten. Dies belegen auch Unfallstatistiken der Eisenbahn am Bahnübergang. Unfälle am Bahnübergang sind eine der häufigsten Unfallarten im Bahnsystem. Im Median der Jahre 2004 – 2015 ereigneten sich 40 % der Personenschäden bei Schienenverkehrsunfällen durch Zusammenpralle mit Wegebenutzern (siehe Abbildung 1). Damit stehen Sie an zweiter Stelle nach den Personenumfällen.

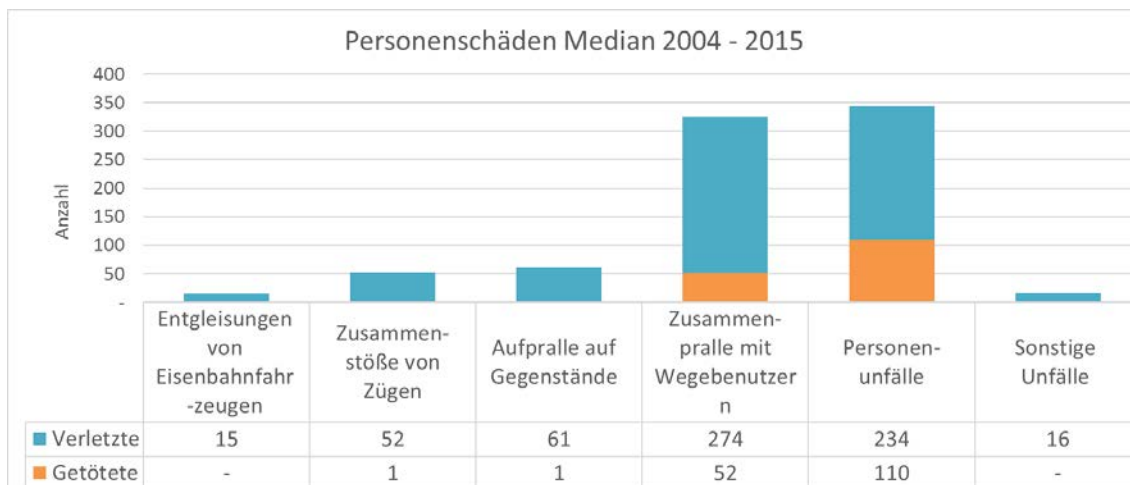


Abbildung 1: Personenschäden im Schienenverkehr 2004 – 2015 [1]

Aus diesem Grund ergibt sich für Bahnübergänge ein hohes Schutzbedürfnis. Dieses wird mittels unterschiedlichen Sicherungsmaßnahmen im Sinne der Unfallvermeidung realisiert, die sich einteilen lassen in:

- technisch gesicherte und
- nichttechnisch gesicherte

Bahnübergänge. Unabhängig von der Sicherungsart besteht das Schutzziel in der Verhinderung von Zusammenprallen der diversen Straßenverkehrsteilnehmer mit Schienenfahrzeugen.

1.2 Zielstellung

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, Optimierungsmöglichkeiten zur Risikominderung an Bahnübergängen bei Eisenbahnen des Bundes (EdB) zu identifizieren und zu bewerten.

Hierzu werden zunächst ausgehend von dem aktuell vorhandenen Risiko an Bahnübergängen in Deutschland Optimierungspotentiale identifiziert. Dazu können objektiv messbare Kriterien aus Statistiken ausgewertet werden.

Different eingesetzte Komponenten der Bahnübergangssicherung im Bereich nichtbundeseigener Bahnen (NE-Bereich) im In- und Ausland sowie innovative Technologien bilden die Grundlage für die Analyse von potentiellen Verbesserungsmaßnahmen. Identifizierte Komponenten und Technologien werden nach erfolgreicher Potentialabschätzung mittels einer Nutzwertanalyse (NWA) bewertet. Somit kann die Übertragbarkeit auf vorhandene Bahnübergänge bei EdB bestimmt werden.

Abschließend erfolgt eine Analyse hinsichtlich der rechtlichen Vereinbarkeit mit den geltenden Normen, Vorschriften und Regelwerken. Aus dieser Analyse soll ein Katalog mit Empfehlungen für die unterschiedlichen BÜ-Sicherungsarten hervorgehen.

1.3 Herangehensweise

Um das Optimierungspotential am Bahnübergang bei Eisenbahnen des Bundes festzustellen, wird das Risiko als Grundlagenkriterium herangezogen. Dazu ist es zunächst entscheidend, das aktuell vorhandene Risiko durch geeignete Datenanalysen zu ermitteln (Kapitel 4). Anschließend werden aufbauend auf den Einflussgrößen des Risikos Verbesserungsmöglichkeiten herausgearbeitet.

Hintergrund dessen ist, dass mit neuen bzw. veränderten Systemkomponenten des Bahnübergangs das Risiko wie folgt optimiert werden kann:

- Neue Maßnahmen/veränderte Systemkomponenten führen bei geringerem Aufwand, als im heutigen Referenzfall, zu einer Sicherheitserhöhung/Risikoreduzierung oder
- Ein gleichbleibendes Risiko wird durch Maßnahmen mit geringerem Aufwand erreicht, als im heutigen Referenzfall. Somit kann z. B. eine größere Gesamtzahl an Bahnübergängen technisch gesichert werden und das Gesamtrisiko minimiert werden.

Diese Herangehensweise wird ebenfalls im europäischen Projekt „Safer-LC“ (siehe [2]) angewandt und wird daher als qualifiziertes Vorgehen betrachtet.

Die im Folgenden durchgeführten Arbeiten werden prinzipiell nach dem standardisierten Vorgehen der CENELEC-Norm DIN EN 50126-1 [3] durchgeführt. Hierzu erfolgt zunächst eine Systemdefinition aller BÜ-Arten auf funktional-technischer Ebene in Kapitel 2. Darauf aufbauend werden benötigte Daten für eine Risikoanalyse auf technischer und gesamthafter Ebene erörtert.

Es folgt eine Analyse vorhandener Unfalldaten zur Berechnung des Risikos am Bahnübergang. Anschließend werden aufbauend auf den Einflussgrößen des Risikomodells am Bahnübergang Optimierungsmöglichkeiten identifiziert und einer vorbereitenden Aufwands-Nutzen-Analyse unterzogen (siehe Kapitel 6). Diese bildet die Grundlage für die ausführliche Analyse potentieller Optimierungsmöglichkeiten.

Die weitere Vorgehensweise erfolgt nach dem in Abbildung 2 dargestellten Prozessablauf. Als zentrales Element dieser Potentialanalyse wird eine Nutzwertanalyse vollzogen, durch welche das Optimierungspotential einer Innovation mit einem Implementierungsaufwand in Beziehung gesetzt wird. Somit kann die abstrakte Größe eines vergleichbaren Mehrwerts generiert werden. Zu jeder identifizierten Verbesserungsmaßnahme werden die notwendigen Informationen und Kenndaten für die spätere Bewertung sowie die NWA in den Kapiteln 7 und 8 gesammelt. Wird eine potentiell geeignete Maßnahme gefunden, erfolgt eine Überprüfung hinsichtlich ihrer Realisierung mithilfe eines Kriterienkatalogs.

Der Kriterienkatalog ermöglicht es, die verschiedenen Innovationen unabhängig miteinander zu vergleichen. Die Konzeption dieser Bewertungskriterien sowie deren Charakterisierung und Legitimation erfolgt im Kapitel 9.1. Für jede Komponente bzw. technische Neuerung werden die dafür in Frage kommenden Sicherungsarten aufgezeigt und individuell betrachtet.

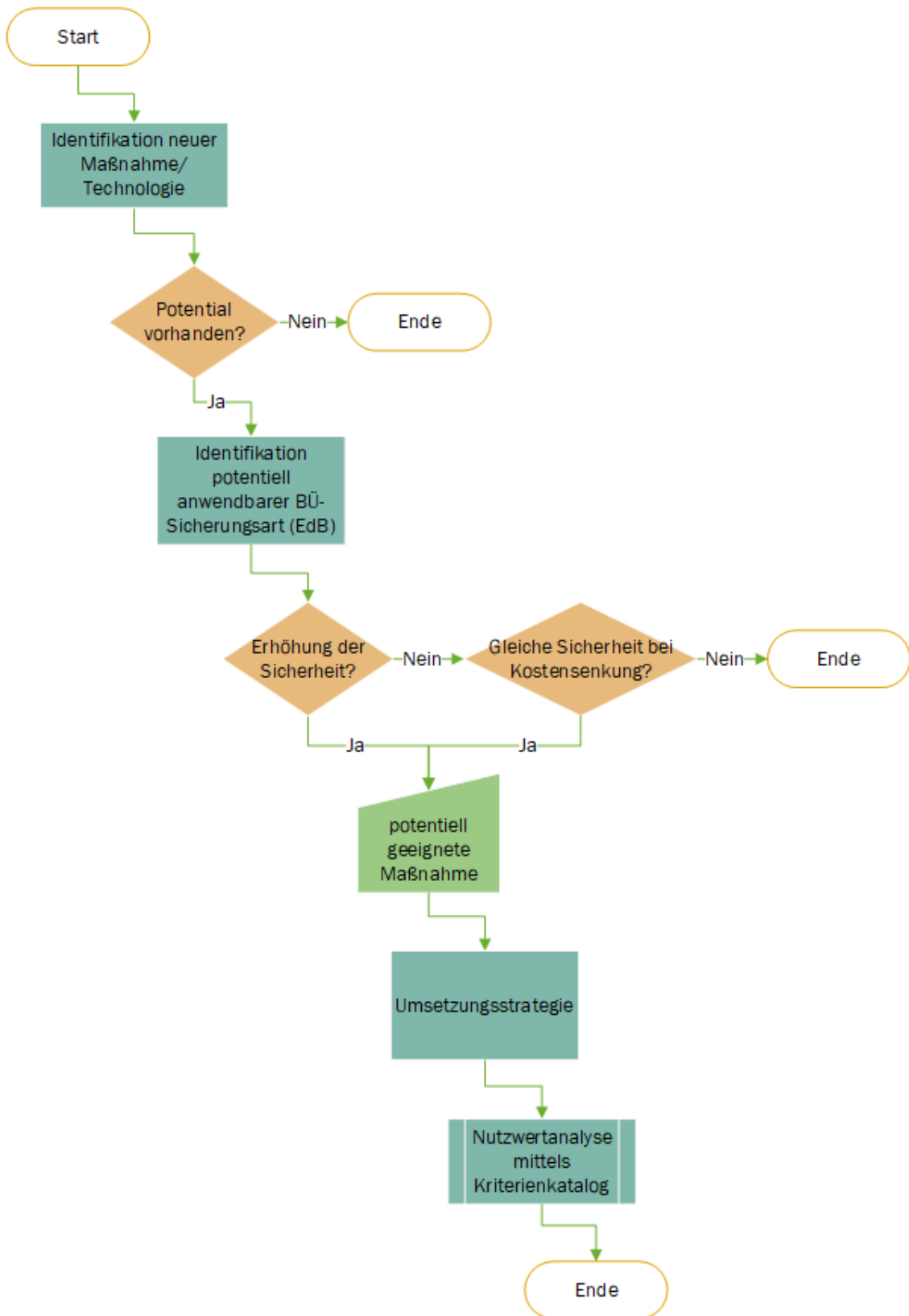


Abbildung 2: Prozessablaufdiagramm

Geeignete Maßnahmen werden im abschließenden Schritt (siehe Kapitel 11) auf ihre Regelkonformität zu den aktuell gültigen Vorschriften geprüft. Maßnahmen werden als geeignet definiert, wenn in der Nutzwertanalyse ein Ergebnis von mindestens 75 % der maximal erreichbaren Punktzahl bestimmt wurde. Aufbauend auf den Ergebnissen wird ein abschließender Empfehlungskatalog für die vorhandenen Sicherungsarten bei EdB-BÜ in Kapitel 12 ausgearbeitet.

1.4 Abgrenzung

Die Arbeiten des Forschungsprojekts fokussieren sich ausschließlich auf Bahnübergänge der EdB. Das bedeutet auch, dass Bahnübergänge bei Straßenbahnen nicht im Betrachtungsbereich liegen. Entsprechend der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) werden *„Übergänge, die nur dem innerdienstlichen Verkehr dienen, und Übergänge für Reisende“* [4] ebenso nicht den Bahnübergängen zugeordnet.

Erkenntnisse aus dem Ausland sollen nichtsdestotrotz einbezogen werden. In dieser Betrachtung werden allein Maßnahmen hinsichtlich der Gestaltung von Bahnübergängen und deren Sicherungseinrichtungen, welche für die Straßenverkehrsteilnehmer signifikant sind, berücksichtigt.

Überdies kann ein Auftreten von zufälligen technischen Ausfällen der Kraftfahrzeuge (Kfz) sowie absichtliche menschliche Fehlhandlungen in einer Systemdefinition nicht berücksichtigt werden.

Bei der Recherche zur Potentialanalyse werden sowohl Komponenten und Technologien für alle technischen als auch nichttechnischen Sicherungsarten von Bahnübergängen betrachtet. Weiterhin werden keine im Voraus gewählten Einschränkungen hinsichtlich der Art der Innovation gemacht. Sicherheitliche Randbedingungen in Bezug auf Security-Aspekte werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass die untersuchten Technologien den Anforderungen der IT-Sicherheit genügen.

Unter der Bezeichnung *„Lichtzeichen“* (Lz) wird im Folgenden nicht zwischen (Dauer-) Lichtzeichen oder Blinklichtern unterschieden.

Der Begriff der Sicherungsart *„Halbschranke“* sowie *„Vollabschluss“* schließt stets die Ausstattung von Lichtzeichen ein.

2 Systemdefinition Bahnübergangssicherungsanlagen

2.1 Klassifizierung der Bahnübergangssicherungsanlagen

2.1.1 Sicherungsarten

Gemäß Definition der EBO [4] gilt folgende Kategorisierung bei Bahnübergangssicherungsanlagen:

- nichttechnische Sicherung (auch passive Sicherung genannt) durch
 - Übersicht auf die Bahnstrecke,
 - hörbare Signale der Eisenbahnfahrzeuge oder
 - Kombination aus Übersicht und hörbaren Signalen,
- technische Sicherung (auch aktive Sicherung genannt) durch
 - Lichtzeichen oder Blinklichter – Lz – (siehe Abbildung 3),
 - Lichtzeichen/Blinklichter mit Halbschranken – LzH – (siehe Abbildung 4),
 - Lichtzeichen/Blinklichter mit Schranken – LzHH oder LzV – (siehe Abbildung 5) oder
 - Schranken – V – (z. B. Anrufschranken).

Darüber hinaus ist die Postensicherung als Sonderfall unter bestimmten Bedingungen zulässig.



Abbildung 3: Bahnübergang mit Lichtzeichen

Bei den üblichen Klassifizierungen und Statistiken wird nicht näher zwischen Blinklichtern und Lichtzeichen unterschieden. Es erfolgt eine gemeinsame Betrachtung. Dennoch werden Blinklichter gem. EBO [4] nicht mehr neu errichtet und daher langfristig durch Lichtzeichen ersetzt. Aus diesem Grund wird fortfolgend lediglich der Begriff „Lichtzeichen“ verwendet.



Abbildung 4: Bahnübergang mit Blinklicht und Halbschranken



Abbildung 5: Bahnübergang mit Lichtzeichen und Schranken (mit technischer Gefahrenraumfreimeldung)

Fußgänger- und Radwege-BÜ dürfen bzw. müssen zusätzlich zur Sicherung durch Übersicht auf die Bahnstrecke respektive hörbaren Signalen der Schienenfahrzeuge mit Umlaufsperrern ausgestattet werden.

2.1.2 Art der Überwachung

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zur Charakterisierung von technischen Bahnübergangssicherungsanlagen (BÜSA) stellt die Überwachungsart dar. Technische Bahnübergangssicherungsanlagen können dazu nach Tabelle 1 unterschieden werden.

Überwachungsart	Erläuterung
Überwachungssignal (ÜS)	Bei Einsatz des Überwachungssignals wird dem Triebfahrzeugführer der Sicherungszustand des zugehörigen Bahnübergangs angezeigt.
Fernüberwachung (Fü)	Bei Einsatz der Fernüberwachung erhält der Triebfahrzeugführer, im Gegensatz zum Überwachungssignal, keine Information über den Zustand der BÜSA. Liegt jedoch ein Fehler oder eine Störung der BÜSA vor, wird diese beim (zuständigen) Fahrdienstleiter angezeigt.
Überwachungssignal mit optimierter Einschaltstrecke (ÜS _{OE})	Die Besonderheit dieser Überwachungsart ist, dass das Gleis-schaltmittel zur Einschaltung der BÜSA in Fahrtrichtung hinter dem Überwachungssignal liegt. Das Überwachungssignal zeigt nun lediglich die Einschaltbereitschaft der BÜSA an, nicht jedoch deren Sicherung. Hintergrund dieser Überwachungsart ist, dass die Schließzeit des BÜ deutlich verkürzt werden kann.
Hauptsignaldeckung (Hp)	Bei der Hauptsignaldeckung ist der Bahnübergang direkt in die Sicherungslogik der dazugehörigen Fahrstraßen eingebunden. Die Steuerung (Ein- bzw. Ausschaltung) des BÜ erfolgt durch das Stellwerk und der Bahnübergang wird durch Hauptsignale gedeckt.

Tabelle 1: Überwachungsarten technisch gesicherter Bahnübergänge

2.1.3 Art der Einschaltung

Weiterhin wird zur Charakterisierung von BÜSA das Unterscheidungsmerkmal der Einschaltung verwendet. Technische Bahnübergangssicherungsanlagen können wie folgt eingeschaltet werden:

- fahrzeugbewirkte Einschaltung
 - Mittels Radsensoren, Schienenkontakten oder Fahrzeugsensoren wird das herannahende Schienenfahrzeug (Sfz) richtungsgenau detektiert und die Einschaltung des BÜ induziert.
- fahrstraßenbewirkte Einschaltung
 - Bei der Einstellung einer über den BÜ führenden Fahrstraße im Stellwerk wird automatisch der BÜ eingeschaltet. Diese Einschaltart wird vor allem in der Nähe von Bahnhöfen angewandt.
- bedienerbewirkte Einschaltung
 - Durch manuelle Betätigung von z. B. Schlüsseltastern wird der Bahnübergang eingeschaltet. Somit kann bei planmäßig vor dem BÜ haltenden Schienenfahrzeugen eine kurze Schließzeit des BÜ ermöglicht werden.

2.1.4 Kombination der Sicherungs-, Einschalt- und Überwachungsart technisch gesicherter BÜSA

In der folgenden Tabelle 2 werden übliche (in grün hinterlegt) und prinzipiell mögliche (orange dargestellte) Kombinationen der diversen Charakterisierungen technischer BÜSA vorgestellt. Die prinzipiell möglichen Kombinationen werden i. d. R. in der Praxis kaum eingesetzt. Grau markierte Felder sind nicht realisierbar.

Einschaltung	Überwachung	Sicherung			
		Lz	LzH	LzV	V
fahrzeugbewirkt	ÜS	Lz-ÜS	LzH-ÜS	LzV-ÜS	
	Fü	Lz-Fü	LzH-Fü		
	ÜS _{OE}	Lz-ÜS _{OE}	LzH-ÜS _{OE}		
	Hp				
fahrstraßenbewirkt	ÜS	Lz-ÜS	LzH-ÜS	LzV-ÜS	
	Fü	Lz-Fü	LzH-Fü		
	ÜS _{OE}	Lz-ÜS _{OE}	LzH-ÜS _{OE}		
	Hp	Lz-Hp	LzH-Hp	LzV-Hp	
bedienerbewirkt	ÜS	Lz-ÜS	LzH-ÜS	LzV-ÜS	V-ÜS
	Fü				
	ÜS _{OE}				
	Hp	Lz-Hp	LzH-Hp	LzV-Hp	V-Hp

Tabelle 2: Kombinationen der Sicherungs-, Einschalt- und Überwachungsarten nach [5]

2.2 Funktionseinheiten der BÜSA

Ein technisch gesicherter BÜ besteht aus mehreren Funktionseinheiten zur Sicherung der Verkehrsteilnehmer. Im Folgenden sollen speziell die Funktionseinheiten betrachtet werden, welche Einfluss auf das Sicherheitsniveau der BÜSA haben. Die Beschreibung der Funktionseinheiten erfolgt am Beispiel des Ablaufs einer Zugfahrt über den BÜ (siehe Abbildung 6).

Einschaltung

- zur Einschaltung der BÜSA, Detektion des Schienenfahrzeugs
- Realisierung durch Gleisschaltmittel, linienförmige Einschaltkomponenten

Überwachung

- Anzeige des Zustands der BÜSA (an den Triebfahrzeugführer bzw. Fahrdienstleiter)
- Realisierung durch Überwachungssignal, Fernüberwachung

Straßensignal

- visuelles Signal zur Anzeige der Zugannäherung und Sicherung des BÜ
- Realisierung durch Lichtzeichen

Antrieb

- zur Bewegung der Schranken (Öffnen und Schließen)
- Realisierung durch Schrankenantriebe

Ausschaltung

- zur Ausschaltung der BÜSA (in Grundstellung bringen) nach Vorbeifahrt des Zugs
- Realisierung identisch zur Einschaltung

Gefahrenraumfreimeldung

- zur Überwachung des Gefahrenraums bei Vollabschluss (Meldung frei/besetzt)
- Realisierung durch Radarsensoren, Videodetektoren

Abbildung 6: Funktionseinheiten der BÜSA

2.3 Charakterisierung der passiven BÜ-Arten

2.3.1 Sicherung durch Übersicht

Bei der Sicherung durch Übersicht (siehe Abbildung 7) muss sich der Straßenverkehrsteilnehmer (SVT) durch Überblicken der Bahnstrecke selbst versichern, ob der BÜ gequert werden darf. Diese Sicherungsart ist lediglich bei schwachem (max. 100 Kfz pro Tag) und mäßi-

gem (über 100 und bis max. 2.500 Kfz pro Tag) Verkehr – in letzterem Fall Verbindung mit hörbaren Signalen der Schienenfahrzeuge – anwendbar. Gleiches gilt gemäß § 19 Abs. 1 der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) [6].

Dem Straßenverkehrsteilnehmer wird durch die Gefahrzeichen „Bahnübergang“ der nicht-technisch gesicherte Bahnübergang angekündigt. Infolgedessen soll er seine Geschwindigkeit an die Beschilderung bzw. die besondere Situation anpassen. An nichttechnisch gesicherte Bahnübergänge dürfen sich Straßenverkehrsteilnehmer „nur mit mäßiger Geschwindigkeit“ [6] nähern und müssen die Bahnstrecke beidseitig überblicken. Hierzu ist ein entsprechender Raum, die sog. Sichtfläche, freizuhalten. Diese Sichtfläche (in Abbildung 7 nur einseitig dargestellt) ergibt sich aus der Überlagerung der Sichtdreiecke des schnellsten und langsamsten Straßenverkehrsteilnehmers.

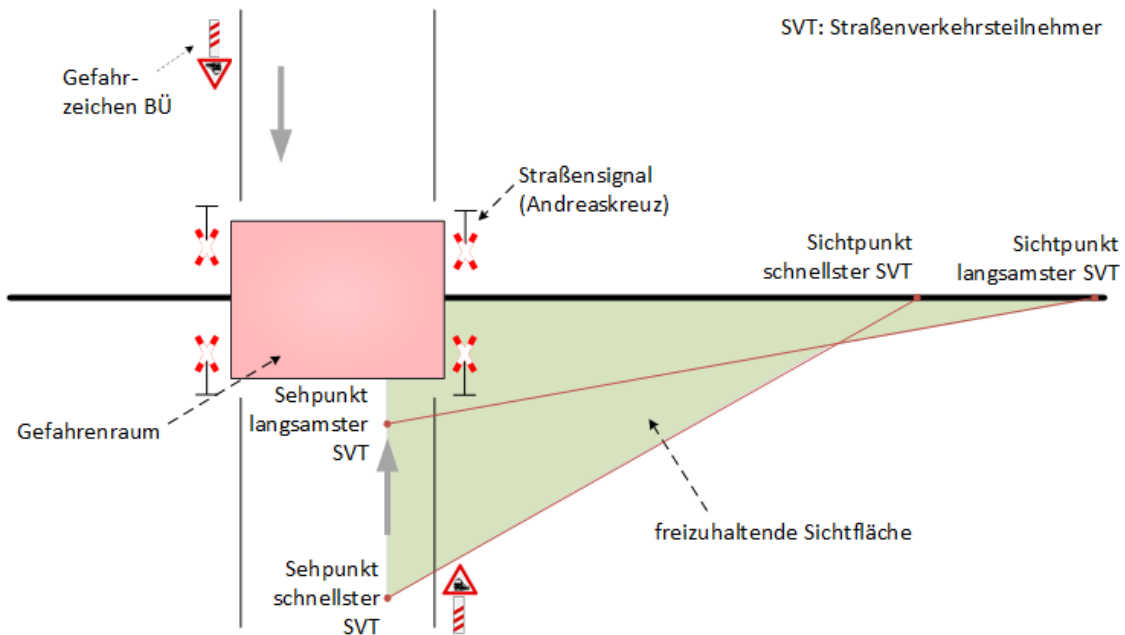


Abbildung 7: Funktionaler Aufbau Sicherung durch Übersicht

Nur bei vorhandener freier Annäherungsstrecke (einsehbarer Bereich) darf der Straßenverkehrsteilnehmer den Bahnübergang queren, sofern die zügige Räumung dessen gewährleistet ist. Dies kann z. B. nicht der Fall sein, wenn sich ein Stau hinter dem Bahnübergang auf der Straße gebildet hat.

2.3.2 Sicherung durch hörbare Signale der Schienenfahrzeuge

Bei der Sicherung durch hörbare Signale der Schienenfahrzeuge (siehe Abbildung 8) – auch Pfeifsignale genannt – liegt die Verantwortung der sicheren Querung des BÜ beim Straßenverkehrsteilnehmer und dem Triebfahrzeugführer. Diese Sicherungsart ist lediglich bei schwachem und mäßigem Verkehr (hier in Verbindung mit Übersicht auf die Bahnstrecke), an BÜ von Rad- und Fußwegen sowie an Privatwegen (bei geringen Geschwindigkeiten der Schienenfahrzeuge) anwendbar.

Dem Straßenverkehrsteilnehmer wird die Annäherung des Sfz durch hörbare Signale angekündigt. Hierzu werden nach der Eisenbahn-Signalordnung (ESO) [7] Pfeiftafeln (Bü 4) vor dem Bahnübergang entlang der Eisenbahnstrecke aufgestellt. Der Triebfahrzeugführer wird damit veranlasst, über die Betätigung des Typhons einen ca. drei Sekunden langen Pfeifton auszugeben. Die ESO [7] schreibt vor, dass an Bahnübergängen in der Regel zwei Signale aufgestellt werden müssen, bei Fuß- und Privatwegen ohne öffentlichen Verkehr ist ein Signal ausreichend.

Problematisch bei dieser Sicherungsart ist, dass die objektive Hörbarkeit der Pfeifsignale stark abhängig von der örtlichen Lage (Umgebungsbedingungen) und der Art des Straßenverkehrsmittels ist (vgl. hierzu Untersuchung in [8])

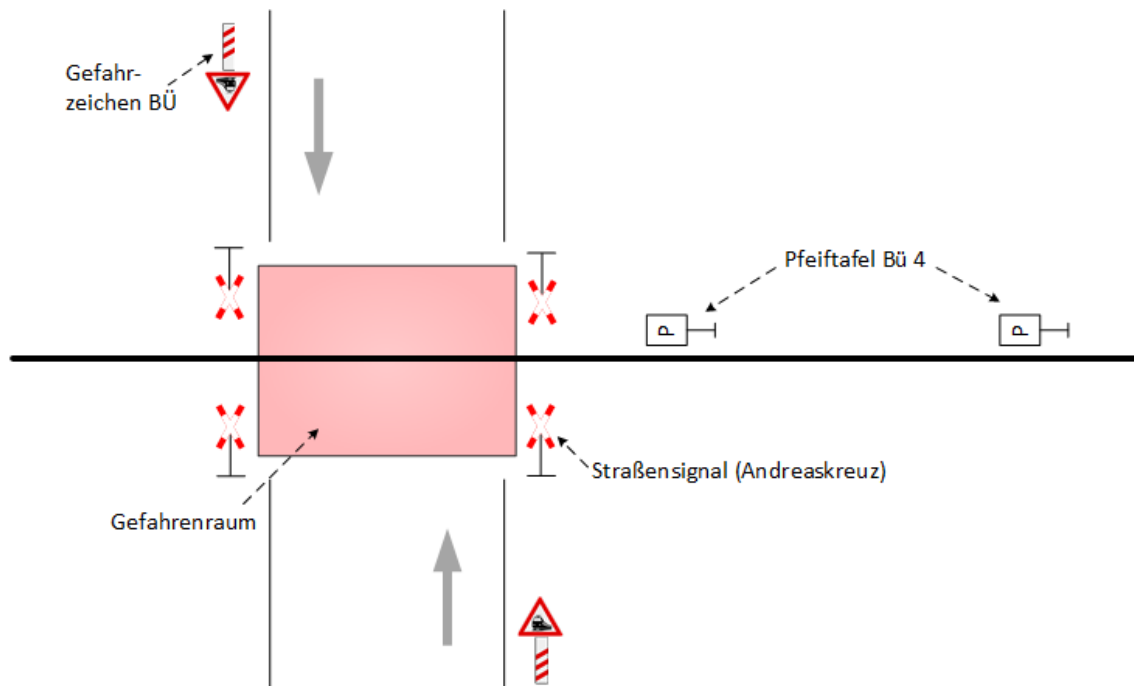


Abbildung 8: Funktionaler Aufbau Sicherung durch hörbare Signale der Schienenfahrzeuge

2.3.3 Postensicherung

Die örtliche Sicherung von BÜ durch Posten wird als Ersatzmaßnahme bei Ausfall der BÜSA oder als ständige Maßnahme bei einfachen betrieblichen Verhältnissen angewandt.

Die ständige Sicherung von BÜ durch Posten ist eine Möglichkeit für einfache betriebliche Verhältnisse (z. B. Nebengleise, geringer Zugverkehr) und findet vor allem im Bereich von nichtbundeseigenen Eisenbahnen (NE-Bahnen) Anwendung. Dabei hält ein Zug oder eine Rangierfahrt vor einem nichttechnisch gesicherten BÜ und ein Posten, der sich auf dem Schienenfahrzeug befindet und im Regelfall mit einer weiß-rot-weißen Fahne sowie nachts mit einer roten Handlampe ausgestattet ist, sichert den BÜ. Dazu stellt er sich in der Straßenmitte auf und fordert die SVT durch Handzeichen zum Halten auf. Ist dies geschehen, befährt der Zug bzw. die Rangierfahrt mit Schrittgeschwindigkeit vorsichtig den BÜ und der Posten steigt wieder zu, wenn sich das Sfz etwa in der Straßenmitte befindet.

Bei vorübergehender Sicherung eines BÜ durch Posten spricht man von einem Bahnübergangsposten (BÜP). Ein solcher BÜP kommt bei Ausfall der technischen Sicherung, z. B. durch Baumaßnahmen oder Defekt, oder auch bei Umleitungen des Straßenverkehrs zum Einsatz, falls sich dadurch die Verkehrsstärke an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen vorübergehend erhöht. Ein BÜP wird dabei stationär eingesetzt und sichert den BÜ. Zum Einsatz kommt dabei eine weiß-rot-weiße Fahne, mit deren Hilfe die Straßenverkehrsteilnehmer zum Anhalten aufgefordert werden, sowie ein faltbares rot-weißes Absperrband, mit dem der BÜ gesperrt wird, nachdem die Straßenverkehrsteilnehmer zum Halten gekommen sind. Bei Nacht oder schlechter Sicht wird zudem eine rote Handlampe zum Anhalten der Straßenverkehrsteilnehmer genutzt. Bei länger andauerndem Einsatz der BÜP werden seit einigen Jahren auch technische Hilfsmittel (TH-BÜP) eingesetzt, deren Erscheinungsbild einer regulären technischen Sicherung entspricht.



Abbildung 9: Postsicherung

2.4 Charakterisierung der aktiven BÜSA-Arten

2.4.1 Sicherung mit Lichtzeichen

Abbildung 10 zeigt eine fahrzeuwbewirkte Einschaltung des BÜ mit Lichtzeichen mit einer Überwachung durch Überwachungssignal. Es sind auch andere Variantenanordnungen gem. Tabelle 2 möglich.

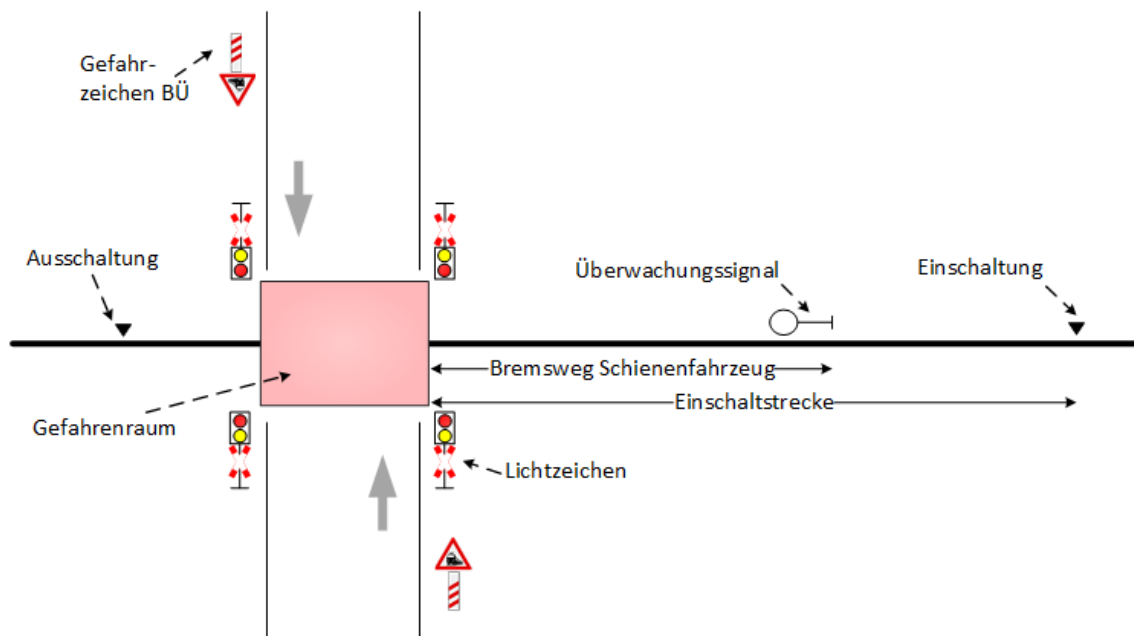


Abbildung 10: Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen mit Überwachungssignal

Im Folgenden soll der funktionale Ablauf der Sicherung des BÜ nach Abbildung 10 vorgestellt werden:

1. Einschaltung detektiert Sfz,
2. Lichtzeichen werden eingeschaltet und Straßenverkehrsteilnehmer halten vor BÜ,

3. Überwachung der ordnungsgemäßen Funktion der Lichtzeichen,
4. Überwachungssignal zeigt ordnungsgemäßen Sicherungszustand der BÜSA,
5. Sfz befährt gesicherten BÜ,
6. Ausschaltung detektiert vollständiges Befahren des BÜ durch das Sfz,
7. Lichtzeichen werden ausgeschaltet und Straßenverkehrsteilnehmer setzen ihren Weg fort.

2.4.2 Sicherung mit Lichtzeichen und Halbschranken

In Abbildung 11 ist eine fahrzeugbewirkte Einschaltung des BÜ mit Lichtzeichen und Halbschranken mit einer Überwachung durch Fernüberwachung dargestellt. Es sind auch andere Variantenanordnungen gem. Tabelle 2 möglich.

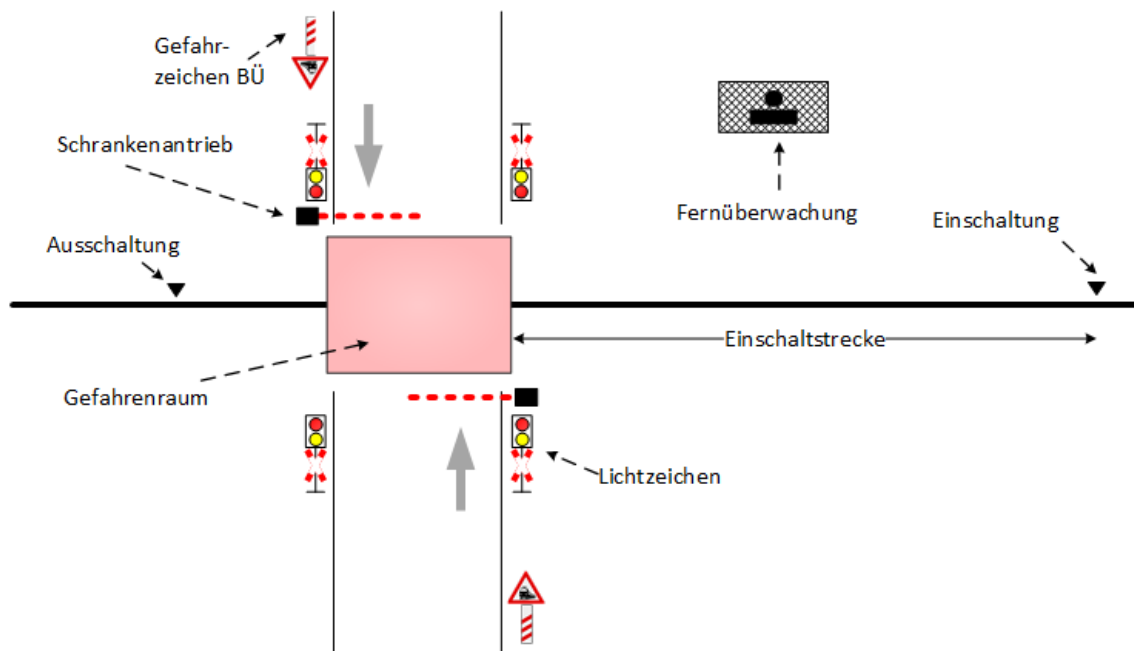


Abbildung 11: Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen und Halbschranken mit Fernüberwachung

Im Folgenden soll der funktionale Ablauf der Sicherung des BÜ nach Abbildung 11 vorgestellt werden:

1. Einschaltung detektiert Sfz,
2. Lichtzeichen werden eingeschaltet und Straßenverkehrsteilnehmer halten vor dem BÜ,
3. die Schrankenantriebe bewegen die Schrankenbäume in die untere Endlage (BÜ geschlossen),
4. Überwachung der ordnungsgemäßen Funktion der Lichtzeichen sowie Schranken und Weiterleitung dieser Information an die Betriebsstelle (Stellwerk),
5. Sfz befährt gesicherten BÜ,
6. Ausschaltung detektiert vollständiges Befahren des BÜ durch das Sfz,
7. die Schrankenantriebe bewegen die Schrankenbäume in die obere Endlage (BÜ geöffnet) und die Lichtzeichen werden ausgeschaltet; die Straßenverkehrsteilnehmer setzen ihren Weg fort.

Die Typen LzH-ÜS und LzH-Hp unterscheiden sich nicht wesentlich von der in Abbildung 11 dargestellten Variante LzH-Fü. Lediglich die Information des ordnungsgemäßen Zustands der

BÜSA wird abweichend verarbeitet bzw. angezeigt. Zudem findet bei LzH-Hp die Einschaltung fahrstraßenbewirkt statt.

Der BÜ-Typ LzH-ÜS_{OE} findet bei fahrzeugbewirkter Einschaltung Anwendung (siehe Abbildung 12).

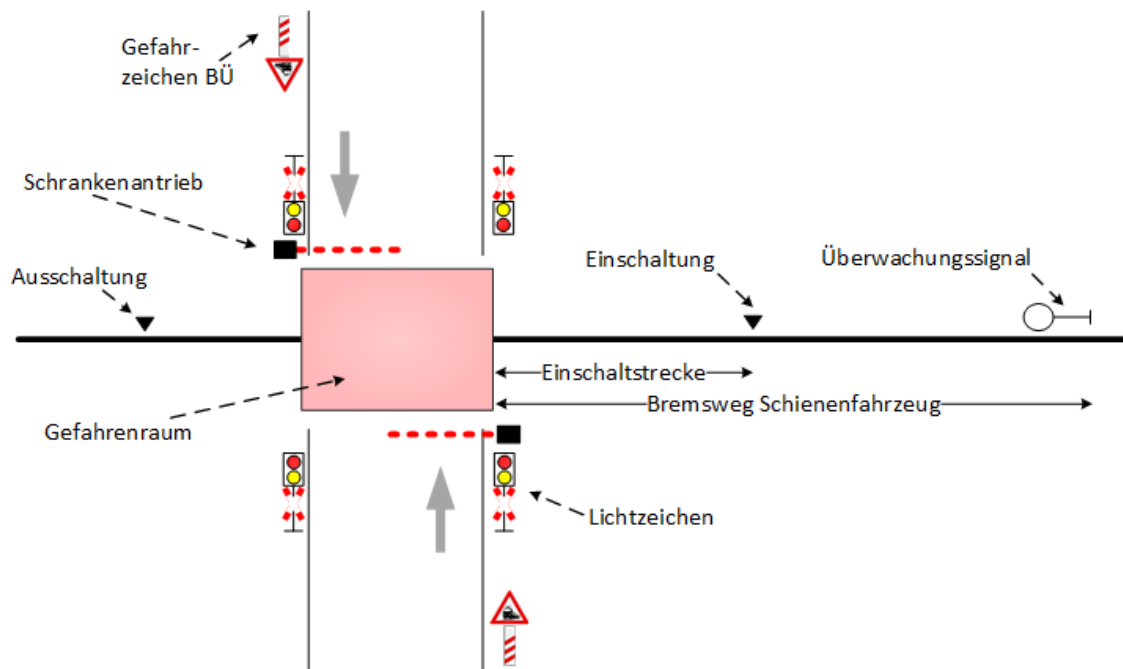


Abbildung 12: Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen und Halbschranken mit Überwachungssignal mit optimierter Einschaltstrecke

Im Folgenden soll der funktionale Ablauf der Sicherung des BÜ nach Abbildung 12 vorgestellt werden:

1. Sfz nähert sich dem BÜ, Überwachungssignal zeigt die Einschaltbereitschaft der BÜSA an,
2. Einschaltung detektiert Sfz,
3. Lichtzeichen werden eingeschaltet und Straßenverkehrsteilnehmer halten vor dem BÜ,
4. die Schrankenantriebe bewegen die Schrankenbäume in die untere Endlage (BÜ geschlossen),
5. Sfz befährt BÜ,
6. Ausschaltung detektiert vollständiges Befahren des BÜ durch das Sfz,
7. die Schrankenantriebe bewegen die Schrankenbäume in die obere Endlage (BÜ geöffnet) und die Lichtzeichen werden ausgeschaltet; die Straßenverkehrsteilnehmer setzen ihren Weg fort.

2.4.3 Sicherung mit Lichtzeichen und Schranken

Der Einsatz der Sicherungsart Lichtzeichen mit Schranken bedingt gewöhnlich eine fahrstraßen- oder bedienerbewirkte Einschaltung mit Hauptsignaldeckung (Hp-Überwachung). Dieser Typ ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Überwachung durch ein Überwachungssignal ist jedoch ebenfalls möglich. Der Einsatz eines Vollabschlusses erzwingt die Sicherung des Gefahrenraums. Dessen Lichtraum muss vor Zulassung der Zufahrt freigeprüft werden. Dies kann:

- visuell (durch Bediener)
 - unmittelbar (Sicht durch Fenster auf BÜ gegeben) oder

- über Kamera (Videokamera zeichnet Gefahrenraum des BÜ auf und gibt dieses beim Bediener zeitgerecht aus),

- mittels Radartechnik

realisiert werden.

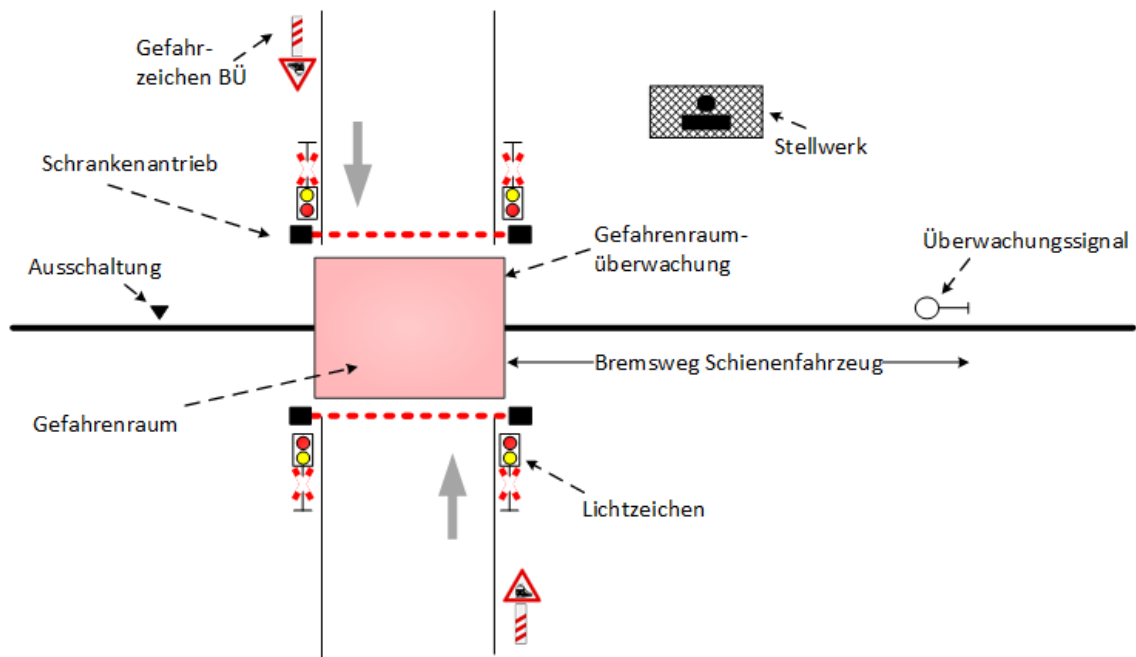


Abbildung 13: Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen und Schranken mit Haupt-signaldeckung

Im Folgenden soll der funktionale Ablauf der Sicherung des BÜ nach Abbildung 13 vorgestellt werden:

1. Fahrstraße soll eingestellt werden; Einschaltung wird ausgelöst,
2. Lichtzeichen werden eingeschaltet und Straßenverkehrsteilnehmer halten vor dem BÜ,
3. Schrankenanzüge bewegen die Schrankenbäume in die untere Endlage (BÜ geschlossen),
4. Gefahrenraumfreimeldung meldet Räumung des Gefahrenraums,
5. Fahrstraße wird festgelegt, Hauptsignal zeigt Fahrtbegriff, Sfz nähert sich dem BÜ,
6. Sfz befährt BÜ,
7. Ausschaltung detektiert vollständiges Befahren des BÜ durch das Sfz,
8. die Schrankenanzüge bewegen die Schrankenbäume in die obere Endlage (BÜ geöffnet) und die Lichtzeichen werden ausgeschaltet; die Straßenverkehrsteilnehmer setzen ihren Weg fort.

2.4.4 Sicherung mit Schranken (Anrufschanke)

Die sog. Anrufschanke ist eine besondere Form der technischen Sicherung von Bahnübergängen. Sie kommt zwar insgesamt nur selten zum Einsatz, soll dennoch in der Charakterisierung nicht fehlen.

Anders als beim herkömmlichen Vollabschluss, befinden sich die Schrankenbäume in Grundstellung in der unteren Endlage (BÜ geschlossen). Lediglich in dem Falle eines überquerenden Straßenverkehrsteilnehmers wird diese geöffnet. Der Schrankenwärter, welcher für den BÜ zuständig ist, muss diesen nicht unbedingt einsehen können.

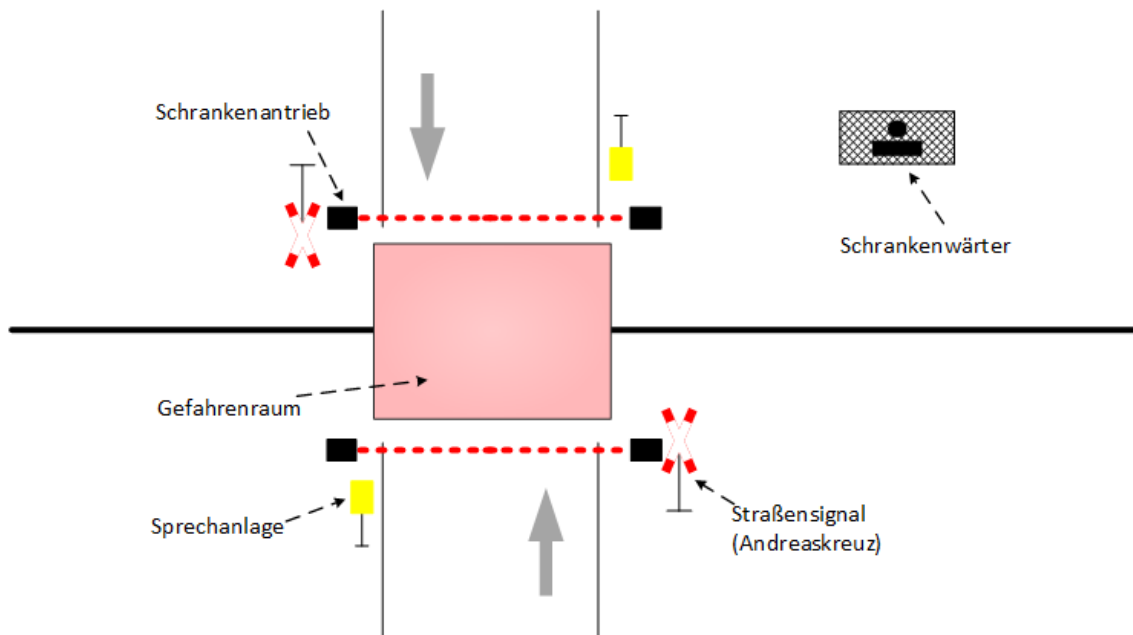


Abbildung 14: Funktionaler Aufbau Sicherung durch Schranken (Anrufschanke)

Im Folgenden soll der funktionale Ablauf der Sicherung des BÜ nach Abbildung 14 vorgestellt werden:

1. BÜ ist in Grundstellung geschlossen (Schrankenbäume in unterer Endlage),
2. Straßenverkehrsteilnehmer nähert sich dem BÜ,
3. SVT betätigt Sprechanlage zum Schrankenwärter,
4. Schrankenwärter prüft, ob Queren ohne Gefahr möglich ist (kein Sfz befindet sich in der Annäherung),
5. Schrankenwärter gibt BÜ frei, Schrankenantriebe bewegen die Schrankenbäume in die obere Endlage (BÜ geöffnet),
6. SVT überquert BÜ vollständig,
7. SVT betätigt Sprechanlage zum Schrankenwärter (manuelle Gefahrenraumfreimeldung durch SVT); ggf. kann der Schrankenwärter das Räumen des BÜ über die Sprechanlage akustisch wahrnehmen,
8. Schrankenwärter schließt BÜ, Schrankenantriebe bewegen die Schrankenbäume in die untere Endlage (BÜ geschlossen).

Diese Form der Bahnübergangssicherung ist allerdings kosten- weil personalintensiv (Schrankenwärter) und ist aufgrund der manuellen Gefahrenraumfreimeldung durch den SVT sicherheitstechnisch nicht als gleichwertig zur technischen Gefahrenraumfreimeldung anzusehen. In jüngerer Zeit werden Bahnübergänge mit Anrufschraken teilweise zusätzlich mit Kameras und Bildübertragung zum Schrankenwärter ausgerüstet, um den Räumungsvorgang auch optisch beobachten zu können.

3 Notwendige Eingangsdaten für eine quantitative Risikoanalyse

Das Risiko (R) berechnet sich im Allgemeinen aus dem Produkt von Häufigkeit (H) und Schadensausmaß (S) (siehe Formel 1).

$$\text{Risiko} = \text{Häufigkeit} \cdot \text{Schadensausmaß} \quad \text{Formel 1}$$

Gemäß [9] wird die Häufigkeit durch

- Aussetzung (A),
- Gefährdung (G) sowie
- Unabwendbarkeit (U)

charakterisiert. Somit kann die Häufigkeit eines unerwünschten Ereignisses, wie in Formel 2 dargestellt, segmentiert werden.

$$\text{Häufigkeit} = \frac{\text{Begegnungen}}{\text{Betrachtungszeitraum}} \cdot \frac{\text{Gefährdungen}}{\text{Begegnungen}} \cdot \frac{\text{Zusammenprall}}{\text{Gefährdung}} \quad \text{Formel 2}$$

Das Gesamtrisiko eines Bahnübergangs ermittelt sich aus den Risiken im Entscheidungsbereich (Index E) und im Räumungsbereich (Index R) des SVT. Zusammenfassend ergibt sich nach [9] folgender Zusammenhang:

$$R = \sum_{s=1}^k \sum_{z=1}^m \sum_{a=1}^n (A_{E,koll,s,z,a} \cdot (G_{E,abs,s,z,a} \cdot U_{E,abs,s,z,a} + G_{E,unb,s,z,a} \cdot U_{E,unb,s,z,a}) \cdot S_{E,s,z,a} + A_{R,koll,s,z,a} \cdot G_{R,s,z,a} \cdot U_{R,s,z,a} \cdot S_{R,s,z,a}) \quad \text{Formel 3}$$

mit:

s: Verkehrsart SVT $s \in \{1, 2, \dots, 6\}$

z: Zuflussrichtung $z \in \{1, 2, \dots, m\}$

a: Abflussrichtung $a \in \{1, 2, \dots, n\}$

$A_{E,koll,s,z,a}$: kollektive Aussetzung im Entscheidungsbereich

$G_{E,abs,s,z,a}$: Gefährdung durch absichtliche Fehlhandlung im Entscheidungsbereich

$U_{E,abs,s,z,a}$: Unabwendbarkeit durch absichtliche Fehlhandlung im Entscheidungsbereich

$G_{E,unb,s,z,a}$: Gefährdung durch unbeabsichtigte Fehlhandlung im Entscheidungsbereich

$U_{E,unb,s,z,a}$: Unabwendbarkeit durch unbeabsichtigte Fehlhandlung im Entscheidungsbereich

$S_{E,s,z,a}$: Schadensausmaß im Entscheidungsbereich

$A_{R,koll,s,z,a}$: kollektive Aussetzung im Räumungsbereich

$G_{R,s,z,a}$: Gefährdung im Räumungsbereich

$U_{R,s,z,a}$: Unabwendbarkeit im Räumungsbereich

$S_{R,s,z,a}$: Schadensausmaß im Räumungsbereich

Für die korrekte quantitative Bestimmung des Gesamtrisikos am Bahnübergang werden demnach folgende Eingangsdaten im Entscheidungsbereich benötigt:

- Aussetzung A_E ,
- Gefährdung G_E
 - für absichtliche Fehlhandlungen $G_{E,abs}$,
 - für unbeabsichtigte Fehlhandlungen $G_{E,unb}$,

- Unabwendbarkeit U_E
 - für absichtliche Fehlhandlungen $U_{E,abs}$,
 - für unbeabsichtigte Fehlhandlungen $U_{E,unb}$,
- Schadensausmaß S_E .

Außerdem sind folgende Ereignisdaten für den Räumungsbereich nötig:

- Aussetzung A_R ,
- Gefährdung G_R ,
- Unabwendbarkeit U_R ,
- Schadensausmaß S_R .

Im folgenden Kapitel 4 sowie im Anhang A.1 sollen diese Eingangsgrößen aus vorhandenen Datenbanken eruiert werden.

4 Abgleich mit vorhandenen Daten

In diesem Kapitel werden aktuell verfügbare Daten zu den Themenbereichen Anlagenbestand und Unfälle an Bahnübergängen ausgewertet. Ziel ist es, eine notwendige Datengrundlage für die in Kapitel 3 definierte Formel 3 zu eruieren.

Im Anhang A.1 werden die Datengrundlagen hinsichtlich Ihrer Verwendbarkeit für eine quantitative Gesamtrisikoaanalyse für Bahnübergänge ausführlich analysiert. Im Folgenden sollen lediglich Ergebnisse dieser Analyse vorgestellt werden.

4.1 Vorhandene Datenquellen

Öffentlich zugängliche Daten zum Anlagenbestand und zur Unfallstatistik sind:

- DESTATIS: Betriebsdaten des Schienenverkehrs – Fachserie 8 Reihe 2.1 des Statistischen Bundesamts [1],
- Common Safety Indicators ausgewiesen in der ERAIL Datenbank (European Railway Accident Information Links) [10].

Zudem wurde durch das Eisenbahn-Bundesamt eine Auswertung der Unfalldatenbank der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU) [11] zur Verfügung gestellt.

4.2 Ergebnisse

Zum Erreichen des Untersuchungsziels, der Ermittlung und Abschätzung von Einflussfaktoren auf die Sicherheit an Bahnübergängen, sind wesentlich detailliertere Angaben nötig, als die Vorgefundenen. Hintergrund dessen ist, dass sich Bahnübergänge in zahlreichen komplexen Eigenschaften unterscheiden, z. B. Straßenführung, Kreuzungswinkel, Verkehrsregelung, Sichtverhältnisse. Die Datenbanken listen allerdings lediglich die Anzahl

- vorhandener Bahnübergänge bezogen auf:
 - die Sicherungsart und
 - die Straßenkategorie,
- die Anzahl von Unfällen und Störungen bezogen auf die Sicherungsart,
- die Anzahl von Unfällen und Störungen bezogen auf die Ursache sowie
- die Anzahl von Verletzten und Getöteten hinsichtlich der Personengruppe.

Die Datenbanken sind weitgehend nicht miteinander verknüpfbar. Eine Berechnung von Formel 3 zum Gesamtrisiko an Bahnübergängen ist somit nicht realisierbar.

Aus den vorgenannten Gründen wird angeregt, gefährliche Ereignisse an Bahnübergängen künftig in noch einheitlicherer Form zu erfassen. Dabei ist es nicht notwendig, dass eigene Untersuchungen durchgeführt werden. Entscheidend ist vielmehr die einheitliche Vorgabe einer Liste von Merkmalen, die es zu erfassen gilt. Diese Ergebnisse müssen anschließend in ausreichender Detailtiefe öffentlich zur Verfügung stehen.

Gemäß § 2 der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung [12] kann die Untersuchungsbehörde die Form der Unfallmeldung definieren und von den Eisenbahnen sämtliche erforderlichen Informationen einholen. Es wird vorgeschlagen, die in Anhang A.2 aufgeführten Merkmale als Mindestumfang einzufordern. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass Kategorien wie „sonstige“ oder „unbekannt“ etc. nicht verwendet bzw. nicht angeboten werden.

4.3 Tendenzen

Aus den Analysen der Statistiken [1], [10] und [11] lassen sich nichtsdestotrotz allgemeingültige Aussagen über Bahnübergangssicherungsanlagen in Deutschland treffen.

Der Bahnübergangsbestand in Deutschland sinkt im Zehnjahreszeitraum (2007 – 2016) nach [10] um 26 %. Für den einheitlichen Zeitraum von 2010 – 2015 kann ein Rückgang von 18 % verzeichnet werden. Gleichzeitig sinkt die absolute Unfallzahl bei Zusammenprallen am BÜ um 17 – 27 %. Eine Auflistung aller absoluten Kriterien und ihrer Tendenzen findet sich in Tabelle 3.

Kriterium	absolute Zahlen		Veränderung	Datenquelle
	2010	2015		
Bestand BÜ	17.393	14.204	- 18,3 %	CSI [10]
Betriebsleistung in Zugkm	1.346,11	1.349,00	+ 0,2 %	DESTATIS [1]
	1.032,00	1.041,59	+ 0,9 %	CSI [10]
Unfallzahlen	199	156	- 21,6 %	DESTATIS [1]
	73	61	- 16,4 %	CSI [10]
	220	160	- 27,3 %	BEU [11]
Schadensausmaß, (Schwer-) Verletzte	269	281	+ 4,5 %	DESTATIS [1]
	37	45	+ 21,6 %	CSI [10]
Schadensausmaß, Getötete	52	50	- 3,8 %	DESTATIS [1]
	45	35	- 22,2 %	CSI [10]

Tabelle 3: Veränderungen absoluter Kriterien nach [1], [10], [11] im Zeitraum 2010 – 2015

Kriterium	Zahlen		Veränderung	Datenquelle
	2010	2015		
Unfälle je 1.000 BÜ	4,20	4,29	+ 2,3 %	CSI [10]
Unfälle je 100 Zugkm	14,78	11,56	- 21,8 %	DESTATIS [1]
	7,07	5,86	- 17,2 %	CSI [10]
(Schwer-) Verletzte je Unfall	1,35	1,80	+ 33,3 %	DESTATIS [1]
	0,51	0,74	+ 45,5 %	CSI [10]
Getötete je Unfall	0,26	0,32	+ 22,7 %	DESTATIS [1]
	0,62	0,57	- 6,9 %	CSI [10]
Unfallkosten je BÜ	1,34 Mio EUR	1,62 Mio EUR	+ 21,0 %	CSI [10]

Tabelle 4: Veränderungen relativer Kriterien nach [1], [10] im Zeitraum 2010 – 2015

Ein Vergleich der relativen Unfallzahlen bezogen auf den Anlagenbestand gibt nach [10] einen dezenten Anstieg um zwei Prozent im Zeitraum 2010 – 2015 wieder. Allerdings sinken, wie in Tabelle 4 dargestellt ist, die relativen Unfallzahlen bezogen auf die Betriebsleistung. Die Zahl der (Schwer-) Verletzten steigt im Betrachtungszeitraum 2010 – 2015 um 33 % [1] bzw. 46 % [10]. Bei der Anzahl an getöteten Personen in Bezug auf einen Unfall am BÜ lässt sich keine unmittelbare Tendenz ablesen. Während nach [1] die Zahl der getöteten Personen je Unfall um 23 % steigt, sinkt im gleichen Betrachtungszeitraum gem. [10] diese Zahl um 7 %.

Wird ein größerer Betrachtungszeitraum (2000 – 2015) gewählt, so ist eine steigende Tendenz der Verletzten pro Unfall bei einer annähernd konstanten Zahl an Getöteten pro Unfall nach [1] erkennbar (siehe Abbildung 15).

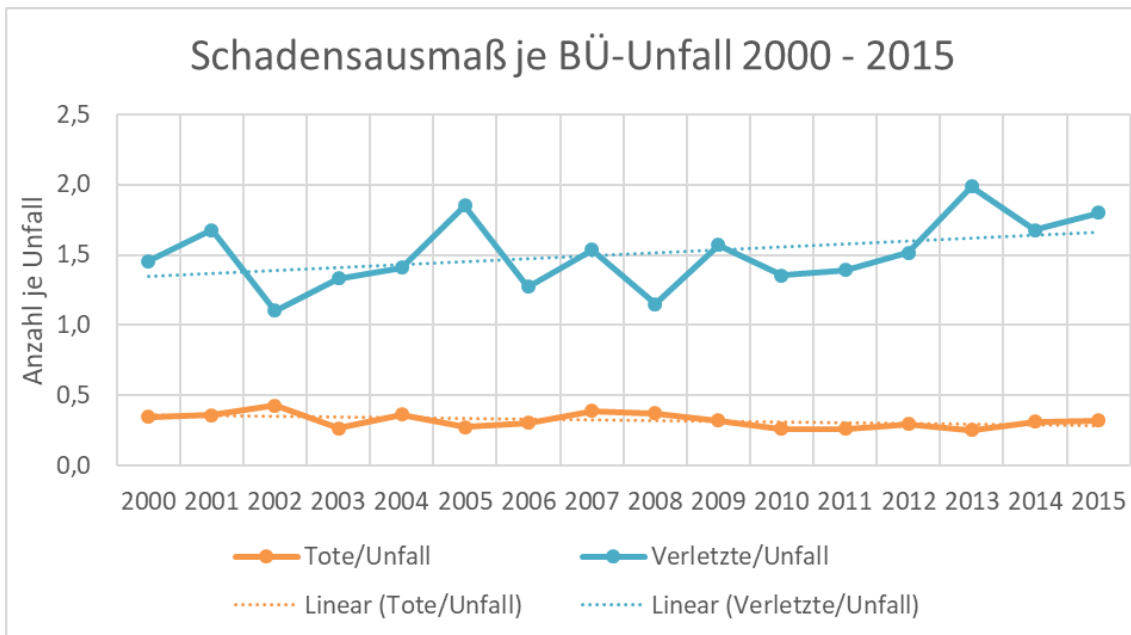


Abbildung 15: Anzahl getöteter und verletzter Personen je BÜ-Unfall nach [1]

Gem. [10] steigt die Zahl der Schwerverletzten pro signifikantem BÜ-Unfall bei einer abnehmenden Zahl an Getöteten pro signifikantem BÜ-Unfall im Zeitraum zwischen 2007 – 2016 (siehe Abbildung 16).

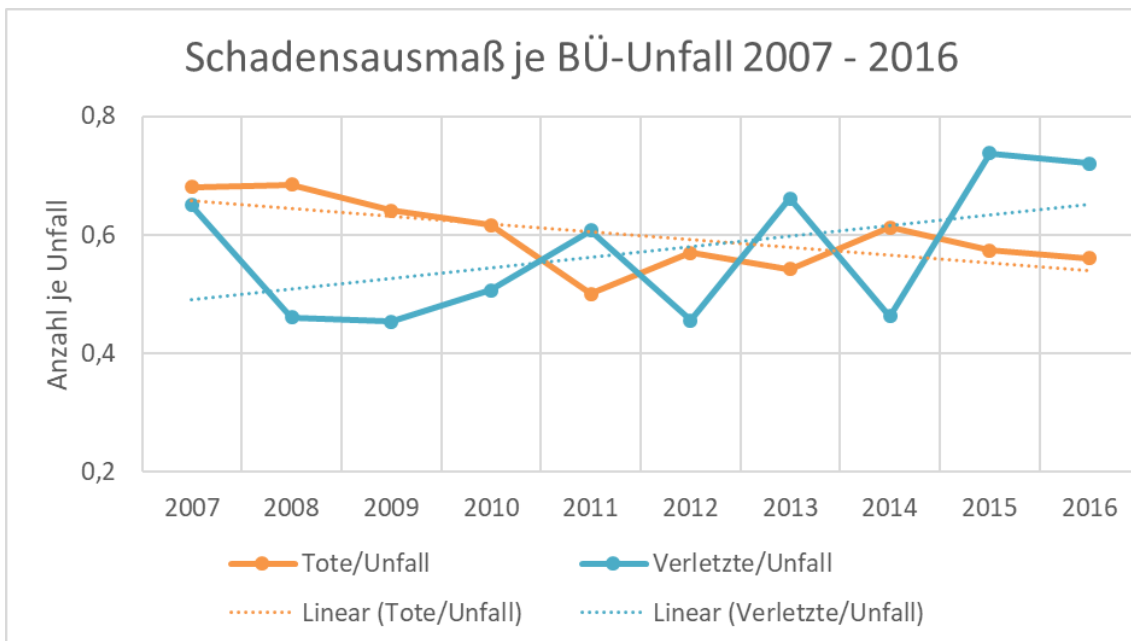


Abbildung 16: Anzahl getöteter und verletzter Personen je BÜ-Unfall nach [10]

Dies verdeutlicht, dass an den vorhandenen Bahnübergangsanlagen z. T. Optimierungsbedarf besteht. Dieser soll in den nachfolgenden Kapiteln betrachtet werden.

5 Optimierungspotentiale am Bahnübergang

Um Optimierungspotentiale am BÜ identifizieren zu können, muss eine genauere Betrachtung des menschlichen Verhaltens am BÜ erfolgen. Außerdem ist es wichtig, darzustellen wie eine Nutzung eines BÜ durch den Menschen als Wegbenutzer stattfindet. Dazu wird ein allgemeines Ablaufmodell nach Schöne [9] vorgestellt, welches auch die Räumung des BÜ und mögliche Konsequenzen des Verhaltens berücksichtigt. Abschließend werden noch technische und wirtschaftliche Einflussgrößen am BÜ erörtert.

5.1 Menschliches Verhalten

Es ist gem. [13] statistisch nachgewiesen, dass nur eine unerhebliche Anzahl von Unfällen an Bahnübergängen durch Personal oder fehlerhafte technische Systemfunktionen der Eisenbahnsignaltechnik verursacht werden. Deshalb ist eine intensivere Betrachtung des Verhaltens der SVT aus verkehrspsychologischer Sicht notwendig. In [14] werden mentale Vorgänge in der Zufahrt auf einen BÜ beschrieben und verschiedene Arten von Fehlern des Menschen, die mit diesen kognitiven Teilschritten in Beziehung stehen, bei der Überquerung von BÜ unterschieden. Die kognitiven Teilschritte der Überquerung eines BÜ sind in Abbildung 17 dargestellt.

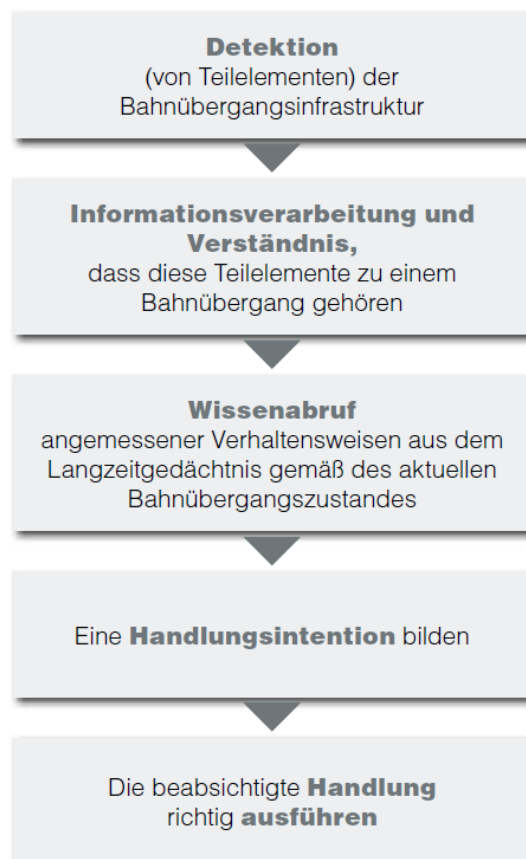


Abbildung 17: Erforderliche kognitive Teilschritte bei BÜ-Querung [14]

Wie bereits die vorangegangenen Untersuchungen gezeigt haben, bestehen in diesem Bereich die größten Ansatzpunkte zur Reduzierung des Unfallrisikos bei Bahnübergängen. Im Folgenden sollen diverse Fehlerarten menschlichen Verhaltens am BÜ vorgestellt werden, um daraus verschiedene Ausgangspunkte für die Identifizierung von potentiellen Optimierungsmöglichkeiten ableiten zu können.

5.1.1 Unbeabsichtigtes Fehlverhalten durch Detektionsprobleme

Straßenverkehrsteilnehmer müssen Bahnübergänge als solche anhand definierter Ausstattungsmerkmale erkennen, um mit an die Verkehrssituation angepasstem Verhalten reagieren zu können. Dazu zählt das Sichten ankündigender Verkehrsschilder, das Erblicken von Elementen der Bahnübergangssicherung, z. B. Lichtzeichen oder Schranken, aber auch das Erkennen sich nähernder Schienenfahrzeuge. Hörbare Signale, wie Pfeifsignale der Sfz, zählen ebenso dazu. Die Wahrnehmungsfähigkeit des SVT hängt davon ab, wie gut sich die Reize von ihrer Umgebung abheben. Es ergeben sich daher potentielle Maßnahmen zur Steigerung der Wahrnehmbarkeit der Bahnübergangssicherung.

5.1.2 Unbeabsichtigtes Fehlverhalten durch mangelhaftes Wissen

Wurde der BÜ durch den SVT erfolgreich detektiert, bedeutet dies nicht automatisch, dass er im weiteren Verlauf den BÜ auch fehlerfrei überquert. Der SVT ruft unterdessen das Wissen über die Verkehrssituation Bahnübergang ab. Hierzu muss dieses im Langzeitgedächtnis gespeichert sein. Befragungen in Deutschland [14] zeigen, dass Führerscheinbesitzer in signifikanter Anzahl:

- die korrekte Bedeutung des Andreaskreuzes nicht erfassen oder
- ein rot blinkendes Lichtzeichen am BÜ lediglich als Warnhinweis und nicht als Haltegebot aufnehmen.

Weitere Untersuchungen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) legen dar, dass nicht vorhandenes Wissen der SVT ebenfalls zu einem Fehlverhalten am BÜ führt. Eine Ausweitung bzw. Verbesserung der Verkehrserziehung in Bezug Bahnübergangsanlagen bieten hierbei Abhilfe.

5.1.2.1 Erlerntes Fehlverhalten

Erlerntes Fehlverhalten kann leicht entstehen. Man nehme an, ein Kraftfahrzeugführer befährt auf seinem Arbeitsweg denselben nichttechnisch gesicherten BÜ immer zur gleichen Zeit und erlernt, dass in dieser Zeit kein Sfz fährt. In diesem Fall kann es passieren, dass der Kraftfahrzeugführer unvorsichtig wird und zukünftig weniger oder gar nicht weiter auf den Schienenverkehr achtet. Dieses erlernte Fehlverhalten kann folgenlos bleiben. Befährt der Kraftfahrzeugführer den BÜ aber ausnahmsweise zu einer anderen Zeit, findet ein Fahrplanwechsel statt oder überträgt er sein Fehlverhalten gar auf andere BÜ, kann es zu einem Zusammenprall kommen.

5.1.2.2 Bewusste Regelverstöße

Absichtliche Regelverstöße stehen meist im Zusammenhang mit technisch gesicherten BÜ. Hier ist die bewusste Überfahung des Rotlichts bei Wissen über dessen Bedeutung oder auch die Umfahung einer Halbschranke denkbar. Gründe für solches Handeln können Ungeduld und Wagemut in Kombination mit Unterschätzung der Gefahren, die von bewegten Schienenfahrzeugen ausgehen, sein. Weiter existieren Fehlannahmen seitens des Verkehrsteilnehmers. So kann ein SVT davon ausgehen, dass eine große Zeitdifferenz zwischen dem Schließen der Schranken eines BÜ und der Vorbeifahrt des Sfz besteht. Weiterhin gibt es die Möglichkeit, dass ein SVT nicht berücksichtigt, dass zwei Sfz direkt hintereinander den (mehrgleisigen) BÜ befahren könnten. Solche fatalen Fehlannahmen begünstigen den Entschluss zu einer gefährlichen unerlaubten Überquerung. Zur Vermeidung bewusster Regelverstöße kann zum einen eine Ausweitung der Verkehrserziehung zum anderen eine Sanktionierung dieser Regelverstöße führen.

5.1.2.3 Unbeabsichtigte Fehler in der Handlungsausführung

Wenn der BÜ erkannt und die richtige Verhaltensweise vom SVT aufgegriffen wurde, muss diese noch korrekt umgesetzt werden. Fehler, die in diesem Stadium der Überquerung eines

BÜ entstehen, sind unbeabsichtigt und auf die motorische Ausführung oder ungünstiges Timing zurückzuführen. Hierunter fällt nach [14] etwa:

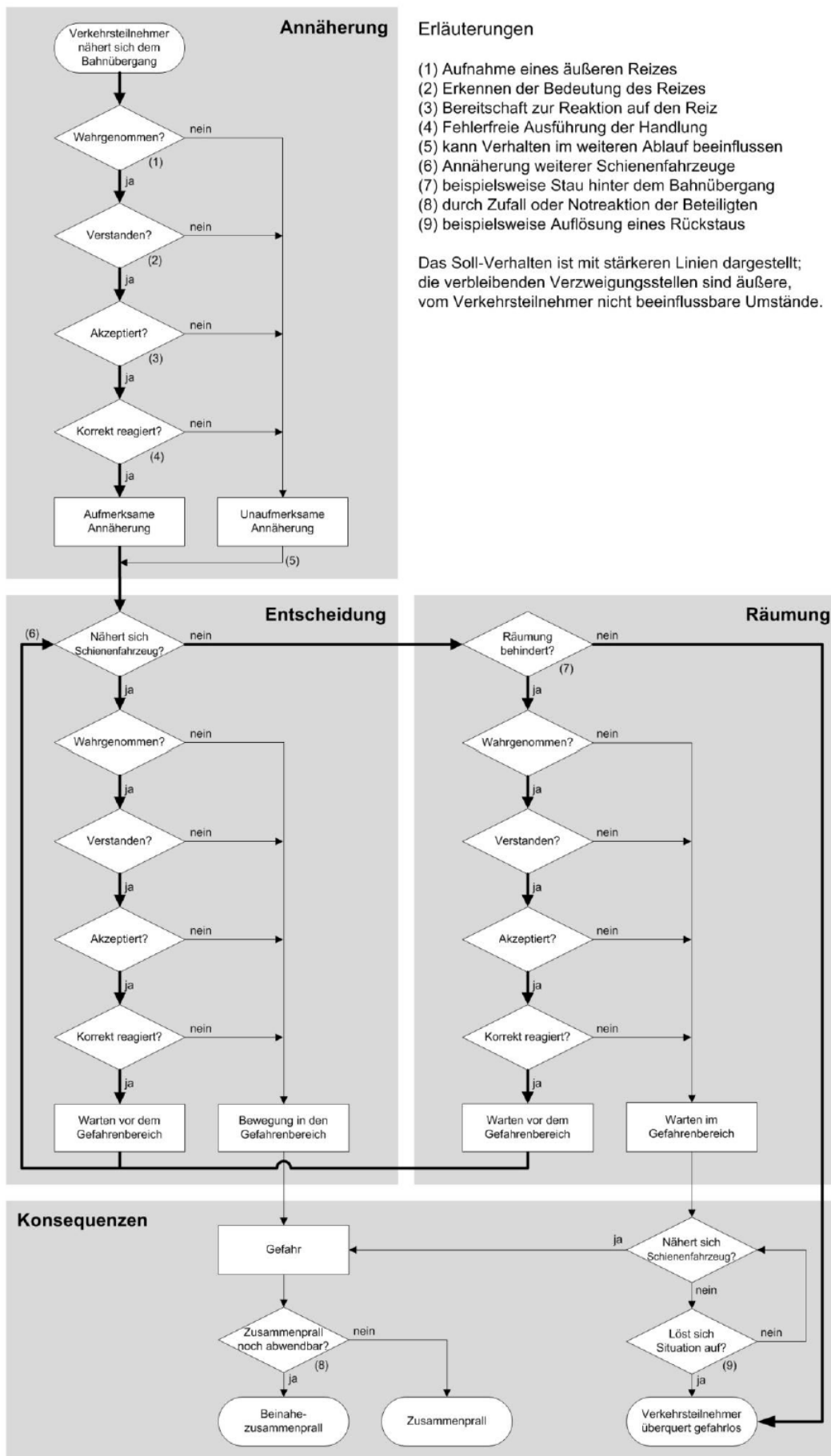
- das Abwürgen des Motors im Gefahrenraum,
- ein unzeitiges Befahren des BÜ bei erhöhtem Verkehrsaufkommen, sodass keine Räumung erfolgen kann, oder auch
- Rangiermanöver von Sattelkraftfahrzeugen oder Bussen.

5.2 Ablaufmodell der Nutzung eines BÜ

Das Ablaufmodell nach Schöne [9] unterteilt das Befahren eines BÜ in vier Phasen:

1. Annäherung,
2. Entscheidung,
3. Räumung und
4. Konsequenzen.

Abbildung 18 stellt das Ablaufmodell dar.



Erläuterungen

- (1) Aufnahme eines äußeren Reizes
- (2) Erkennen der Bedeutung des Reizes
- (3) Bereitschaft zur Reaktion auf den Reiz
- (4) Fehlerfreie Ausführung der Handlung
- (5) kann Verhalten im weiteren Ablauf beeinflussen
- (6) Annäherung weiterer Schienenfahrzeuge
- (7) beispielsweise Stau hinter dem Bahnübergang
- (8) durch Zufall oder Notreaktion der Beteiligten
- (9) beispielsweise Auflösung eines Rückstaus

Das Soll-Verhalten ist mit stärkeren Linien dargestellt; die verbleibenden Verzweigungsstellen sind äußere, vom Verkehrsteilnehmer nicht beeinflussbare Umstände.

Abbildung 18: Ablaufmodell der Nutzung eines BÜ [9]

Bei der Annäherung reagiert der SVT auf die Existenz des BÜ. Er muss ihn also wahrnehmen, z. B. durch Verkehrszeichen. Im Entscheidungsbereich findet eine Reaktion statt, welches durch das Vorhandensein eines sich nähernden Sfz ausgelöst wird. Das Erkennen der Sfz erfolgt entweder direkt durch Hinsehen bzw. Hören (nichttechnisch gesicherte BÜ) oder eine indirekte Offenbarung durch eingeschaltete technisch gesicherte BÜ (BÜSA). Die Räumung berücksichtigt die Möglichkeit, dass aufgrund der Verkehrssituation am BÜ das Verlassen des Gefahrenbereichs nicht möglich oder beeinträchtigt ist. Die Phase der Konsequenzen ist bestimmt durch die vorangehenden Bereiche und beschäftigt sich mit den Folgen, die in einen Unfall münden bzw. diesen vermeiden können.

Bezogen auf das menschliche Verhalten in Kapitel 5.1 kann festgestellt werden, dass der Bereich der Annäherung den kognitiven Prozess der Detektion und der Informationsverarbeitung beinhaltet. Die darauffolgenden Prozesse des Wissensabrufs, der Handlungsintention und der beabsichtigten Handlungsausführung sind sowohl im Entscheidungsbereich als auch im Räumungsbereich des Ablaufmodells wiederzufinden. Den Konsequenzen kann nur insofern ein kognitiver Teilprozess zugeordnet werden, dass, wenn die Gefahr eines Zusammenpralls erkannt wird, der SVT so reagiert, dass dieser noch abgewendet werden kann. Bis dahin hat sich der SVT aber schon in direkte Gefahr begeben. Ansonsten ergeben sich die Konsequenzen automatisch durch die vorhergehenden Prozesse.

5.3 Technische und wirtschaftliche Einflussgrößen

BÜSA erhöhen die Sicherheit an Bahnübergängen, da Straßenverkehrsteilnehmern die Annäherung von Schienenfahrzeugen durch technische Einrichtungen, z. B. Lichtzeichen und/oder (Halb-) Schranken angezeigt wird. Damit können sie ihr Fahrverhalten entsprechend anpassen, um Schienenfahrzeugen den Vorrang zu gewähren. Nachteile, die diese technischen Einrichtungen mit sich bringen, stellen einerseits höhere Ausrüstungskosten dar. Andererseits führen (technische) Störungen der BÜSA zur Behinderung des Eisenbahn- und Straßenverkehrs. Dennoch liegen die Kosten für BÜSA deutlich unter denen von alternativ erforderlichen Eisenbahnbahnunter- bzw. -überführungen zum Herstellen niveaufreier Kreuzungen. Jedoch sollten hinsichtlich Errichtungs- und Instandhaltungskosten möglichst günstige Systeme installiert werden, um mit knappen finanziellen Ressourcen eine größere Anzahl an BÜ mit technischen Sicherungen auszustatten.

Grundsätzlich gehören folgende Komponentengruppen zu BÜSA:

- Gleisfreimeldesysteme bzw. Gleisschaltmittel, welche die Informationen zur Steuerung der BÜSA zur Verfügung stellen,
- Signal- und Warnvorrichtungen für Eisenbahn und Straße,
- Visualisierung, Fernsteuerung, Ereignis- und Fehlerprotokollierung zusammen mit Diagnoseeinrichtungen
- Steuerungssysteme und
- Energieversorgung.

Obwohl der Ressourceneinsatz für Errichtung und Instandhaltung einer BÜSA vom Erscheinungsbild des konkreten BÜ abhängt, betragen die Kosten für die Arbeitszeit und das Material in Bezug zur Installation der Gleisfreimeldung, der Erdarbeiten und Verlegung der Kabel überschlagsmäßig 40 – 60 %, wie Abbildung 19 nach [15] verdeutlicht. Je höher die bahnsseitige Entwurfsgeschwindigkeit, desto größer ist dieser monetäre Anteil. Die übrigen Kosten resultieren aus:

- Produktionskosten der technischen Einrichtungen der BÜSA,
- Anpassungskosten für benutzerspezifische Anforderungen und Anwendungen sowie
- Bau- und Installationskosten für die BÜSA und weitere Komponenten, die mit ihr verbunden werden.

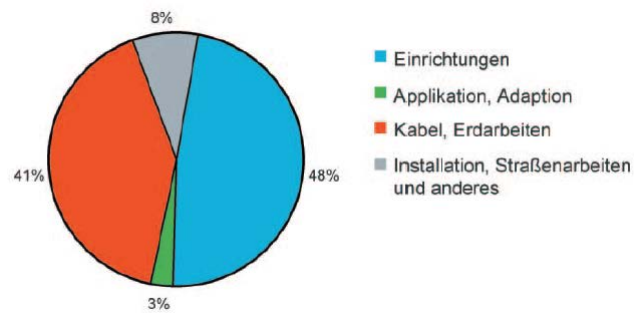


Abbildung 19: Kostenanteile beim Bau einer BÜSA [15]

Kostengünstige BÜSA können erreicht werden, wenn die in Abbildung 19 dargestellten Kostenfaktoren reduziert werden. Dabei empfiehlt es sich, die vergleichsweise hohen Kostenanteile für Verkabelung und Erdarbeiten durch den Einsatz innovativer Technologien zu senken.

6 Aufwands-Nutzen-Abschätzung

Ausgehend von Formel 1 ergibt sich das Risiko am Bahnübergang aus dem Produkt von Häufigkeit und Schadensausmaß. Es ist so gut wie ausgeschlossen, dass letzteres verringert werden kann. Hintergrund dessen ist, dass hierfür lediglich die Geschwindigkeiten der Schienenfahrzeuge und die Verkehrsart der Straßenverkehrsteilnehmer (Anzahl betroffener Personen) relevant sind. Diese beiden Einflussfaktoren sind nicht beeinflussbar.

Es gilt daher im Wesentlichen die Häufigkeit eines Zusammenpralls zu verringern. Diese untergliedert sich, wie in Kapitel 3 wiedergegeben, in:

- Aussetzung,
- Gefährdung und
- Unabwendbarkeit.

Bezogen auf die verschiedenen Gewerke, welche am Bahnübergang zusammentreffen, ergeben sich die in Abbildung 20 dargestellten Einflussfaktoren.



Abbildung 20: Einflussfaktoren auf das Risiko am Bahnübergang nach [9]

Die allgemeinen Einflussgrößen sind überwiegend nicht optimierbar bzw. variabel. Beeinflussende Merkmale der Bautechnik Schiene könnten ggf. angepasst werden und würden direkt zu einer Risikominderung führen. Allerdings sind Maßnahmen, wie z. B. Reduzierung der Geschwindigkeit der Schienenfahrzeuge, nicht in jedem Fall durchsetzbar und auch nicht anzustreben. Dies liegt darin begründet, dass eine lokale Geschwindigkeitsreduzierung aufgrund der langen Brems- und Beschleunigungswege der Schienenfahrzeuge unangemessen wäre. Zudem würde dies auf hochfrequentierten Strecken zu einem massiven Eingriff in den Fahrplan aller Schienenfahrzeuge und zu Kapazitätseinschränkungen führen. In der Sicherungs- und Elektrotechnik sowie in der Bautechnik existiert hingegen Optimierungspotential in folgenden Einflussgrößen:

- Annäherungszeit,
- Sicherungsart,
- Gefahrenraumfreimeldung
- Geschwindigkeiten der Straßenverkehrsteilnehmer,
- Sichtweite der Straßenverkehrsteilnehmer,
- Straßenführung vor dem Bahnübergang,
- Verkehrsanlagen vor dem Bahnübergang,
- Räumungsmöglichkeit.

In den folgenden Unterkapiteln sollen Maßnahmen der beiden Gewerke beschrieben und hinsichtlich ihres Nutzens sowie Aufwands vorbereitend bewertet werden. In Anhang A.4 ist eine zusammenfassende Tabelle der nachstehend vorgestellten Maßnahmen enthalten. Die Bewertung der potentiellen Optimierungsmöglichkeiten erfolgt mittels einer semi-quantitativen Aufwands-Nutzen-Abschätzung. Hierbei werden sowohl der Aufwand als auch der Nutzen in die dargestellten Kategorien gruppiert. Das Produkt der Aufwands- und Nutzenbewertung ergibt anschließend ein empfehlendes Ergebnis, wobei ein hoher Punktwert (niedriger Aufwand und hoher Nutzen) positiv zu bewerten ist.

Kategorie	Bewertung
Aufwand	
sehr hoch	1
hoch	2
mittel	3
gering	4
Nutzen	
gering	1
mittel	2
hoch	3
sehr hoch	4

Tabelle 5: Kategorisierung des Aufwands und Nutzens

Die Aufwands-Nutzen-Abschätzung stellt eine einführende Betrachtung der optimierbaren Einflussgrößen dar. Einige, in den folgenden Unterkapiteln betrachtete Maßnahmen kommen bereits zur Risikoreduzierung am BÜ zum Einsatz. Andere Maßnahmen stellen sich als nicht geeignet heraus. Zudem können in der Potentialanalyse auch Maßnahmen definiert werden, welche keine Berücksichtigung in der Aufwands-Nutzen-Abschätzung finden.

6.1 Bautechnik Straße

Die straßenseitige Bautechnik bietet die umfangreichsten Einflussgrößen auf das Risiko am Bahnübergang. Einzelne Optimierungen daran werden nachfolgend betrachtet.

6.1.1 Geschwindigkeiten der Straßenverkehrsteilnehmer

Die Reduktion der Annäherungsgeschwindigkeit der Straßenverkehrsteilnehmer, insbesondere der motorisierten SVT, führt zu besseren Sichtverhältnissen auf den Bahnübergang und die Annäherungstrecken sowie zu einer größeren Zeitdauer zur Wahrnehmung des BÜ und der Sicherungseinrichtungen. Die Geschwindigkeit der SVT (insbesondere der Kraftfahrzeugnutzer) kann auf zwei differente Weisen verringert werden.

6.1.1.1 Organisatorische Maßnahmen zur Geschwindigkeitsbegrenzung

Zum einen gibt es die Möglichkeit einer Geschwindigkeitsbegrenzung zur Senkung der Unabwendbarkeit eines Unfalls am BÜ. Eine solche ortsbezogene Geschwindigkeitsbegrenzung kann durch einen relativ einfachen Eingriff in das Areal vor dem BÜ durch Aufstellen von Straßenverkehrszeichen 274 (Zulässige Höchstgeschwindigkeit) erreicht werden.

Aufgrund einer geringen Akzeptanz der Kraftfahrzeugführer für eine Geschwindigkeitsverringern (siehe Artikel „*Einfluss der Ortskenntnis auf das Verhalten an Bahnübergängen*“ [16]) ist diese Maßnahme jedoch kaum wirksam. Es ergibt sich eine mittlere Empfehlung zur Anwendung dieses Optimierungspotentials.

6.1.1.2 Bauliche Maßnahmen zur Geschwindigkeitsbegrenzung

Zum anderen kann die Geschwindigkeit der motorisierten SVT durch bauliche Maßnahmen, wie z. B. Rüttelstreifen und Bodenschwellen, verringert werden. Diese Maßnahme ist jedoch nur für aktive BÜ sinnvoll, da die Aufmerksamkeit auf den Bahnübergang infolge der baulichen Maßnahmen verringert ist (siehe [9]). Rüttelstreifen werden direkt auf den Fahrbahnbelag aufgetragen und bedürfen somit eines geringen Aufwands. Bodenschwellen sind etwas aufwendiger in der Integration. Jedoch sind diese bereits vollumfänglich entwickelt und erzielen standardmäßig in verkehrsberuhigten Bereichen eine positive Wirkung auf die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs.

Mit einem etwas höheren Aufwand (Bewertung: mittlerer Aufwand), als die organisatorischen Maßnahmen zur Geschwindigkeitsbegrenzung, und einem ebenfalls geringen Nutzen mit einem Risikominderungsfaktor von 0,8 nach [9], ergibt sich keine Empfehlung für diese Maßnahme. Zudem besteht das Risiko, dass die Aufmerksamkeit der SVT zur Wahrnehmung der Einschaltung verringert ist.

6.1.2 Sichtweite der Straßenverkehrsteilnehmer

Eine vorhandene weiträumige Sicht der Straßenverkehrsteilnehmer, insbesondere der Kraftfahrzeugführer, auf den BÜ und seine Annäherungstrecke führt ebenfalls zu einer höheren Wahrscheinlichkeit der Abwendbarkeit eines potentiellen Unfalls bei einem unbeabsichtigten Fehlverhalten des SVT. Hierzu sollte auch bei aktiven BÜSA keine Bebauung und Bepflanzung in den Sichtdreiecken (siehe Abbildung 21) vorhanden sein. Ein Makel dieser Maßnahme besteht jedoch darin, dass eine Zunahme der Sichtverhältnisse der SVT zu einem Anstieg eines absichtlichen Fehlverhaltens führen kann. Aus diesem Grund wird von einem geringen Beitrag zur Risikoreduktion ausgegangen. Zudem ist der Aufwand sehr hoch, da die gesamte Fläche der Sichtdreiecke nicht bebaut werden darf und einer regelmäßigen Vegetationspflege bedarf. Besonders in Ortschaften lässt sich diese Maßnahme nicht realisieren.

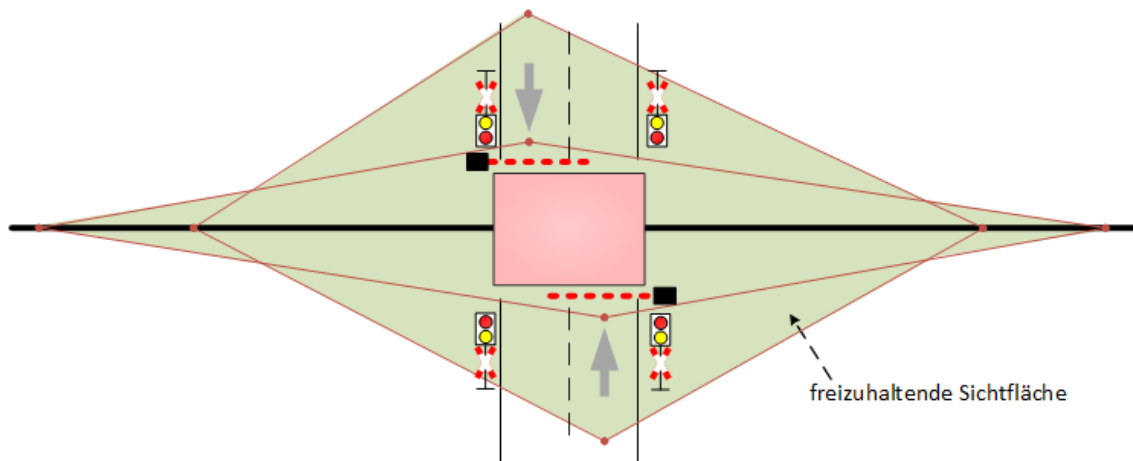


Abbildung 21: Freizuhaltenen Sichtflächen am aktiven BÜ

Es wird daher empfohlen dieses Optimierungspotential nicht zur Sicherheitserhöhung am Bahnübergang anzuwenden.

6.1.3 Straßenführung vor dem Bahnübergang

Eine Begradigung der Straße führt ebenfalls zu besseren Sichtverhältnissen der Kraftfahrzeugführer sowie einer zunehmenden Abwendbarkeit eines potentiellen Unfalls. Dazu zählt die Vermeidung von

- kurvigen Straßenverläufen,
- Wannen und
- Kuppen

im Bereich vor dem BÜ.

Dafür ist jedoch ein enormer Eingriff in die Straßengestaltung notwendig. Deshalb wird diese Maßnahme bei geringem Nutzen (siehe Kapitel 6.1.2) nur in Ausnahmefällen (z. B. bei geeigneten Umbauten von Straßen, bei denen ohnehin die Straßenführung verändert wird) positiv bewertet werden können. Im Allgemeinen kann diese Maßnahme nicht empfohlen werden.

Der Einsatz von Kuppen und Wannen auf bzw. nach einem BÜ als Unfallschwerpunkt soll in den nachfolgenden Arbeitspaketen Berücksichtigung finden. Neben der baulichen Gestaltung des BÜ kann eine Gefahrenraumfreimeldung (siehe Kapitel 6.2.3) zur Vermeidung dieser Unfallursache führen. Die Ausgestaltung des BÜ nach den gesetzlichen Vorgaben und Rahmenbedingungen entgeht dieser Problematik bereits. Es empfiehlt sich daher einen Bahnübergang unabhängig vom Bestandsschutz stets nach dem aktuellen Regelwerk auszugestalten.

6.1.4 Verkehrsanlagen vor dem Bahnübergang

6.1.4.1 Fahrbahnteiler, Fahrbahnverschwenkung

Bauliche Vorkehrungen zur Verhinderung einer seitlichen Umfahrung sind ausschließlich bei Bahnübergängen mit Blinklicht/Lichtzeichen und Halbschranken denkbar. Hierbei werden Fahrbahnteiler (siehe Abbildung 22) oder Fahrbahnverschwenkungen mit Mittelinseln (siehe Abbildung 23) unmittelbar vor dem Bahnübergang zwischen den beiden Richtungsfahrstreifen installiert. Diese baulichen Maßnahmen sind bereits in anderen neuralgischen Punkten des Straßenverkehrs zu finden (z. B. als Trennung von Fahrstreifen auf Kraftfahrstraßen).



Abbildung 22: Fahrbahnteiler [17]



Abbildung 23: Mittelinsel am BÜ mit LzH

Besonders einfach aufgebaute, umklappbare Fahrbahnteiler (auch „Leitschwellen“ genannt) bedürfen eines geringen Aufwands, da sie lediglich auf die vorhandene Markierung der Trennstreifen platziert werden. Sie können zwar bei einem äußerst mutwilligen Verhalten den Kraftfahrzeugführer nicht vollumfänglich daran hindern, die Halbschranken seitlich zu umfahren. Für die meisten Fälle bietet diese Maßnahme aber eine ausreichende physische Barriere, welche den gewöhnlichen SVT daran hindern sollte, die Halbschranken zu umfahren. Weiterhin können Fahrzeuge, welche breiter als die Regelfahrstreifen sind, den Bahnübergang durch Überfahren der mit einem klappbaren Scharnier ausgestatteten Leitbaken befahren. Zudem verfügen sie über eine hohe technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage, da sie ein autarkes System bilden.

Der Aufwand von Fahrbahnverschwenkungen ist wesentlich größer, da eine Anpassung des Fahrbahnverlaufs erfolgen muss. Hierbei müssen auch die evtl. notwendigen Arbeiten zur Errichtung der Mittelinsel beachtet werden. Sehr breite Fahrzeuge, wie z. B. Räumfahrzeuge, können ggf. den Bahnübergang nicht mehr passieren. Aus diesen Gründen sollen Fahrbahnverschwenkungen nicht weiter betrachtet werden.

Der Nutzen von Fahrbahnteilern wurde bereits weltweit in diversen Studien untersucht. Gemäß [9] wurde eine mittlere Risikoreduktion um den Faktor 0,2 eruiert. Diese Maßnahme wird daher mit einem mittleren Nutzen bewertet.

Mit einem geringen Aufwand und einem mittleren Nutzen ist diese Optimierungsmaßnahme bei technisch gesicherten Bahnübergängen mit Lichtzeichen und Halbschranke zu befürworten. Lediglich an Bahnübergängen mit angrenzendem Kreuzungsbereich, wie in Abbildung 24 dargestellt, können die Fahrbahnteiler nicht bzw. mit erhöhtem Aufwand angewandt werden, da sonst Abbiegevorgänge ausgeschlossen werden müssen. Auch müssen Schleppkurven von Lastkraftwagen (Lkw) bei Abbiegemöglichkeiten Berücksichtigung finden. Dies kann jedoch auch als Vorteil angesehen werden, da es etwaige Räumungsprobleme, die aus Abbiegevorgängen resultieren, unterbindet.

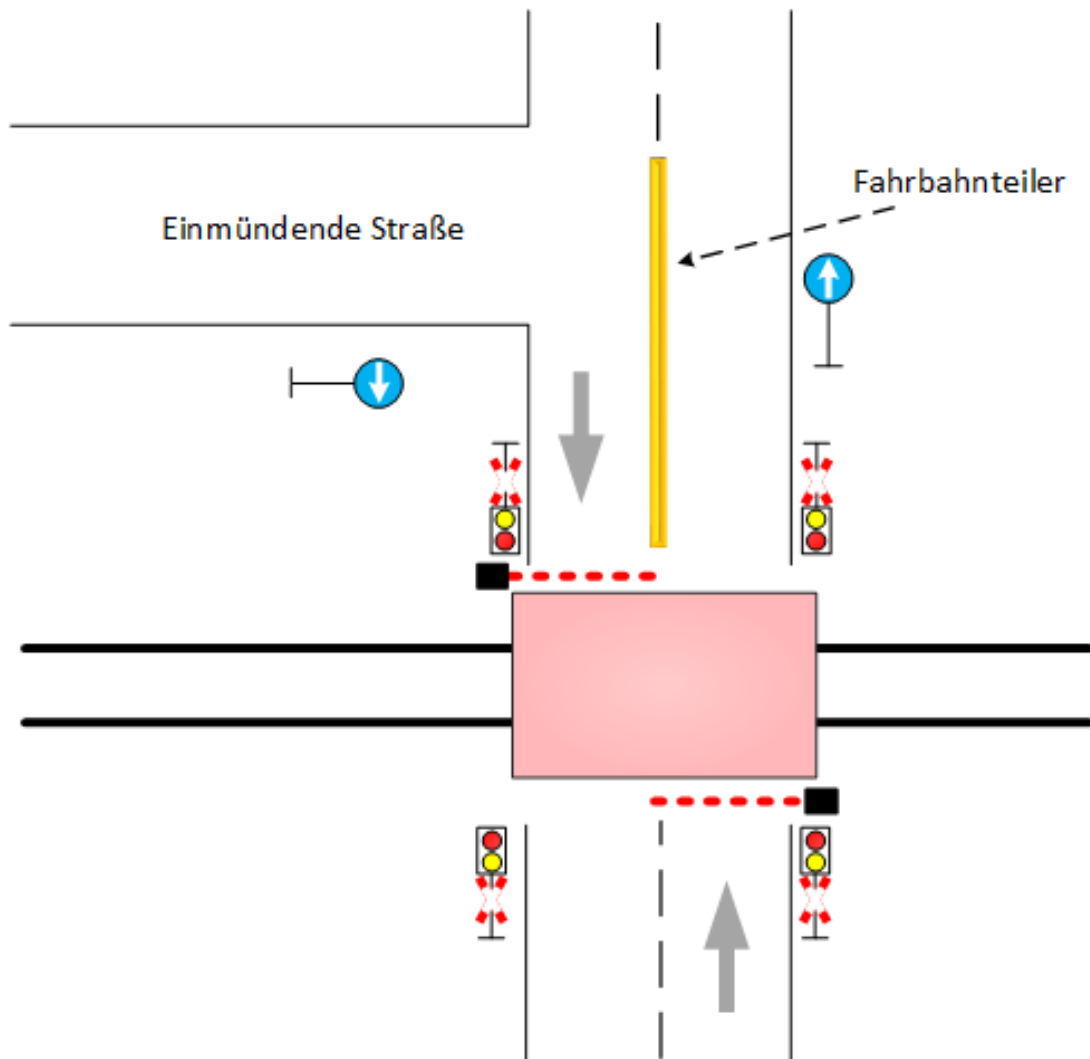


Abbildung 24: Prinzipskizze angrenzender Kreuzungsbereich bei Fahrbahnteiler

6.1.4.2 Verringerung der Beschilderung vor dem BÜ

Eine hohe Dichte an Verkehrszeichen im BÜ-Annäherungsbereich kann die Aufmerksamkeit des SVT von der eigentlich zu fokussierenden Gefahr des Bahnübergangs ablenken. Die Ursache liegt darin begründet, dass die Verarbeitung „der Sinneseindrücke nach der Detektion [des BÜ] empfindlich gegenüber Ablenkungen“ [14] ist. Es gilt daher möglichst die uneingeschränkte Aufmerksamkeit auf den zu befahrenden Bahnübergang zu lenken.

Ein stellvertretendes Negativbeispiel zeigt Abbildung 25.



Abbildung 25: Negativbeispiel für Beschilderung vor dem BÜ

Es wird ein eher geringer Nutzen einer reduzierten Beschilderungsdichte erwartet, weshalb diese Maßnahme ein untergeordnetes Optimierungspotential bietet.

6.1.5 Räumungsmöglichkeit

Die Wahrscheinlichkeit von Rückstauwirkungen kann durch verschiedene Maßnahmenpakete reduziert werden. Somit verringert sich die Aussetzung und Gefährdung der Straßenverkehrsteilnehmer.

6.1.5.1 Vorgeschaltete Lichtzeichen und Abhängigkeit zu benachbarten Lichtsignalanlagen des Straßenverkehrs

Eine Variante sind vorgeschaltete Lichtzeichen und Abhängigkeit zu benachbarten Lichtsignalanlagen (LSA) des Straßenverkehrs, auch BÜSTRA genannt. Die LSA und die Straßensignale des Bahnübergangs können sowohl einzeln angebracht sein, als auch in Kombination. Abbildung 26 zeigt den funktionalen Aufbau einer kombinierten BÜSTRA. Ziel der vorgeschalteten Lichtzeichen ist es, den übergeordneten Verkehrsstrom anzuhalten, um dem sonst wartepflichtigen Verkehrsstrom das Räumen des Bahnübergangs vor der Sicherung zu ermöglichen (siehe Abbildung 27). Diese Maßnahme kann ausschließlich bei technischen Sicherungsanlagen zum Einsatz kommen, da es einer Einschaltung der Sicherungsmaßnahme bedarf.

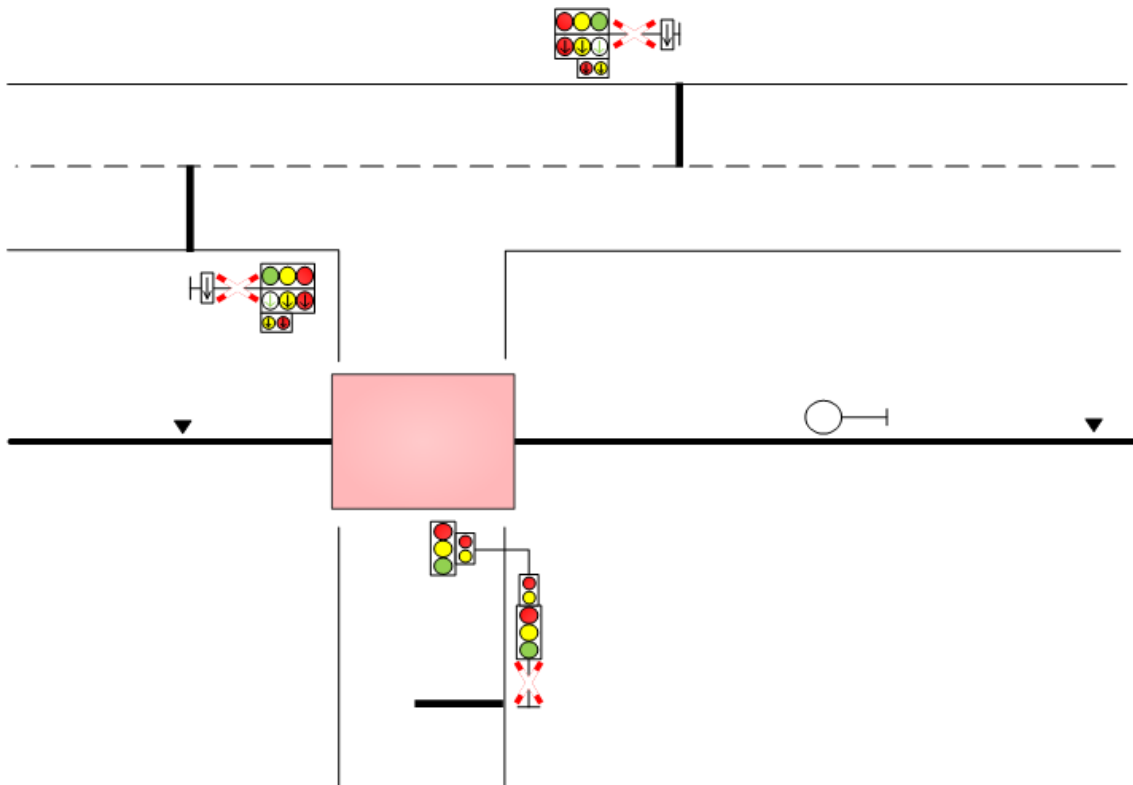


Abbildung 26: Funktionaler Aufbau BÜSTRA

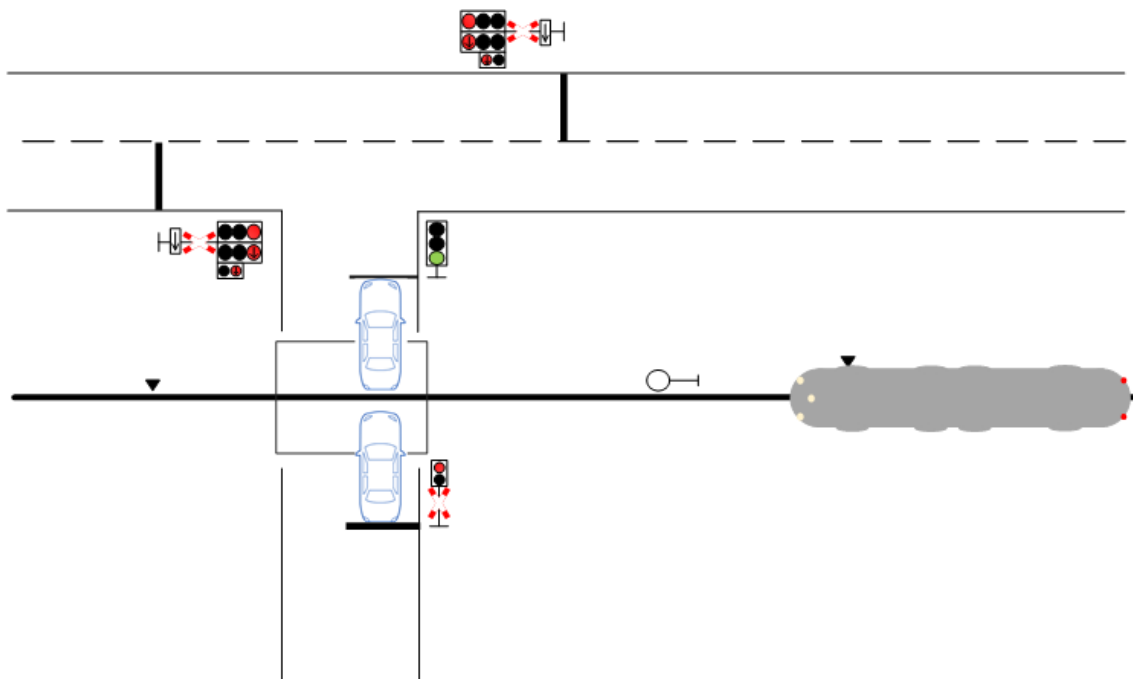


Abbildung 27: Funktionaler Aufbau BÜSTRA bei Einschaltung durch Schienenfahrzeug

Obwohl der Einsatz von vorgeschalteten Lichtzeichen sehr aufwendig ist, wird deren Nutzen ebenfalls als sehr hoch eingeschätzt. Ein Rückstau auf den Bahnübergang wird dadurch vermieden und die Räumung vor Vorbeifahrt des Sfz ist im Regelfall gegeben. Nach [9] kann von einem Gefährdungsminderungsfaktor von 10^{-3} ausgegangen werden.

Die Optimierungsmaßnahme sollte an geeigneten Bahnübergängen Anwendung finden. Solche stellen üblicherweise Bahnübergänge in der unmittelbaren Nähe von Einmündungen bzw. Kreuzungen, welche mit einer LSA geregelt werden, dar. Zudem sollte das Staurisiko der

übergeordneten Straße nicht sehr groß sein, da sonst eine Räumung auch mit vorgeschalteten Lichtzeichen nicht in jedem Fall gegeben sein kann.

6.1.5.2 Dynamische Verkehrszeichen

Der Einsatz von dynamischen Verkehrszeichen vor dem Bahnübergang dient zur Aufforderung der Straßenverkehrsteilnehmer den Gefahrenbereich freizuhalten. Hierzu detektieren Sensoren einen Rückstau hinter dem Bahnübergang, woraufhin die dynamischen Verkehrszeichen dies anzeigen. Dies erfolgt unabhängig von einem sich nähernden Schienenfahrzeug.

Obwohl bei der Bewertung des Aufwands der genannten Maßnahme kein Eingriff in die Sicherungstechnik zu beachten ist, muss der Aufwand dennoch als mittelmäßig eingestuft werden. Hintergrund dessen ist, dass die Installation der Sensoren, wie z. B. Induktionsschleifen, einen Eingriff in die Straßenoberfläche erfordert. Der Nutzen von dynamischen Verkehrszeichen wird gem. [9] als nicht so groß im Vergleich zu vorgeschalteten Lichtzeichen mit Einbindung in die Sicherungslogik des BÜ bewertet.

Im Ergebnis wird empfohlen, dass diese Maßnahme ebenfalls an geeigneten Bahnübergängen Anwendung finden sollte. Solche können Bahnübergänge in unmittelbarer Nähe von kreuzenden und einmündenden Straßen sowie Kreisverkehren sein.

6.1.5.3 Vermeidung von Verkehrsanlagen hinter dem BÜ

Eine Vermeidung bzw. Verlegung von Kreuzungen und Einmündungen hinter Bahnübergängen gilt als nachhaltige Maßnahme zur Verbesserung der Räumbarkeit. Sie ist bei existierenden Straßen und Kreuzungen nur mit erheblichem Aufwand realisierbar. Bei unabhängig vom Bahnübergang geplanten Baumaßnahmen, welche die Veränderung der Kreuzungs-/Einmündungslage hervorrufen, kann diese Maßnahme in der Planung berücksichtigt werden. Meist besteht hierfür jedoch aufgrund der örtlichen Gegebenheiten eine deutlich begrenzte Möglichkeit. Der Nutzen ist dennoch als hoch zu bewerten.

6.1.6 Eisenbahnüber- und -unterführungen

Der Rückbau von Bahnübergängen ist fraglos die zweckmäßigste Maßnahme zur Reduzierung des Risikos eines Zusammenpralls der Verkehrsträger Straße und Schiene, da sie eine solche Kollision physikalisch ausschließt. Wo möglich, sollte diese Maßnahme daher vorwiegend angewendet werden.

Hierzu gilt, wie bereits überwiegend angewandt, dass die Baulastträger der Schiene und Straße bei Umbauarbeiten stets den Rückbau eines Bahnübergangs vor allen anderen Optimierungsmöglichkeiten betrachten. Da diese Maßnahme jedoch die aufwendigste aller genannten Optimierungspotentiale ist, kann sie nicht immer Anwendung finden. Ohne einen unabhängig vom Bahnübergang geplanten Umbau der Straßen- und Schienenführung ist diese Maßnahme nicht realisier- und finanzierbar. Zudem können Eisenbahnüber- und -unterführungen u. U. aufgrund von örtlichen Gegebenheiten, wie z. B. eine nahe Bebauung, nicht errichtet werden.

6.2 Sicherungs- und Elektrotechnik

Die Sicherungs- und Elektrotechnik bietet ebenfalls Optimierungspotential. Dieses soll in den folgenden Unterkapiteln näher identifiziert werden.

6.2.1 Annäherungszeit

Eine große Annäherungszeit bewirkt eine lange Sperrzeit der technisch gesicherten Bahnübergänge. Dadurch erhöht sich das Risiko absichtlicher menschlicher Fehlhandlungen (Missachtung der technischen Sicherung). Eine möglichst kurze Sicherungsphase sollte demnach das Ziel sein. Gemäß [18] gilt eine maximale Annäherungszeit für eine technische Sicherung mit Lichtzeichen/Blinklicht von 90 s. Bei Lichtzeichen-/Blinklichtanlagen mit Halbschranken darf die Annäherungszeit nicht größer als vier Minuten (240 s) sein. Diese maximalen Werte

sollten zur Verringerung des Risikos am Bahnübergang möglichst vermieden bzw. nicht erreicht werden. Kurze Annäherungsphasen reduzieren das Risiko, dass der SVT eine beabsichtigte Fehlhandlung ausführt und den gesicherten Bahnübergang befährt. Gründe hierfür können sein:

- Zeitdruck,
- Annahme, dass die Sicherungsanlage defekt ist oder
- antrainiertes Fehlverhalten bei häufiger Nutzung des Bahnübergangs.

Diese Maßnahme, welche mit einem mittleren Aufwand bewertet wird, hat allerdings auch eine Grenze der Wirksamkeit. Die Maßnahme gilt ausschließlich für den ersten Straßenverkehrsteilnehmer, welcher als erstes am gesicherten Bahnübergang eintrifft. Für alle nachfolgenden SVT gibt es einen schützenden Rückstau. Aus diesem Grund wird dieser Maßnahme ein mittlerer Nutzen zugeordnet. Die Verbindung von Aufwand und Nutzen ergibt ein positives Ergebnis hinsichtlich einer Fürsprache der Maßnahme zur Risikoreduzierung am Bahnübergang.

6.2.2 Sicherungsart

6.2.2.1 Ersatz passiver Bahnübergänge

Die Häufigkeit von vorsätzlichem sowie unabsichtlichem menschlichen Fehlverhalten am Bahnübergang kann gleichwohl durch den vermehrten Einsatz von technischen Sicherungsanlagen verringert werden. Hierdurch wird eine bessere Wahrnehmung des BÜ an sich sowie der möglichen Gefahr, welche von ihm ausgeht, erreicht.

Das menschliche Fehlverhalten der SVT stellt mit deutlichem Abstand die häufigste Ursache für einen Zusammenprall der beiden Verkehrsträger dar (vgl. [19]). In dem die Hemmschwelle für absichtliches Fehlverhalten der SVT durch die technischen Sicherungsmaßnahmen gesenkt wird, resultieren weniger Unfälle. Zudem werden unbeabsichtigte falsche Handlungen der Straßenverkehrsteilnehmer durch die bessere Wahrnehmung der aus dem BÜ resultierenden Gefahr reduziert. Die Möglichkeit eine Bahnübergangssicherungsanlage bei einfachen Bedingungen mit einem niedrigeren Sicherheitsniveau (z. B. SIL 1) auszurüsten, sollte hierbei Berücksichtigung finden.

6.2.2.2 Einsatz wirksamerer Sicherungsarten

Ein weitgehender Ausschluss der häufigsten Unfallursachen

- Befahren des Gefahrenbereichs trotz vorhandener Sicherungsmaßnahme
 - durch absichtliche Missachtung,
 - durch unbeabsichtigtes Übersehen sowie
- Aufenthalt im Gefahrenbereich infolge fehlender Räumbarkeit

lässt sich letztlich nur durch eine technische Sicherung mit Vollabschluss und Gefahrenraumfreimeldung bewerkstelligen. Diese hat das Potential „die Unfallzahlen um bis zu 80 % zu verringern“ [9].

Diese These bestätigt auch die Unfalldatenanalyse. Unfälle an Bahnübergängen mit Vollabschluss treten in Bezug zu ihrem Bestand unterproportional auf, während Unfälle an Bahnübergängen mit Lichtzeichen überproportional häufig vorkommen.

Halb- und Vollschränken haben nach [18] einen übereinstimmenden Einsatzbereich. Allerdings ist nur ein kleiner Teil der vorhandenen Anlagen mit der höherwertigen Sicherungsart ausgerüstet, wobei „die Kosten [...] um 45 % höher liegen“ [19]. Es sollte daher angestrebt werden, die Sicherungsarten durch eine technisch höherwertige Sicherungsart zu ersetzen. Dies sollte immer in Betracht gezogen werden, und nicht nur, wie in [18] definiert dort, „wo

örtliche Gründe eine Sicherung durch Lichtzeichen mit Halbschranken nicht zulassen oder regelmäßig eine Annäherungszeit t_a von 240 s überschritten wird“ [18].

Ein vermehrter Einsatz von technischen Sicherungsarten sollte aufgrund des hohen Nutzens auch trotz erheblichen Aufwands bei geeigneten Bahnübergängen Anwendung finden. Zu solchen zählen BÜ mit

- einer hohen Unfallzahl bei geringwertiger Sicherungsart,
- einem hohen Straßen- und Schienenverkehrsaufkommen,
- einer unübersichtlichen Straßenführung.

6.2.3 Gefahrenraumfreimeldung

Technische Gefahrenraumfreimeldeanlagen (GFR) mit einem geringeren Sicherheitsniveau, als aktuell gefordert, fördern den vermehrten Einsatz eines Vollabschlusses mit einhergehender Gefahrenraumfreimeldung. Negativen Folgen einer verkehrsbedingt unzureichenden Räumbarkeit kann so entgegengewirkt werden. Außerdem kann somit eine kostengünstigere höherwertige technische Sicherung des BÜ gewährleistet, und dadurch eine größere Ausstattungsanzahl erreicht werden. Der Einsatz von Gefahrenraumfreimeldeanlagen mit einem geringeren Sicherheitsniveau (SIL 1) als bisher erforderlich, könnte unter Beachtung der durchgeführten Risikoanalyse für technische Systemfunktionen (siehe Anhang A.3) bei niedrigen und mittleren Geschwindigkeiten, d. h. bis einschließlich 80 km/h Anwendung finden. Folglich könnte in diesem Geschwindigkeitsbereich der Schienenfahrzeuge eine sog. Low-Cost-Variante der Gefahrenraumfreimeldung die vorhandene mäßige Sicherheit durch nicht-technische Sicherungsarten und technischer Sicherung durch Lichtzeichen oder Halbschranken erhöhen.

Aufgrund dessen, dass diese Optimierungsmöglichkeit einen hohen Nutzen bewirkt, ist diese Maßnahme bei einem mittleren Aufwand vollumfänglich geeignet, das Risiko am Bahnübergang zu reduzieren.

6.3 Bilanz der Aufwands-Nutzen-Abschätzung

Wie in Anhang A.4 dargestellt, bieten sowohl bauliche als auch sicherungstechnische Maßnahmen Optimierungspotential zur Risikominderung.

Vor allem dem Einsatz von Gefahrenraumfreimeldungseinrichtungen mit einem risikobasiert ermittelten Sicherheitsniveau (SIL 1) sollte bei der Umsetzung von Risikominderungsmaßnahmen Vorrang gewährt werden. Diese Maßnahme erzielt ein gutes Ergebnis, da sie bei ähnlichem finanziellen Aufwand eine höhere Durchdringung mit hochwertig schutzbietenden Bahnübergangssicherungsanlagen mit Vollabschluss erlaubt.

Weiterhin stellen Verkehrsanlagen vor dem BÜ ein großes Potential bei der Vermeidung von absichtlichem Fehlverhalten an Bahnübergängen mit Lichtzeichen und Halbschranken dar.

Die Beseitigung von Bahnübergängen, wie sie bereits im Eisenbahnkreuzungsgesetz § 2 Abs. 1 [20] für neue Bahnübergänge verankert ist, spielt aufgrund des außerordentlichen Aufwands bei der Umsetzung von Risikominderungsmaßnahmen lediglich eine untergeordnete Rolle.

7 NE-Anlagen im In- und Ausland

Im folgenden Kapitel sollen Komponenten und Technologien vorgestellt werden, welche bei NE-Bahnen im In- und Ausland zur Anwendung kommen. Beachtung finden dabei technische Neuerungen sowie Änderungen von Projektierungsgrundsätzen.

Die jeweilige Maßnahme wird zunächst beschrieben und anschließend in einer Potentialüberprüfung hinsichtlich der Anwendbarkeit bei EdB erörtert. Darauf aufbauend werden vorstellbare Sicherungsarten identifiziert und der Sicherheitsgewinn bewertet. Den Abschluss jeder Maßnahmenbetrachtung bildet eine Umsetzungsstrategie.

In Kapitel 8 erfolgt ein identischer Ablauf zur Identifizierung der Maßnahmen, welche weiterführend in der Nutzwertanalyse (Kapitel 9) betrachtet werden.

7.1 Technische Neuerungen

7.1.1 Rotlichtüberwachung

7.1.1.1 Beschreibung

Die Rotlichtüberwachung an Bahnübergängen mit Lz dient der Kontrolle des SVT hinsichtlich der Einhaltung des Haltegebots vor dem Andreaskreuz, welches bei einem sich nähernden Schienenfahrzeug durch ein rotes Lz (Dauerlicht bzw. Blinklicht) signalisiert wird. Diese Technik wird beispielsweise in Österreich eingesetzt.

Dazu wird auf jeder Seite des BÜ im Abstand von 7 – 25 m vor dem Bahnübergang ein Kamerasystem installiert. Dieses System erfasst sowohl den Gefahrenbereich als auch das Rotlicht selbst (Blink- oder Dauerlicht). Schaltungstechnisch ist das Kamerasystem mit der BÜSA verbunden, d. h. nur bei aktivierter BÜ-Sicherung (rotes Lz) wird der Bereich überwacht. Überfährt ein Straßenfahrzeug das Rotlicht, wird dies vom System erkannt. Das Bild wird gespeichert und kann an eine beliebige Stelle übermittelt werden, die derartige Verstöße auswertet und ggf. ahndet. [21] Weitere Details benennt die Quelle nicht. Nach [22] betragen die Kosten für die Ausrüstung eines BÜ 50.000 – 60.000 EUR.



Abbildung 28: Prinzipskizze Rotlichtüberwachung am BÜ [21]



Abbildung 29: Kamerasystem der Rotlichtüberwachung [21]

Wie im Zwischenbericht zum europäischen Projekt „Safer LC“ [2] angegeben ist, kommen radargestützte Rotlichtüberwachungen an Bahnübergängen mit Lz bereits in Frankreich zur Anwendung. Ziel dieser Anlagen ist es ebenfalls, Verstöße der SVT zu ahnden. Hierzu wurden bis zum Jahr 2010 ca. 80 Bahnübergänge mit Lz und Halbschranken bzw. Schranken mit dieser Technik ausgestattet (vgl. [2]).

7.1.1.2 Potential

Das sich im Einsatz befindliche System eignet sich dazu, Vorgänge am BÜ zu erfassen und zu überwachen, wodurch z. B. die Rekonstruktion eines Unfalls vereinfacht wird. Die Installation der Kameras an sich bedarf aufgrund des räumlichen Abstands zur Bahnanlage nur einer geringen Berücksichtigung bei der Eisenbahninfrastruktur. Jedoch muss die schaltungstechnische Integration in die BÜSA vollzogen werden, da eine Aktivierung der Rotlichtüberwachung nur bei einer stattfindenden Zugfahrt (Dauer der BÜSA-Einschaltung) vorgesehen ist.

Unklar bleibt, was mit der Information einer identifizierten „Rotlichtüberfahung“, d. h. Missachtung des Haltegebots durch einen SVT, geschieht. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die „Rotlichtüberfahung“ so rechtzeitig stattfindet, dass bei einem Weiterleiten der Information an den Triebfahrzeugführer oder den Fahrdienstleiter (zum Auslösen eines Nothaltauftrags) das Sfz rechtzeitig abgebremst oder gestoppt werden kann. Sollte dies dennoch der Fall sein, würde damit der grundsätzliche Vorrang des Schienenverkehrs, welcher gem. § 11 Abs. 3 EBO [4] am BÜ gilt, eingeschränkt. Durch den Nothaltauftrag bliebe zwar der Vorrang des Schienenverkehrs formal weiterhin in Kraft, seitens der SVT könnte jedoch der fälschliche Eindruck entstehen, dass der SVT durch sein Fehlverhalten das Sfz bewusst zum Anhalten zwingen kann. Im Extremfall hält das Sfz vor dem BÜ an, obwohl der sündige Straßenverkehrsteilnehmer den BÜ bereits befahren und vollständig geräumt hat. Im umgekehrten Fall kann es passieren, dass zwar die „Rotlichtüberfahung“ identifiziert wird, dies aber so kurzzeitig vor dem Passieren des BÜ durch das Schienenfahrzeug geschieht, dass keine Gegenmaßnahmen in die Wege geleitet werden können und es trotz Rotlichtüberwachung zu einem Zusammenprall kommt.

Das Einbringen technischer Abhängigkeiten der Rotlichtüberwachung, z. B. in Fahrstraßenlogik bzw. als Fahrtrückhalt des Schienenfahrzeugs, ist aus den genannten Gründen nicht empfehlenswert.

Das System sollte vielmehr dazu dienen, Kraftfahrzeugführer, die das Haltegebot infolge des Rotlichtes am BÜ verletzen, im Nachhinein durch Auswertung des Bildmaterials mit Bußgeldern zu belangen. Somit würde das System eine gewisse Abschreckung erzeugen, die auch bei BÜ, an denen es nicht installiert ist, Wirkung zeigen könnte. Problematisch an der in Österreich angewandten Systemlösung der Rotlichtüberwachung ist jedoch, dass lediglich das hintere Kennzeichen des Kfz detektiert und damit der Fahrzeughalter identifiziert werden kann. Eine Ermittlung des konkreten Kraftfahrzeugführers ist so nicht möglich, weshalb diese Variante in Deutschland im rechtlichen Graubereich agieren würde. Zudem ist eine direkte verkehrserzieherische Wirkung so nicht realisierbar, da dem Kraftfahrzeugführer erst weit nach dem Vergehen der Verstoß vorgehalten wird.

Eine Rotlichtüberwachung des BÜ nach Vorbild einer herkömmlichen Überwachung der Beachtung des Rotlichtes einer Lichtsignalanlage mittels einer hinter der LSA aufgestellten Kamera wird favorisiert. Somit kann der Kraftfahrzeugführer frontal bei einem Vergehen fotografiert werden. Dies würde eine eindeutige Identifizierung des Kraftfahrzeugführers ermöglichen. Weiterhin bietet diese Variante den Vorteil, dass durch die beim Auslösen der Kamera sichtbaren Lichtblitze der SVT unmittelbar auf sein Vergehen aufmerksam gemacht wird.

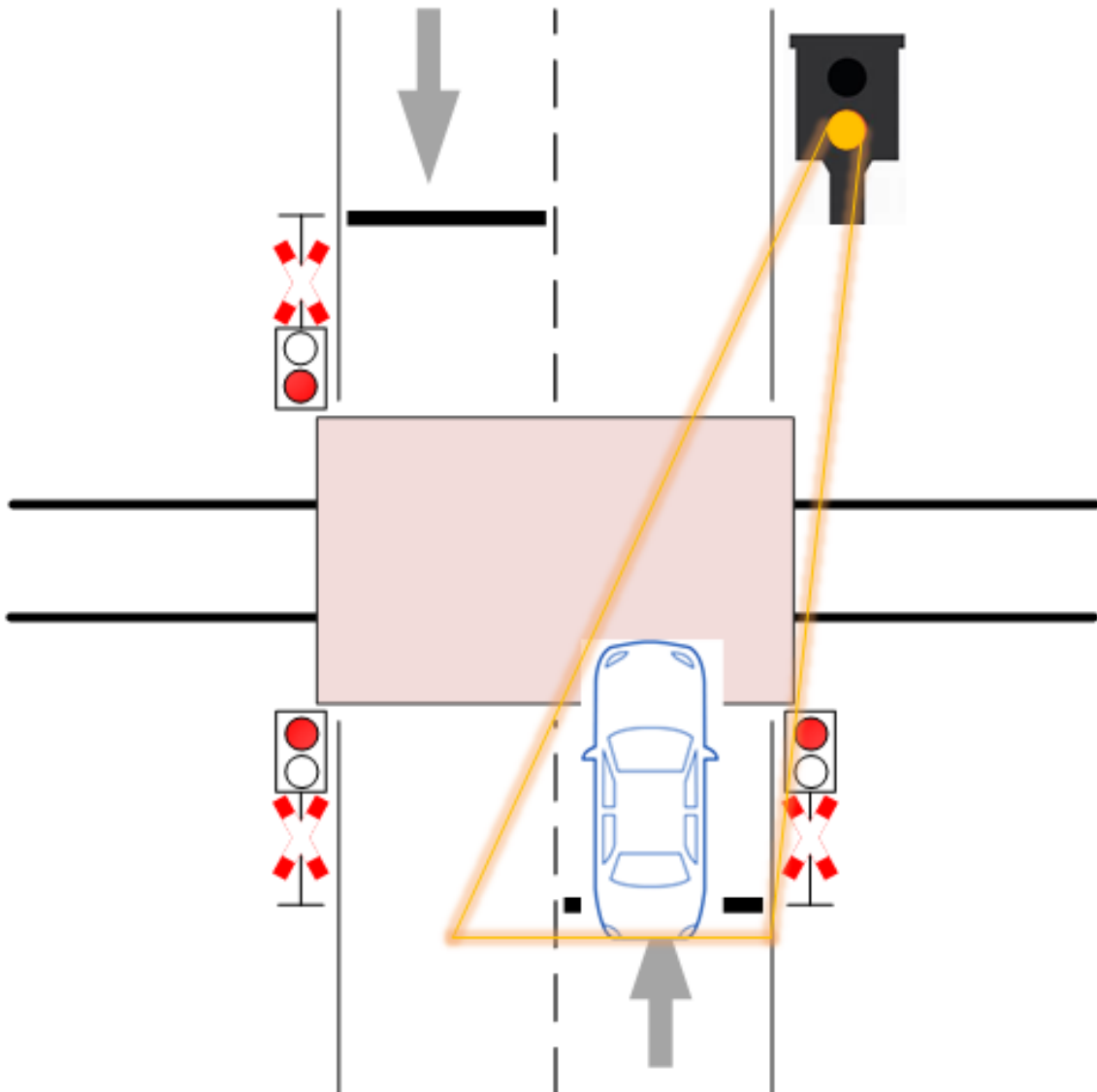


Abbildung 30: Prinzipskizze Rotlichtüberwachung am BÜ

Die Rotlichtüberwachung, wie in Abbildung 30 dargestellt, kann mittels mobilen oder fest installierten Anlagen erfolgen. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile, wie Tabelle 6 verdeutlicht. Weiterhin gibt es die Möglichkeit die Rotlichtüberwachung am BÜ in den sog. „Blitzermarathon“ einzubinden. Hierbei werden an einem Tag sehr viele mobile Geschwindigkeits- und Rotlichtüberwachungen aufgestellt. Die SVT werden über die Maßnahmendurchführung z. B. über Rundfunk informiert.

	mobile Anlage	fest installierte Anlage
Vorteil	kein Gewöhnungseffekt bei SVT	einmalige Kosten für Installation
Nachteil	hoher Bedarf an Personal (tägliche Installation der Anlage)	Gewöhnungseffekt bei SVT, dadurch kein wirtschaftlicher Betrieb möglich

Tabelle 6: Vor- und Nachteile von Rotlichtüberwachungsanlagen

Der Kraftfahrzeugführer, der das Haltegebot am BÜ verletzt hat, kann anschließend durch die zuständige Verwaltungsbehörde belangt werden. Gem. Anlage (zu § 1 Abs. 1) Bußgeldkatalog-Verordnung (BKatV) [23] Nr. 89 b.2 kann somit die Verkehrsordnungswidrigkeit nach § 24 Straßenverkehrsgesetz (StVG) [24] mit einem Regelsatz von 240 Euro sowie einem Fahrverbot von einem Monat sanktioniert werden.

Vor Einführung der Rotlichtüberwachung und -ahndung gilt jedoch zu klären, wann und in welcher Form ein Blitzlicht durch die Rotlichtüberwachung ausgelöst wird. Zum einen ist eine direkte verkehrserzieherische Wirkung durch ein auslösendes Blitzlicht sinnvoll, zum anderen kann durch das Blitzlicht eine Gefahrensituation entstehen. So ist es denkbar, dass der Kraftfahrzeugführer durch die plötzliche Einwirkung des Blitzlichts zu einer Gefahrenbremsung verleitet wird und im Kreuzungsbereich des BÜ zum Stehen kommt. Dies kann zu einer durch die Maßnahme induzierten Gefährdung führen, die es zu vermeiden gilt. Auch eine Auffahrunfallsituation ist vorstellbar. Ein Blitzlicht, welches erst nach Befahren des Gefahrenraums auslöst, ist daher am geeignetsten.

Weiterhin gilt es zu definieren, wer die Rotlichtüberwachung betreibt, die Bußgeldverfahren initiiert und praktiziert. Nach § 26 Absatz 1 StVG gilt bei „*Ordnungswidrigkeiten nach den §§ 23 bis 24a und 24c [, dass] die Behörde oder Dienststelle der Polizei, die von der Landesregierung durch Rechtsverordnung näher bestimmt wird*“ [24], die zuständige Verwaltungsbehörde ist. Überdies kann gem. § 26 Absatz 2 StVG „*das Kraftfahrt-Bundesamt, soweit es für den Vollzug der bewehrten Vorschriften zuständig ist*“ [24] die zuständige Verwaltungsbehörde sein.

Im Folgenden soll ausschließlich die Variante einer hinter dem BÜ montierten, sichtbaren Lichtblitze aussendenden Kamera betrachtet werden.

7.1.1.3 Sicherungsarten

Für die Rotlichtüberwachung kommen primär alle technisch gesicherten BÜ mit Lz in Frage.

Alle nichttechnisch gesicherten Bahnübergänge eignen sich nicht für dieses Optimierungspotential, da sie weder über Lichtzeichen noch über eine BÜSA-Schnittstelle zum potentiell einzusetzenden Kamerasystem verfügen.

Auch die Sicherung mit Lz und Halbschranken (LZH) wäre eine mögliche optimierbare Sicherungsart. Der Hintergrund besteht darin, dass bei Sicherung mit Halb- bzw. Vollschranken das Rotlicht vor dem Schließen der Schranken missachtet werden kann. Weiterhin stellt das Umfahren der Schranken ein Hauptproblem bei der Sicherungsart LZH dar. Durch eine Rotlichtüberwachung kann dies kontrolliert und sanktioniert werden. Bei einem Vollabschluss wird die Belegung des Gefahrenraums durch die Gefahrenraumfreimeldung ohnehin identifiziert, sodass die Rotlichtüberwachung nur zusätzlich mit dem vorrangigen Ziel der Strafverfolgung zum Einsatz kommen würde.

7.1.1.4 Sicherheit

Es kann infolge der abschreckenden Wirkung der Ahndung des Verkehrsverstoßes angenommen werden, dass Kraftfahrzeugführer in einem höheren Maß von der Überfahung des Rotlichts am BÜ absehen. Somit lässt sich durch die technische Neuerung ein Sicherheitsgewinn erzeugen. Dieser ist vergleichbar mit den im übrigen Straßenverkehr eingesetzten sogenannten „Rotlichtblitzern“.

7.1.1.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Unter Berücksichtigung der aus den Literaturquellen hervorgebrachten Sachverhalte zur Rotlichtüberwachung wird diese Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit an BÜ der EdB empfohlen und bei der späteren Nutzwertanalyse berücksichtigt.

Insbesondere technisch gesicherte BÜ, die nur mit Lichtzeichen oder mit Lichtzeichen und Halbschranken ausgerüstet sind, eignen sich für diese Maßnahme, um verkehrserzieherische Erfolge, insbesondere die Einhaltung des Haltegebotes an roten Stand-/Blinklichtern, zu erzielen. Idealerweise werden Verstöße zeitnah geahndet. Für die EdB kommen prinzipiell zwei Varianten infrage:

1. fest installierte Anlagen oder
2. mobile Anlagen.

Beide Modifikationen haben Vor- und Nachteile und sollten jeweils an geeigneten Bahnübergängen Anwendung finden.

7.1.2 Funktechnologie zur Ansteuerung von BÜSA

7.1.2.1 Beschreibung

Bei der Schmalspurbahn „Mariazellerbahn“ verwendet die niederösterreichische Verkehrsorganisationsgesellschaft (Növog) nach [25] eine Funktechnologie zur Ansteuerung von BÜSA-Funktionseinheiten. Hierbei befährt ein Schienenfahrzeug bei Annäherung an einen BÜ eine passive Balise. Die Einschaltung des technisch gesicherten BÜ erfolgt daraufhin durch den Fahrzeugrechner des Schienenfahrzeugs, indem es nach Befahren der passiven Balise und einem dazugehörigen Telegramm mit der Steuereinheit der BÜSA (hier „Schalthaus“ genannt) kommuniziert. Im Bremswegabstand vor dem BÜ befindet sich ein Überwachungspunkt, über den das Sfz informiert wird, ob der BÜ ordnungsgemäß gesichert wurde. Ist dies nicht der Fall, so wird eine Zwangsbremse eingeleitet. Die Ausschaltung der BÜSA erfolgt herkömmlich mittels Ausschaltensensoren. Eine Prinzipskizze zeigt Abbildung 31.

Nach Angaben des Betreibers benötigt diese Optimierungsmöglichkeit weniger Komponenten sowie einen geringeren Verkabelungsaufwand als herkömmliche Systeme. Eine Umrüstung bereits errichteter Anlagen kostet ca. 18.000 EUR, eine neue Anlage liegt bei ca. 140.000 EUR. Diese Funktechnologie ist jedoch bisher ausschließlich für die genannte Schmalspurbahn zugelassen. [25]

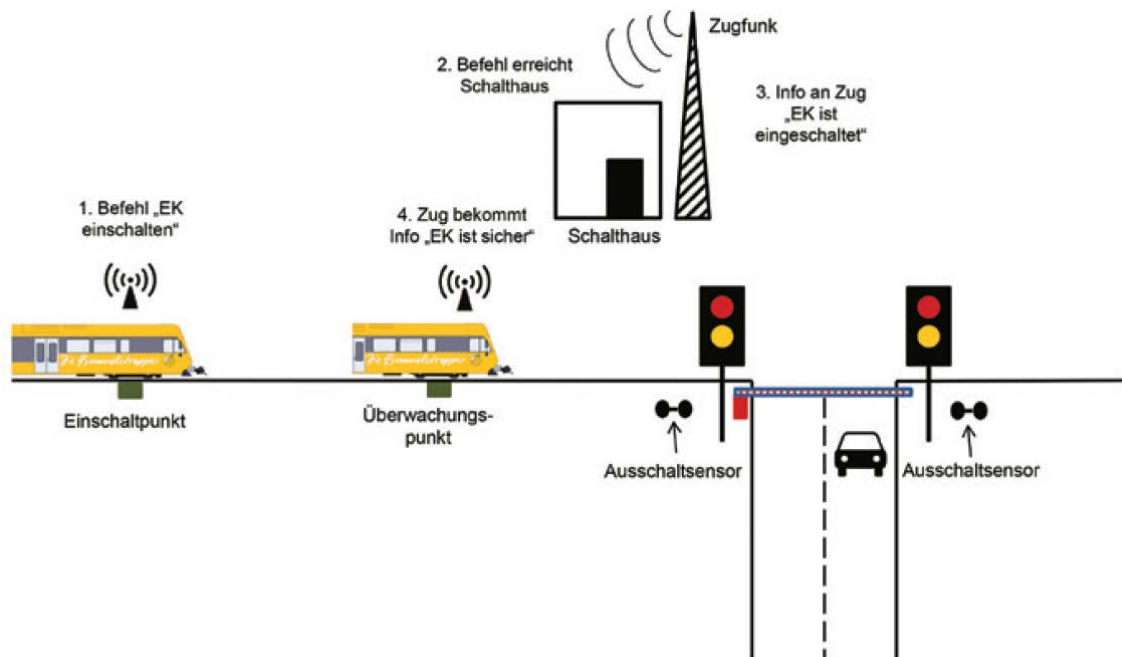


Abbildung 31: Prinzipskizze Funktechnologie zur Ansteuerung von BÜSA [25]

7.1.2.2 Potential

Die BÜ-Sicherung über Funk behält bisherige Abläufe bei der Sicherung eines BÜ, wie sie bei den EdB üblich sind, bei. Skaleneffekte werden ausschließlich über den geringen Verkabelungsaufwand und damit entfallende aufwendige Tiefbauarbeiten erzeugt.

Voraussetzungen für die Implementierung des Systems sind die Verfügbarkeit von:

- Zugfunk an der Strecke sowie
- Schienenfahrzeuge, die in der Lage sind Balisen auszulesen.

Damit stellt das System eisenbahnseitig Anforderungen, die gerade auf Nebenbahnen oder in Bereichen von nichttechnisch gesicherten BÜ eine Kompatibilität verhindern können.

Da die BÜ-Funktechnologie bisher nur als Insellösung zum Einsatz kommt und faktisch nur durch eine Ausnahmeregelung zugelassen ist, muss davon ausgegangen werden, dass für einen flächendeckenden Einsatz noch Entwicklungs- und Zulassungsarbeit geleistet werden muss.

Gleichwohl wird die BÜ-Sicherung über Funkssysteme als eine Maßnahme betrachtet, die Potential besitzt.

7.1.2.3 Sicherungsarten

Da sowohl eine Neuausrüstung als auch eine Umrüstung bestehender Anlagen mit annehmbarem Kostenaufwand möglich ist, kommen grundsätzlich alle BÜ für eine BÜ-Sicherung über Funk in Frage.

7.1.2.4 Sicherheit

Die BÜ-Sicherung über Funktechnologie ist unter Berücksichtigung der recherchierten Sachverhalte wahrscheinlich in der Lage, gleiche Sicherheit bei geringeren Kosten zu gewährleisten und wird somit einer weiteren Betrachtung unterzogen.

7.1.2.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Die vorgestellte Technik kommt für den Einsatz in einfacheren Verhältnissen in Frage. Denkbar sind Nebenbahnen, die über eine Reihe nichttechnisch gesicherter BÜ und im Kapi-

tel 7.1.2.2 genannter Voraussetzungen verfügen. Eine Ausrüstung mit Kosteneinsparpotentialen, im konkreten Fall die funkbasierte BÜSA-Ansteuerung, kann hier neue Möglichkeiten der technischen Aufrüstung von nichttechnisch gesicherten BÜ eröffnen. Der Netzbestand ist auf in Frage kommende BÜ zu untersuchen.

7.1.3 Satellitengestützte Ortung

7.1.3.1 Beschreibung

In Finnland gibt es zwei verschiedene Projekte, die sich mit einer satellitengestützten Ansteuerung von Bahnübergängen beschäftigten – „LeCross“ und „Level Crossing Attention Device“.

Intention der Machbarkeitsstudie „LeCross“ war die Implementierung von technisch gesicherten Bahnübergängen in abgelegenen Regionen. In diesen Gebieten ist eine Ausstattung mit BÜSA kostspielig, da eine Anbindung an das Energieversorgungsnetz mit einem hohen Verkabelungsaufwand und damit hohen Kosten verbunden ist. Aufgrund der fehlenden Wirtschaftlichkeit werden viele Bahnübergänge bei einem geringen Straßen- und Schienenverkehrsaufkommen nichttechnisch gesichert.

Mithilfe von Satellitennavigation und -kommunikation soll gem. [26] eine kontinuierliche und präzise Ortung der Schienenfahrzeuge sowie die Quantifizierung der Geschwindigkeit des Sfz erfolgen und an die BÜSA-Steuereinheit übertragen werden. Eine notwendige Warnung wird über BÜSA-Funktionseinheiten (z. B. Lz), welche ohne äußere Energieversorgung ausgestattet sein sollen, an den SVT übermittelt.

Das „Level Crossing Attention Device“ arbeitet ebenfalls mit einer satellitengestützten Ortung und wird in [2] kurz beschrieben. Dabei sendet ein in Schienenfahrzeugen installiertes GPS-Gerät stets aktuelle Standortdaten. Nähert sich ein Schienenfahrzeug einem (nichttechnisch gesicherten) Bahnübergang, so wird dies durch das eingesetzte GPS-Ortungssystem erkannt, sodass Straßenverkehrsteilnehmern durch gelb blinkende LED-Lichter (Light-emitting Diode) die bevorstehende Zugfahrt angekündigt wird und diese ihr Fahrverhalten entsprechend anpassen können. Der Vorteil dieser Innovation besteht darin, dass es sich um ein vergleichsweise einfaches, kostengünstiges System handelt, mit dem die Sicherheit am BÜ erhöht werden kann. Dies belegen erste Tests. Über den Wirkungsgrad bzw. Auswirkungen auf das menschliche Verhalten der Verkehrsteilnehmer liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor, da das System keine zusätzliche physische Barriere, z. B. Schranken, mit sich bringt, sondern nur das menschliche Verhalten durch Ankündigung von Zugfahrten positiv beeinflussen kann.

7.1.3.2 Potential

Die satellitengestützte Ortung als Ein- und Ausschaltmittel für technisch gesicherte Bahnübergänge bietet prinzipiell ein hohes Optimierungspotential. Aufgrund dessen, dass zum Projekt „LeCross“ wenige Informationen hinsichtlich der genauen Systemdefinition oder Implementierung öffentlich zugänglich sind, kann das Potential dessen nicht eindeutig bestimmt werden. Es wurde zwar in der Machbarkeitsstudie eine Erhöhung der Sicherheit sowie eine Kostenreduktion ermittelt, diese sind jedoch nicht begründet rückverfolgbar. Aus diesem Grund wird die satellitengestützte Ortung für BÜSA, wie sie bei „LeCross“ untersucht wurde, nicht weiter als Maßnahme, die Potential besitzt, betrachtet. Nichtsdestotrotz erfolgt im Kapitel 8.3.2 eine weitere Evaluierung der satellitengestützten Ortung.

Beim „Level Crossing Attention Device“ verdeutlicht die zur Verfügung stehende Quelle, dass durch den Einsatz der GPS-basierten Ortung in Kombination mit zusätzlichen Blinklichtern an nichttechnisch gesicherten BÜ die Verkehrssicherheit erhöht werden kann, indem Straßenverkehrsteilnehmer aktiv über bevorstehende Zugfahrten informiert werden und ihr Verhalten

ten anpassen können (Vorrang gewähren). Weitere Präzisierungen fehlen bisher, hier gilt es Veröffentlichungen zu Ergebnissen von Langzeittest abzuwarten.

7.1.3.3 Sicherungsarten

Die stellvertretend vorgestellten Projekte scheinen grundsätzlich sowohl für technisch gesicherte BÜ („*LeCross*“) als auch nichttechnisch gesicherte BÜ („*Level Crossing Attention Device*“) geeignet zu sein.

Während beim zuerst genannten System durch Einsparung der Verkabelungskosten zu den aufgrund der satellitenbasierten Ortung nicht mehr erforderlichen Einschaltensensoren geringere Ausrüstungskosten für BÜSA erwartet werden, führen die nach „*Level Crossing Attention Device*“ zusätzlich erforderlichen Blinklichter wiederum zu höheren Ausstattungskosten an nichttechnisch gesicherten BÜ.

7.1.3.4 Sicherheit

Während die nach „*LeCross*“ vorgesehene satellitenbasierte Ortung nur eine andere Form der BÜSA-Einschaltung bei technisch gesicherten BÜ darstellt und keine Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit an BÜ hat, zeigen erste Versuche des Projekts „*Level Crossing Attention Device*“, dass durch die zusätzlichen Blinklichter die Sicherheit an nichttechnisch gesicherten BÜ erhöht werden kann. Dies gilt jedoch nur, wenn die Straßenverkehrsteilnehmer das „*technische Hilfsmittel*“ zur Ankündigung sich dem BÜ nähernder Schienenfahrzeuge wahrnehmen und bereit sind, ihr Verhalten anzupassen. Vorsätzliches Fehlverhalten kann damit nicht ausgeschlossen werden, weiterhin sind die Langzeitwirkungen noch zu untersuchen.

7.1.3.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Grundsätzlich scheint der Einsatz der satellitengestützten Ortung auch in Deutschland geeignet. Aufgrund der bisher nur recht spärlich vorhandenen Erfahrungen und Literaturquellen empfiehlt es sich, weitere Erfahrungen und Langzeittests abzuwarten.

Zudem befindet sich das europäische Satellitenortungssystem Galileo noch im Aufbau. Mit diesem System soll perspektivisch eine sichere Ortung von Schienenfahrzeugen mit dem erforderlichen Genauigkeitsgrad möglich sein. Auch hier fehlt es bisher an belastbaren Informationen.

Aufgrund des erkennbar vorhandenen Potenzials der satellitengestützten Ortung findet diese Maßnahme bei der Nutzwertanalyse für nichttechnisch gesicherte BÜ Berücksichtigung.

7.1.4 Warnsysteme im Pkw

7.1.4.1 Beschreibung

Mit dem technischen Fortschritt gehen Entwicklungen in den vergangenen Jahren auch in die Richtung, zusätzliche Systeme in Straßenfahrzeugen, insbesondere Personenkraftwagen (Pkw), zu installieren, die auch die Sicherheit an BÜ erhöhen, indem Straßenverkehrsteilnehmer vor einem BÜ und sich nähernden Schienenfahrzeugen gewarnt werden.

Stellvertretend sollen hierfür zwei ausländische Projekte aus Kanada („*Train Early Detection Device*“) [27] und Finnland [28] vorgestellt werden.

Ziel des „*Train Early Detection Device*“ ist es, SVT durch zusätzliche Anzeigen im Pkw-Führerraum direkt vor einem BÜ über tatsächlich bevorstehende Zugfahrten optisch sowie akustisch zu warnen. Damit können diese ihr Verhalten anpassen und folglich BÜ-Unfälle reduziert werden. Der Systemansatz basiert auf einer drahtlosen Empfänger-Transmitter-Methodik. Ein „*Alarm*“ wird über das Fahrzeug-Audio-System bzw. Center-Monitor-Panel ausgegeben, sodass es klar wahrnehmbar ist.

Ziel des finnischen Fahrzeugwarnsystems ist ebenfalls die Ankündigung von sich dem BÜ nähernden Sfz als querende Kreuzungspartner gegenüber Straßenverkehrsteilnehmern anzu-

zeigen. Dazu werden die Koordinaten aller BÜ im straßenfahrzeugeigenen System hinterlegt. Über GPS-Ortung wird dem Straßenverkehrsteilnehmer dann die Annäherung an einen BÜ angekündigt und gleichzeitig über einen zentralen Server in Echtzeit abgeprüft, ob sich dem konkreten Bahnübergang ein Schienenfahrzeug nähert, sodass es möglicherweise zur Konfliktsituation käme. Als Ergebnis der auf Basis von Abstandsmessungen stattfindenden Statusprüfung kommen „keine Information“, „Annäherung“, „Alarm“ und „Passiert“ in Frage. Bei einem Abstand zwischen Fahrzeug und BÜ von 200 – 1.500 m wird dem sich dem BÜ nähernden SVT dieser angekündigt. Bei einem Abstand von weniger als 200 m erfolgt eine visuell und akustisch ausgegebene Warnung, wenn die Prüfung den Status „Alarm“ ergeben hat.

Eine vereinfachte Systembeschreibung verdeutlicht Abbildung 32.

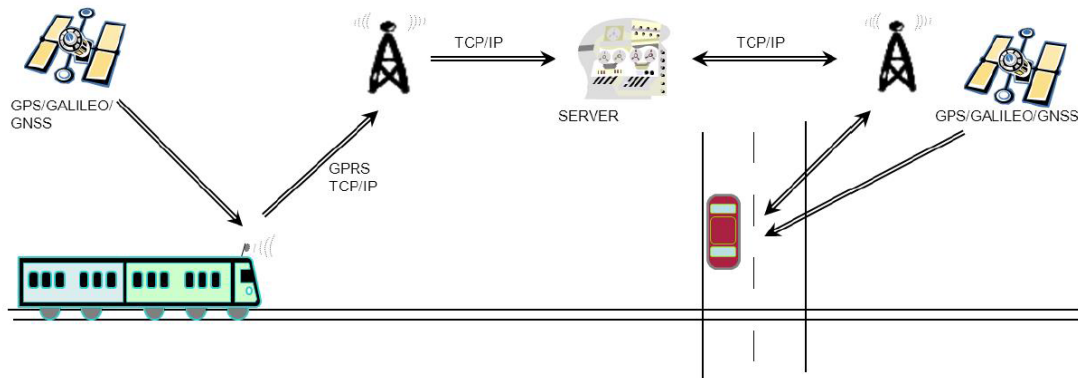


Abbildung 32: Vereinfachte Systemarchitektur „Fahrzeug-Warnsystem für Bahnübergänge“ [28]

7.1.4.2 Potential

Aufgrund der Systemkonzeption des „Train Early Detection Device“ kann die Verkehrssicherheit an BÜ erhöht werden. Aufgrund der dafür einzukalkulierenden Ausrüstungskosten liegt ein flächendeckender Einsatz des Systems in weiter Ferne, da noch für längere Zeit mit „Altfahrzeugen“ im Straßenverkehr gerechnet werden muss. Jedoch wird auch erwartet, dass innovative Automobilhersteller, die das System fahrzeugseitig einbauen und damit zu einem Sicherheitsgewinn beitragen, einen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen haben.

Auch das finnische Fahrzeugwarnsystem für BÜ kann grundsätzlich die Sicherheit an Bahnübergängen erhöhen. Anhand der vorliegenden Quellen und darin ausgegebenen Systembeschreibungen scheint der Systemaufbau komplizierter (Serverstruktur, Fahrzeugausrüstungen) und damit kostspieliger zu sein als andere Systeme. Die vorliegende Studie beschäftigte sich zudem vorrangig mit der Zuverlässigkeit der Ausgabe der „Alarm-Signale“ und weniger mit Auswirkungen zum Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer. Entsprechend des Untersuchungsschwerpunktes besteht noch weiterer Entwicklungsbedarf, da die Zuverlässigkeit nicht die gewünschten Werte/Genauigkeiten hervorbrachte.

7.1.4.3 Sicherungsarten

Aus den knappen Beschreibungen zum „Train Early Detection Device“ geht nicht konkret hervor, für welche Art von BÜ dieses vorgesehen ist. Unter Berücksichtigung der hervorgebrachten Fakten scheint ein Einsatz sowohl an technisch gesicherten als auch nichttechnisch gesicherten BÜ sinnvoll.

Das finnische Fahrzeugwarnsystem ist aufgrund der Systemkonzeption sowohl für technisch als auch nichttechnisch gesicherte BÜ geeignet und sollte bzgl. der resultierenden Effekte auf die Verkehrssicherheit in aufbauenden Studien weiter untersucht werden.

7.1.4.4 Sicherheit

Durch den Einsatz von „*Train Early Detection Device*“ kann die Verkehrssicherheit an BÜ erhöht werden, wenn Fahrzeugführer die Warnungen vor sich nähernden Sfz wahrnehmen und ihre Verhaltensweisen anpassen. Die Initiatoren gehen davon aus, dass „*hunderte Leben*“ [28] gerettet werden können. Dies scheint etwas übertrieben, aber der potenzielle Sicherheitsgewinn kann nicht wegdiskutiert werden.

Gleichermaßen kann auch mit dem finnischen System die Verkehrssicherheit an BÜ erhöht werden, auch wenn diese Effekte bisher nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen standen. Die zusätzlichen optischen wie akustischen Warnungen können Straßenverkehrsteilnehmer in ihren Verhaltensweisen an BÜ unterstützen und damit Unfälle aufgrund von Fahrlässigkeit reduzieren. Vorsätzliches Fehlverhalten lässt sich mangels zusätzlicher physischer Barrieren nicht ausschließen. Weitere Untersuchungen sollten sich mit sicherheitlichen bzw. verhaltensspezifischen Auswirkungen beschäftigen und scheinen bereits gestartet.

7.1.4.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Kurzfristig und unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Folgen, insbesondere der erforderlichen Fahrzeugausrüstungen, kann der Einsatz des „*Train Early Detection Device*“ nicht empfohlen werden. Langfristig und aufgrund des offensichtlichen Beitrags zur Erhöhung der Verkehrssicherheit an BÜ sollten weitere Entwicklungen im Auge behalten und ggf. in Kooperation mit den Automobilherstellern für den Einsatz in Deutschland getestet werden.

Ein ähnliches Fazit lässt sich für das finnische Fahrzeugwarnsystem für BÜ ziehen. Aufgrund des momentanen Forschungsstandes kann ein Einsatz in Deutschland unter Abwägung wirtschaftlicher wie sicherheitlicher Auswirkungen nicht empfohlen werden. Zukünftige Ergebnisse weiterer Studien sollten aber im Auge behalten werden.

Im weiteren Verlauf dieser Untersuchung sollen diese Art von Maßnahmen nicht weiter betrachtet werden.

7.1.5 Kosten- und Energieeffizienz bei technisch gesicherten Bahnübergängen

7.1.5.1 Beschreibung

Stellvertretend für verschiedene im Ausland angeschobene Projekte zur Entwicklung kosten- und energieeffizienter BÜSA soll an dieser Stelle das in Spanien entwickelte „*Level Crossing Protection System (SPN-900)*“ vorgestellt werden. [2] [29]

Bei der technischen Innovation handelt es sich um modular aufgebaute SIL 4-Anlagen für technisch zu sichernde Bahnübergänge. Hinsichtlich ihrer Komplexität entsprechen sie einem mittleren Entwicklungsaufwand, weisen aber eine gute Effizienz bei der Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den gesamten Lebenszyklus auf.

Ein wesentlicher Vorteil besteht im modularen Aufbau der BÜSA mit allen erforderlichen Komponenten wie Sensoren, Lichtzeichen, Schranken und sonstige Signalanlagen. Diese können auf den konkreten BÜSA-Anwendungsfall sowie Kundenwünsche angepasst werden. Der Einsatz von Solarzellen zur Energieversorgung der Komponenten verdeutlicht gleichermaßen die Umweltfreundlichkeit wie die 100%ige Wiederverwendbarkeit. Die Verbindung der BÜSA-Komponenten kann sowohl auf herkömmlichen Kabelwegen als auch per Funk erfolgen.

Hinsichtlich des Innovationsgrades wird es seitens des Herstellers als das fortschrittlichste am Markt verfügbare Produkt für BÜSA angepriesen, das entsprechend der im Kapitel 5.3 vorgestellten Kostenbestandteile sowohl die Installations- als auch Wartungskosten deutlich reduzieren kann. Konkrete Größenordnungen lassen sich aus den zur Verfügung stehenden Quellen jedoch nicht herauslesen.

7.1.5.2 Potential

Entsprechend der im vorherigen Abschnitt vorgenommenen Systembeschreibung scheint die SPN-900 eine innovative Systemlösung für BÜSA darzustellen, die vor allem die Ausrüstungs- und Wartungskosten deutlich reduzieren kann und aufgrund des modularen Aufbaus für (nahezu) jeden BÜ/Kundenwunsch geeignet ist.

Konkrete Nachweise bleiben die zur Verfügung stehenden Quellen jedoch schuldig.

7.1.5.3 Sicherungsarten

Das System SPN-900 wurde für technisch gesicherte BÜ entwickelt und sollte an solchen zum Einsatz kommen.

7.1.5.4 Sicherheit

Da bei der Entwicklung des SPN-900 die Konzeption eines kostengünstigen, innovativen Systems im Mittelpunkt stand, liegen die Effekte vorrangig im wirtschaftlichen Bereich. Verbesserungen hinsichtlich der Sicherheitsbetrachtungen an BÜ gegenüber herkömmlichen BÜSA lassen sich anhand der Faktenlage nicht erkennen.

7.1.5.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Quellen ist der Einsatz von SPN-900 in Deutschland nicht zu empfehlen, da einerseits zu wenige stichhaltige Fakten hinsichtlich der wirtschaftlichen Effekte hervorgehen und andererseits Zulassungshürden erwartet werden.

Dennoch wäre es ratsam, die (Weiter-) Entwicklungen zu gegebener Zeit erneut zu betrachten und hinsichtlich erwarteter Verbesserungen für den Einsatz in Deutschland abzuwägen.

7.1.6 Videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung

7.1.6.1 Beschreibung

Bei Bahnübergängen mit Vollabschluss (LzV) muss vor Zulassen von Schienenfahrzeugbewegungen der Gefahrenraum auf Freisein von Hindernissen geprüft werden, was in Deutschland technisch bisher unter dem Einsatz von Radarsensoranlagen, Induktionsschleifen oder Infrarot-Lichtschranken erfolgt. Videotechnik wird in Form von Fernbeobachtungsanlagen bislang nur zur Unterstützung der visuellen Gefahrenraumfreimeldung durch Bahnbedienstete eingesetzt.

Im Rahmen des Projektes „*BEGICROSSING*“ soll nun der Einsatz von Videotechnik zur automatischen Gefahrenraumfreimeldung in Spanien erprobt werden. [2] [30]

Folgende Zielstellungen verfolgt diese technische Innovation:

- Hinderniserkennung im Gefahrenraum,
- Identifikation von Fehlfunktionen der BÜSA-Komponenten.

Bei Identifizierung von Konfliktsituationen können in Echtzeit Alarmmeldungen ausgegeben und zeitnah Gegenmaßnahmen in die Wege geleitet werden.

Nebeneffekte für den Infrastrukturbetreiber stellen einerseits die Verwendung der Videobilder zur Live-Beobachtung von Verkehrssituationen dar, andererseits die Verwendung von Aufzeichnungen für forensische Analysen.

7.1.6.2 Potential

In den zur Verfügung stehenden Quellen werden der technologische Entwicklungsaufwand als mittel beschrieben und die wirtschaftlichen Vorteile als kostengünstige und kosteneffiziente Maßnahme hervorgehoben. Neben der Erhöhung der Sicherheit an BÜ allgemein werden durch diese innovative Lösung auch positive Einflüsse auf das Nutzerverhalten erwartet, da

(Fehl-) Verhaltensweisen in Echtzeit verfolgt und aufgezeichnet werden können. Die Auswertung von „*Konfliktsituationen*“ kann einen Beitrag zur Erforschung menschlicher Sozialverhaltensweisen zum Ziel der weiteren Erhöhung der Sicherheit leisten.

7.1.6.3 Sicherungsarten

Die videogestützte Gefahrenraumüberwachung im Rahmen von „*BEGICROSSING*“ ist für technisch gesicherte Bahnübergänge mit Vollabschluss vorgesehen. Grundsätzlich wäre der Einsatz auch an anderen technisch gesicherten BÜ denkbar, um dort ebenso die Zielstellungen der Funktionsüberwachung und Verhaltensforschung zu verfolgen und die Verkehrssicherheit zu erhöhen, z. B. Reduzierung von Halbschrankenumfahrungen in Kenntnis der Verkehrsteilnehmer, dass ihr Verhalten am BÜ aufgezeichnet und Regelverstöße geahndet werden.

7.1.6.4 Sicherheit

Durch den Einsatz der videogestützten Gefahrenraumfreimeldung wird nach Auswertung der Quellen eine Erhöhung der Sicherheit an BÜ erwartet. Nach fachlicher Einschätzung betrifft dies vor allem den Fakt der verkehrserzieherischen Wirkung, in dem Straßenverkehrsteilnehmer (vorsätzliches) Fehlverhalten reduzieren aufgrund der Kenntnis, dass dieses per Videotechnikeinsatz jederzeit rückverfolgbar ist und auch nachträglich geahndet werden kann.

Aus technischer Sicht bleibt das Sicherheitsniveau gegenüber den bisher eingesetzten Technologien, z. B. Radarsensoranlagen, unverändert.

7.1.6.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Der vorgestellte Systemansatz mit den verfolgten Zielstellungen ist grundsätzlich auch für Deutschland als mögliche Alternative zur bisherigen Standardlösung (Radartechnik) interessant. Einsatzerfahrungen aus Spanien oder anderen Ländern sollten eingeholt und auf Übertragbarkeit geprüft werden.

Vor allem aus datenschutzrechtlicher Sicht könnten Probleme bei der Zulassung des neuen Systems in Deutschland entstehen, wenn jeder BÜ-Nutzer registriert und dessen Nutzerverhalten aufgezeichnet wird. Dennoch scheint dies kein aussichtsloses Unterfangen, da Fernbeobachtungsanlagen zur manuellen Gefahrenraumfreimeldung bereits in Deutschland eingesetzt werden und es sich andererseits bei BÜSA auch um Betriebsanlagen des Infrastrukturbetreibers handelt, für die eine Videoüberwachung z. B. zur Funktionskontrolle, einfacher durchsetzbar ist.

Die videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung wird im Rahmen der NWA an geeigneter Stelle berücksichtigt (siehe Kapitel 9.9).

7.1.7 Rundumleuchte

7.1.7.1 Beschreibung

Zu den von der Japanischen Nationalbahn in den vergangenen Jahren vorangetriebenen Neuentwicklungen zur Reduzierung von BÜ-Unfällen und damit Erhöhung der Sicherheit gehört auch der Einsatz von Rundumleuchten an technisch gesicherten BÜ. [31]

Ziel der 360°-Leuchte ist es, die Erkennbarkeit von BÜ-Warnlichtern zu erhöhen. Dazu wurden seit 2017 rund 3.100 BÜ mit dieser Innovation ausgerüstet (siehe Abbildung 33).

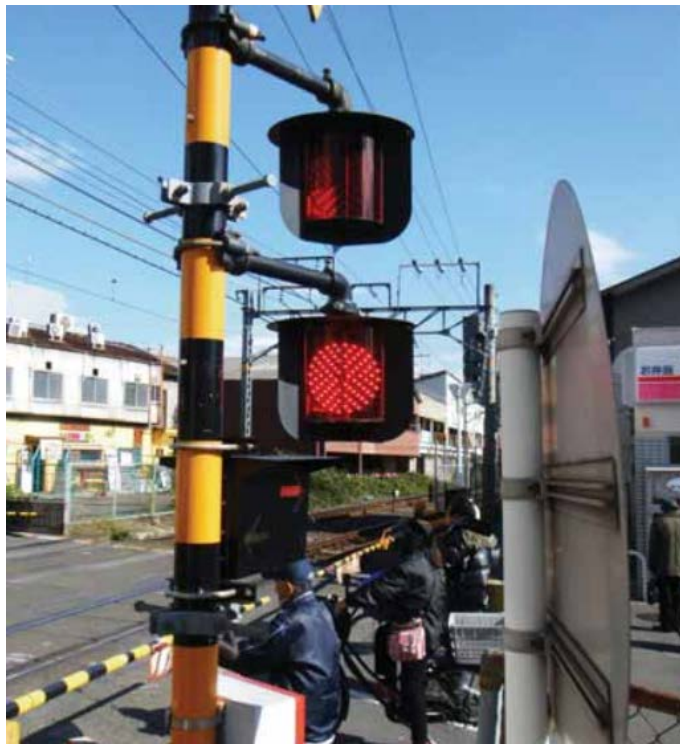


Abbildung 33: 360°-Leuchte am BÜ in Japan [31]

7.1.7.2 Potential

Durch die 360°-Rundumleuchte kann die Sichtbarkeit von BÜ-Warnlichtern verbessert werden. Zudem bieten sie das Potenzial, auf zusätzliche Lichtzeichen für im BÜ-Umfeld einmündende Straßen verzichten zu können, da eine Einschränkung der Sichtbarkeit nur durch Umfeldbebauungen möglich ist.

Prinzipiell gibt es zwei Einsatzmöglichkeiten der Rundumleuchte. Bei Bahnübergängen in der unmittelbaren Nähe von Bahnübergängen kann der Einsatz von Rundumleuchten zur Reduktion von zusätzlichen Lichtzeichen beitragen. Dies verdeutlicht Abbildung 34.

In dieser Ausprägung muss die Rundumleuchte allerdings mit gleicher Sicherheit wie die Lichtzeichen (ohne Schranken oder Halbschranken) gestaltet und betrieben werden. Bei einer Sicherung durch Lichtzeichen mit Überwachungssignal besteht ein Sicherheitsziel für die Lichtzeichen von $3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ je Zufahrt zum BÜ [32]. Dies würde ebenso für die Rundumleuchte gelten. Weiterhin ist die sicherheitsrelevante Erkennbarkeit der Rundumleuchte in der einmündenden Straße nachzuweisen. Aus den genannten Gründen wird in der weiteren Untersuchung ausschließlich die zusätzliche Ausstattung von Rundumleuchten am BÜ zu Sicherheitserhöhung betrachtet.

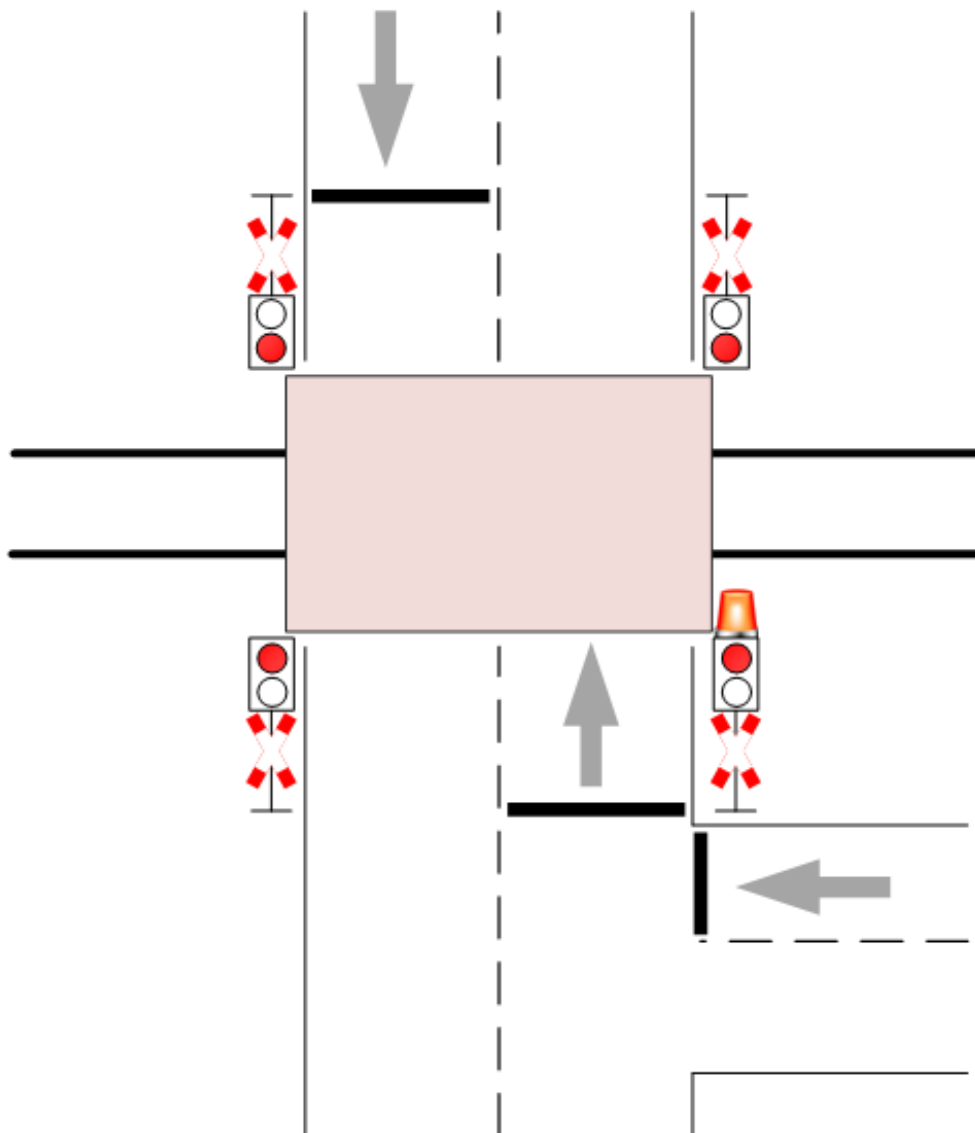


Abbildung 34: Prinzipskizze Rundumleuchte bei einmündender Straße am BÜ

Ferner besteht die Möglichkeit Rundumleuchten als Ersatz für das Überwachungssignal einzusetzen. Bei sehr einfachen Verhältnissen (geringe Geschwindigkeit der Sfz sowie gute Sicht über die Eisenbahnstrecke) kann bei eingeschalteter Rundumleuchte der Triebfahrzeugführer die korrekte Sicherung des BÜ durch das Leuchten der Rundumleuchte detektieren. Hierfür wird der technisch gesicherte BÜ lediglich mit der Rundumleuchte ausgestattet. Die zwei Lichtzeichen je Fahrtrichtung sowie das Überwachungssignal können in diesem Anwendungsfall eingespart werden. Sofern der BÜ nicht korrekt gesichert ist, leuchtet die Rundumleuchte nicht auf und der Triebfahrzeugführer kann dies ebenfalls registrieren und entsprechend eine Bremsung einleiten. Dies wurde bereits in der Risikoanalyse für elektronische Bahnübergangssicherungstechnik [32] betrachtet. Die Rundumleuchte muss in diesem Fall einem Sicherheitsziel von $3 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ genügen. Hierbei geht man davon aus, dass die Rundumleuchte das einzige Wegelement ist.

In der NWA werden die differenten Einsatzmöglichkeiten nicht weiter unterschieden. Für die Überprüfung der rechtlichen Vereinbarkeit (siehe Kapitel 11.1) erfolgt jedoch eine Differenzierung.

7.1.7.3 Sicherungsarten

Diese innovative Maßnahme eignet sich grundsätzlich für alle technisch gesicherten Bahnübergänge, die mindestens mit Lichtzeichen ausgerüstet sind.

7.1.7.4 Sicherheit

Die angestrebte bessere Sichtbarkeit der Warnlichter wurde durch die Testinstallationen bestätigt. Weitere Effekte zum Einfluss auf das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer, die Unfallstatistik bzw. allgemein die Verkehrssicherheit gehen aus den Quellen nicht hervor. Hierfür sind weitere Studien notwendig.

7.1.7.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Aufgrund fehlender stichhaltiger Fakten zum Einsatz und den Auswirkungen der 360°-Rundumleuchte kann ein Einsatz für Deutschland nicht ohne weiteres empfohlen werden. Zur abschließenden Beurteilung sind Ergebnisse empirischer Untersuchungen unabdinglich. Gegebenenfalls ließe sich die Anzahl zusätzlicher Lichtzeichen für im BÜ-Bereich einmündende Straßen reduzieren, jedoch wären auch die Auswirkungen auf das BÜ-Umfeld, z. B. Blendwirkung für nahe Wohnbebauungen, zu analysieren.

Trotz der wenigen in der Literaturquelle zur Verfügung stehenden Informationen wird diese Maßnahme wegen des grundsätzlich erkennbaren Verbesserungspotenzials bei der Nutzwertanalyse berücksichtigt.

7.2 Änderung von Projektierungsgrundsätzen

7.2.1 Low-Cost-Anlagenkonzepte

7.2.1.1 Beschreibung

Zur Reduzierung der Kosten von Bahnübergängen wurden durch eine Arbeitsgruppe in der Schweiz verschiedene sogenannte „*schlanke Anlagenkonzepte*“ erarbeitet. Diese sind speziell für BÜ mit niedrigem Straßenverkehrsaufkommen geeignet. Im Ergebnis wurden drei Typen von Anlagen erarbeitet, welche die Bezeichnung „*Mini*“, „*Midi*“ und „*Maxi*“ tragen. Bereits im Jahr 2006 wurden solche Low-Cost-BÜ „*mit Typzulassung auf [den] Markt*“ [33] gebracht. Sie bewirken eine Kostenreduktion von 20 – 30 % im Vergleich zur Ausgangssituation (siehe [33]).

In einem weiteren Schritt wurde für noch einfachere Verhältnisse der Typ „*Micro*“ entwickelt. Die verschiedenen Konzepte sind in Tabelle 7 aufgeführt:

Anlagentyp	Einsatzkriterien	Straßenverkehrsaufkommen
Maxi (keine Detaillierung)	Bahnhof und freie Strecke, Geschwindigkeit der Sfz: ≤ 160 km/h	keine Grenze
Midi (Blinklichter und Halbschranken)	ingleisige Strecke, Geschwindigkeit der Sfz: ≤ 140 km/h	keine Grenze
Mini (Blinklichter ohne Schranken)	ingleisige Strecke, Geschwindigkeit der Sfz: ≤ 100 km/h	schwach (max. 6 Kfz pro Betriebsstunde)
Micro (Blitzlichter und Warnanzeige)	ingleisige Strecke, Geschwindigkeit der Sfz: ≤ 100 km/h	sehr schwach (ohne Angabe)

Tabelle 7: Typenübersicht der BÜ-Anlagen nach [33]

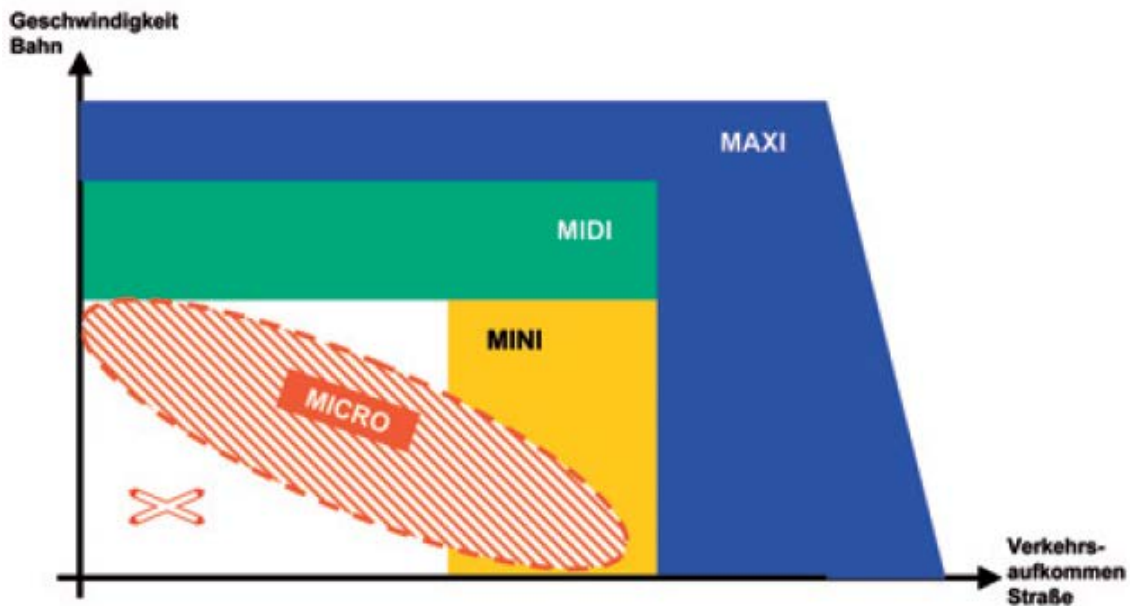


Abbildung 35: Einordnung der BÜ-Anlagentypen [33]

Abbildung 35 zeigt das Einsatzfeld der einzelnen BÜ-Anlagentypen im Spannungsfeld zwischen Straßenverkehrsaufkommen und Geschwindigkeit der Schienenfahrzeuge.

Während Maxi, Midi und Mini zu den im Vergleich mit Bestandssystemen herkömmlichen BÜ-Sicherungen gehören, stellt die Anlage Micro eine technische Innovation dar, die im Folgenden näher vorgestellt werden soll.

Die Micro-Anlage wird durch Überfahren von Gleisschaltmitteln an- und ausgeschaltet. Sie besitzt rote Blitzlichter anstelle der üblichen Blinklichter, welche mit Glühlampen ausgestattet sind, und folgende Vorteile besitzen:

1. eine längere Lebensdauer sowie
2. eine bessere Erkennbarkeit des Blitzlichts.

Im Falle der aktivierten Blitzlichter hat der SVT vor dem BÜ anzuhalten und den Sfz Vorrang zu gewähren, d. h. die Blitzlichter haben die Bedeutung des roten Lichtzeichens an technisch gesicherten BÜ. Unterhalb des Blitzlichts ist ein Wechselverkehrszeichen angebracht, mit dem alternierend Abbildungen, Texte oder Piktogramme angezeigt werden können (siehe Abbildung 36).



Abbildung 36: Wechselverkehrszeichen bei Störung [34]

Auf eine Anbindung der Micro-Anlage an das Stellwerk bzw. in die Sicherungslogik wird zur Reduzierung der Kosten verzichtet. Aus diesem Grund besteht im Störfall der Anlage keine Kommunikationsmöglichkeit zur Sicherungslogik oder zum Schienenfahrzeug. Mittels Wechselverkehrszeichen kann bedarfsweise eine Störungsmeldung der Anlage an den SVT übermittelt werden. Dieser hat sich im Störfall selbst zu sichern, indem er aktiv nach sich dem BÜ nähernden Sfz sucht und ggf. Vorrang gewährt. Damit wirkt die Micro-Anlage in diesem Fall wie ein nichttechnisch gesicherter BÜ.

Eine Pilotanlage vom Typ Micro zeigt Abbildung 37:



Abbildung 37: Micro-Anlage im Pilotversuch [33]

Die Kosten einer Micro-Anlage werden nach [33] auf unter 65.000 EUR geschätzt. Hierbei sind jedoch keine Kosten für die Herstellung der Stromversorgung enthalten, welche den Preis je Anlage noch deutlich steigern. Nach Schätzungen wird daher eine Micro-Anlage insgesamt mehr als 100.000 EUR beanspruchen.

Es gilt zu beachten, dass dieses Anlagenkonzept nicht als Ersatz bestehender technisch gesicherter BÜ eingesetzt wird. Vielmehr bestehen die vorgesehenen Anwendungsfälle darin, sehr schwach befahrenen BÜ eine kostengünstige Alternative zur Sicherheitserhöhung an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen ohne Einsatz einer klassischen BÜSA (im Sinne technischer Sicherung) zu bieten. [33] [34]

Aktuellere Quellen wie [35] zeigen, dass die Micro-Anlage umfassend weiterentwickelt worden ist. Die Signalisierung wird über eine herkömmliche LSA, wie sie aus dem Straßenverkehr bekannt ist, realisiert. Nähert sich kein Sfz, zeigt diese grünes Licht. Im Falle der Annäherung eines Sfz wechselt sie über gelb auf rotes Licht. Bei störungsbedingter Nichtverfügbarkeit der Anlage, blinkt das gelbe Licht und der SVT muss den BÜ selbst durch die Übersicht sichern. Die Lichtsignalanlage verhält sich somit identisch zu Anlagen im Straßenverkehr. Dies führt zu der Annahme, dass die SVT die Symbolik automatisch richtig einzuordnen wissen. Gleichzeitig entfällt mit dieser Weiterentwicklung, die Notwendigkeit des Lesens eines hochgradig sicherheitsrelevanten Wechselverkehrszeichens am BÜ. Die Einsatzbedingungen für Micro-Anlagen werden klar definiert; Details verdeutlicht Tabelle 8.

Kategorie	Ausprägung
Verkehrsaufkommen	max. 8 Personen und 6 Fahrzeug/4 h
Geschwindigkeit Schiene	max. 100 km/h
Streckenart	eingleisige Strecke
Stationierung	min. 500 m von einer Weiche entfernt
Verfügbarkeit	max. 1 Ausfall pro Jahr
Übersicht	muss vorhanden sein

Tabelle 8: Einsatzbedingungen für eine Micro-Anlage nach [35]

Für diese weiterentwickelte Ausführung der Micro-Anlage liegt ein positiver Bescheid schweizerischer Aufsichtsbehörden vor. Im Störfall, der höchstens einmal im Jahr auftreten darf, wird angedacht, dass die Anlage über SMS oder Mailserver Kontakt zum Instandhaltungspersonal herstellt, sodass sie zügig wieder in Einsatzbereitschaft versetzt werden kann.

7.2.1.2 Potential

Mittels der Anlagentypen Maxi, Midi und Mini kann eine Kostenreduktion infolge der individuellen Ausführung bzgl. des vorgesehenen Sicherungsszenarios und der konzeptionell flexiblen Modulbauweise gleicher Komponenten erreicht werden. Da die drei Anlagentypen keine technischen Innovationen im Sinne technisch gesicherter BÜ darstellen, sollen sie nicht weiter betrachtet werden. Einzig die Anlage vom Typ Micro soll Gegenstand vertiefender Betrachtungen sein.

Der Inselbetrieb, d. h. keine Einbindung in die Sicherungslogik, vereinfacht eisenbahnseitig die Implementierung, da lediglich Gleisschaltmittel mit der BÜ-Anlage verbunden werden müssen. Bei der Kostenangabe für eine Micro-Anlage nach [33] gilt jedoch zu beachten, dass diese die reinen Materialkosten der Anlage berücksichtigen. Ein erheblicher Kostenpunkt – der Verkabelungsaufwand – wird mit dieser Optimierungsmaßnahme nicht umfangreich gesenkt.

Eine Störung der BÜ-Anlage wird ausschließlich dem Straßenverkehrsteilnehmer offenbart. Dies ist eine bisher so nicht vorgefundene Situation, da bei BÜ mit einer technischen Sicherungseinrichtung eine Störung normalerweise dem Fahrdienstleiter oder Triebfahrzeugführer übermittelt wird. So wird eine interimistische Sicherung des BÜ durch eine mobile Postensicherung oder Ersatzsicherung durch den Triebfahrzeugführer, ggf. durch den Fahrdienstleiter veranlasst, realisiert. Bei der Micro-Anlage entspricht der aus Sicht des SVT vermeintlich

technisch gesicherte BÜ nun einem nichttechnisch gesicherten BÜ. Die Sicherungsverantwortung liegt beim SVT, was eine Änderung des Verhaltens induzieren muss. Durch die Neueuerung der gelb blinkenden LSA kann davon ausgegangen werden, dass der SVT aufgrund seiner Erfahrungen im übrigen Straßenverkehr, die Bedeutung versteht und daraus ableitet, dass er vor dem Passieren des BÜ selbst die Strecke beobachten muss. Dies würde er auch bei einer Straßenkreuzung mit gelb blinkender Lichtsignalanlage tun. Da beteiligte Betriebspersonale der Eisenbahn keine Kenntnis über den Ausfall der Anlage besitzen, ist das Ableiten des gebotenen Verhaltens durch das gelbe Blinklicht sicherheitsrelevant. Hierfür müssen die notwendigen Sichtflächen trotz der technischen Sicherung freigehalten werden. Zudem gilt zu beachten, dass in Österreich explizit die Straßenverkehrsordnung angepasst wurde um die Bedeutung des gelben Blinklichts am BÜ hingewiesen einzuführen.

Trotz der vorgetragenen kritischen Punkte besitzen Low-Cost-Anlagen Potential im Sinne der hier angestellten Untersuchung.

7.2.1.3 Sicherungsarten

Für die Einführung von Low-Cost-Anlagenkonzepten kommen primär nichttechnisch gesicherte Bahnübergänge mit geringem Straßenverkehrsaufkommen infrage. Gemäß § 11 Abs. 13 EBO [4] entspricht ein schwaches Verkehrsaufkommen max. 100 Kraftfahrzeuge pro Tag, was bei einer durchschnittlichen Betriebszeit ca. fünf Kraftfahrzeugen pro Stunde hervorbringt. Dieses Straßenverkehrsaufkommen liegt unterhalb der Grenze einer Mini-Anlage (siehe Tabelle 7). Folglich eignen sich grundsätzlich BÜ-Anlagen, welche nach [4] die Klassifikation „*schwach*“ besitzen, für Micro-Anlagen.

Weiterhin kann das Low-Cost-Anlagenkonzept entsprechend der zulässigen Einsatzkriterien auch auf technisch gesicherte Bahnübergänge zur Kostenreduzierung übertragen werden. Hierbei muss jedoch das vorhandene Verkehrsaufkommen beachtet werden.

7.2.1.4 Sicherheit

Eine Änderung von Projektierungsgrundsätzen hinsichtlich der Einführung von Low-Cost-Anlagenkonzepten ist nach initialen Abschätzungen in der Lage, die Sicherheit eines nichttechnisch gesicherten BÜ durch den Einsatz technischer Zusatzkomponenten, z. B. Blitzlichter/LSA bei der Micro-Anlage, zu erhöhen. [33]

7.2.1.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Quellen zur Systemkonzeption und bisheriger Praxiseinsätze können Low-Cost-Anlagenkonzepte auch für BÜ bei den EdB in Deutschland empfohlen werden. Dies betrifft einerseits die Sicherheitserhöhung an nichttechnisch gesicherten BÜ, andererseits könnten technisch gesicherte BÜ mitunter kostengünstiger errichtet und instandgehalten werden.

7.2.2 Wechselverkehrszeichen

7.2.2.1 Beschreibung

Bei dieser Maßnahme wird vor dem BÜ in Fahrtrichtung rechts ein zusätzliches Verkehrszeichen angebracht. Eine installierte Sensorik im Straßenbelag erfasst richtungsselektiv die Annäherung eines Kfz an den BÜ, sodass in der Folge das Zusatzverkehrszeichen für BÜ zu blinken beginnt. Zusätzlich leuchtet die (feste) Distanz des Zusatzverkehrszeichens zum BÜ auf. Ziel des Systems ist es, die Aufmerksamkeit von sich dem BÜ nähernden Kraftfahrzeugführern zu erhöhen. Ein Anwendungsbeispiel des beschriebenen Systems in Österreich mit energieautarker Ausführung zeigt Abbildung 38. Nach [22] betragen die Kosten für die Ausrüstung eines BÜ ca. 12.000 – 15.000 EUR.



Abbildung 38: Wechselverkehrszeichen vor BÜ [36]

7.2.2.2 Potential

Ein wesentlicher Vorteil des Systems besteht in der eisenbahnunabhängigen Installation am BÜ inkl. der Möglichkeit einer autarken Energieversorgung. Dies erübrigt z. B. aufwendige Verkabelungsarbeiten. Vor allem bei für Kraftfahrzeugführer nur schwer erkenn- und einsehbar BÜ, hervorgerufen durch ungünstige Sichtverhältnissen (z. B. Nacht, Nebel) oder die Gestaltung des BÜ an sich (z. B. ungünstige Kreuzungswinkel, Umgebungsbedingungen), kann das Verkehrszeichen durch Blinken und die resultierende Leuchtkraft der LED-Optik die Wahrnehmung des BÜ und die Aufmerksamkeit des Straßenverkehrsteilnehmers erhöhen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, durch die eingebaute Sensorik eine dauerhafte Verkehrsdatenerfassung durchzuführen. Dies bringt den Vorteil mit sich, Verkehrsströme zu registrieren und bei signifikanten Veränderungen zeitnah Maßnahmen in die Wege zu leiten, die einer möglichen sicherheitskritischen Entwicklung entgegenwirken. Beispielsweise kann dies die Anpassung der Sicherungsart bei gestiegenem Straßenverkehrsaufkommen sein.

Negativ in die Bewertung fließt ein, dass ein solches Wechselverkehrszeichen vor dem BÜ bei jeder Annäherung eines Kraftfahrzeugs unabhängig von einer tatsächlich stattfindenden Schienenfahrzeugbewegung blinkt. Bei dieser Installation, die unabhängig von der tatsächlichen Annäherung von Schienenfahrzeugen wirkt, kann sich nach einer anfänglichen Aufmerksamkeitserhöhung somit bei längerer Anwendung ein Gewöhnungseffekt seitens der SVT einstellen. In der Konsequenz rufen das Blinken und die Leuchtschrift des Wechselverkehrszeichens bei ihrer Langzeitanwendung wahrscheinlich keine gesteigerte Aufmerksamkeit mehr hervor. Im ungünstigsten Fall ist es sogar denkbar, dass eine flächenhafte Anwendung des Zusatzverkehrszeichens zu einer Verwechslungsgefahr mit der Bedeutung des Blinklichtes bei durch Lz gesicherte BÜ führt.

Für eine Anwendung in Deutschland müsste außerdem die angezeigte Optik an das Verkehrszeichen 151 der StVO [6] angepasst werden.

7.2.2.3 Sicherungsarten

Für die Systemanwendung kommen nur nichttechnisch gesicherte BÜ in Betracht, da für mit Lz ausgestattete BÜSA praktisch kein weiterer Bedarf für ein leuchtendes Verkehrszeichen besteht. Dort wird die tatsächliche Annäherung von Schienenfahrzeugen bereits durch die leuchtenden Lz angekündigt, sodass Straßenverkehrsteilnehmer vor dem BÜ anzuhalten und den Vorrang zu gewähren haben.

7.2.2.4 Sicherheit

Es gilt als sicher, dass ein bei Annäherung an einen BÜ blinkendes bzw. leuchtendes Verkehrszeichen die Aufmerksamkeit eines Kraftfahrzeugführers erhöhen kann. Folglich ist ein Sicherheitsgewinn durch Wechselverkehrszeichen gegeben, wenn dadurch Straßenverkehrsteilnehmer ihre Verhaltensweisen anpassen und aktiv(er) nach sich dem BÜ nähernden Schienenfahrzeugen Ausschau halten. Insbesondere die Langzeitwirkungen derartiger Anordnungen gilt es zu erforschen, da blinkende Verkehrszeichen ohne tatsächlichen Bezug zum Schienenverkehrsaufkommen dazu führen könnten, dass eine Art „Gewöhnungseffekt“ eintritt.

7.2.2.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Unter Berücksichtigung der recherchierten Sachverhalte kann der Einsatz von Wechselverkehrszeichen entsprechend des bisherigen Entwicklungsstandes zur Erhöhung der Sicherheit an BÜ der EdB nicht weiterempfohlen werden. Deswegen sollen sie bei der nachfolgenden NWA keine Rolle spielen.

7.2.3 Fahrbahnlichter

7.2.3.1 Beschreibung

Fahrbahnlichter bilden zusätzlich zur Haltelinie und zum Lz eine optische Schranke für den Kraftfahrzeugführer. Die Fahrbahnlichter werden mit dem Aktivieren der technischen Sicherung eingeschaltet und können wahlweise blinkend oder als Dauerlicht ausgeführt sein.

Abbildung 39 zeigt den vorgesehenen funktionalen Aufbau der BÜ-Anlage. Aufgrund der schaltungstechnischen Einbindung in die BÜ-Anlage sind die Fahrbahnlichter in Grundstellung des BÜ ausgeschaltet.

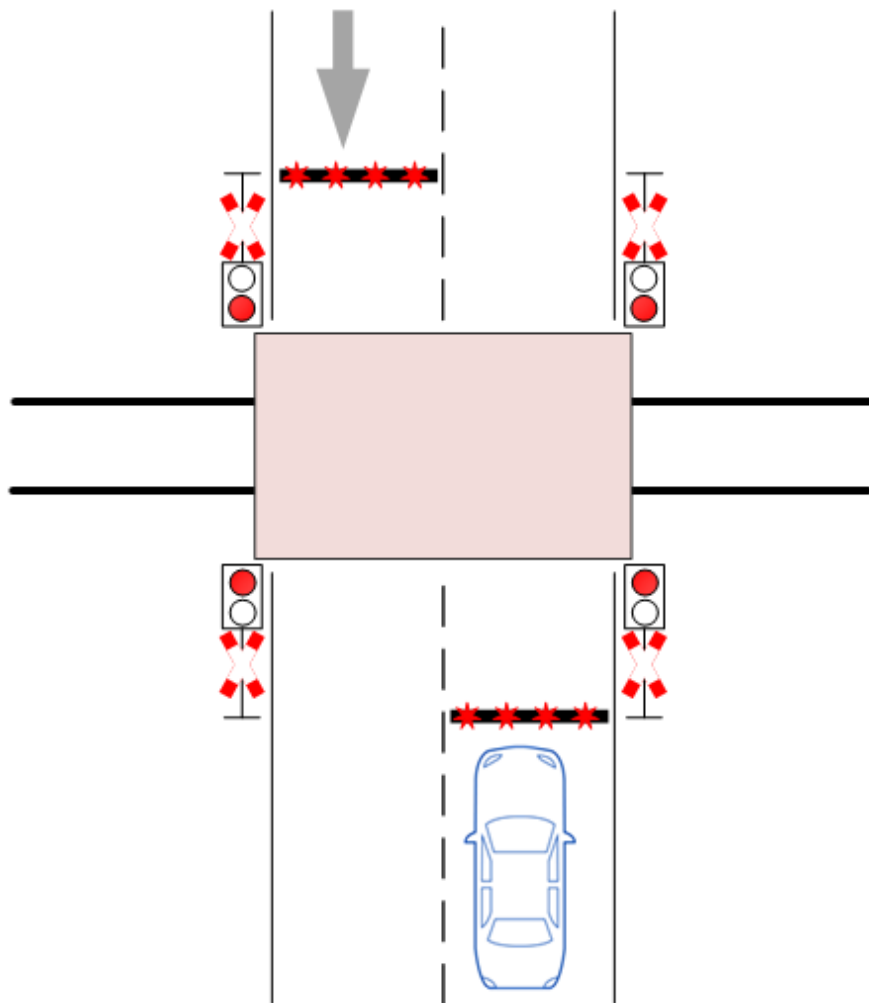


Abbildung 39: *Prinzipskizze Fahrbahnlichter*

Wie Abbildung 40 im rechten unteren Bildrand zeigt, können die Fahrbahnlichter auch vorge- lagert sowie bei einmündenden Straßen installiert werden. Die Fahrbahnlichter sind dabei so angeordnet, dass sie ausschließlich vom SVT wahrnehmbar sind. Das bedeutet, dass der Triebfahrzeugführer von den Lichtern am Boden nicht irritiert werden kann.

Mit den Fahrbahnlichtern soll eine erhöhte Aufmerksamkeit und zusätzliche Vorsicht der Straßenverkehrsteilnehmer erreicht werden. Durch die psychologische Wirkung wird erwar- tet, dass die Wahrscheinlichkeit des regelwidrigen Überfahrens der (leuchtenden) Haltelinie und damit der roten Lz deutlich sinkt und damit die Sicherheit an BÜ erhöht werden kann. Abbildung 40 zeigt ein Anwendungsbeispiel in Österreich. Nach [22] betragen die Kosten für Fahrbahnlichter an einem BÜ ca. 30.000 EUR.



Abbildung 40: Fahrbahnlichter vor dem BÜ [37]

7.2.3.2 Potential

Die Implementierung am BÜ erfolgt als straßenbaulicher Eingriff ohne Auswirkungen auf die Eisenbahninfrastruktur. Die Fahrbahnlichter müssen lediglich in die Schaltung der Lz integriert werden. In ihrer Wirkung machen die Fahrbahnlichter den (gesicherten) BÜ auffälliger und könnten zudem unterstützend dafür sorgen, dass das Haltegebot vom Kraftfahrzeugführer unmissverständlich aufgenommen wird. Die Anordnung der Fahrbahnlichter vor dem BÜ kann variabel erfolgen, sodass beispielsweise an vorgelagerte Haltelinien von BÜ mit Einmündungen auch die (räumenden) Verkehrsströme positiv beeinflusst werden.

Die fahrbahnseitige Installation der zusätzlichen Lichter wird als eher aufwendig angesehen, da diese u. a. den mit dem Straßenverkehr verbundenen Belastungen gewachsen sein müssen, d. h. Langzeitwirkung trotz täglicher Fahrzeugüberfahrten. Auf Flughäfen befinden sich solche in die Fahrbahn eingelassene Lichter als Mittel zur Befeuerng allerdings fortwährend im Bereich des Rollfelds im Einsatz. Aus diesem Grund wird der Einsatz und die Instandhaltung der Fahrbahnlichter für BÜ-Anwendungen als eher unkompliziert erachtet.

7.2.3.3 Sicherungsarten

Die Fahrbahnlichter werden überall dort als sinnvoll erachtet, wo bereits eine technische Sicherung vorhanden ist, aber die Missachtung der Lichtzeichen durch Straßenverkehrsteilnehmer nicht zwingend durch zusätzliche Einrichtungen verhindert werden kann. Folglich eignen sich durch Lz ggf. in Verbindung mit Halbschranken gesicherte BÜ – vor allem solche, an denen häufig durch Straßenverkehrsteilnehmer begangene Verstöße gegen das Haltegebot beobachtet werden.

7.2.3.4 Sicherheit

Die Fahrbahnlichter verstärken das Haltegebot, welches durch Lichtzeichen ohnehin signalisiert wird. Somit kann ein Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit geleistet werden. Diese Annahme gilt es durch empirische Untersuchungen zu bestätigen, ebenso wie die Wirkungsweise bei schwierigen Fahrbahnverhältnissen, z. B. im Winter, zu ergründen.

7.2.3.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Gegen den Einsatz von Fahrbahnlichtern zur Sicherheitserhöhung an BÜ bei den EdB gibt es keine triftigen Einwände zu erheben. Das Verwenden von moderner Lichttechnik hat sich im übrigen Straßenverkehrsraum bereits erfolgreich etabliert, z. B. bei Tunnel, Baustellen oder auch Unfallstellensicherung. Neben einem Sicherheitsgewinn durch den reinen Einsatz von aktuellen Entwicklungen resultierend aus dem technischen Fortschritt trägt mitunter auch ein

gewisses Modernitätsempfinden gegenüber subjektiv veraltet wahrgenommener BÜSA zur Situationsverbesserung bei.

Darüber hinaus bieten moderne Entwicklungen, wie der Lichtfaserbeton, bei welchem Lichtleiterfasern in Betonfertigteilen eingelassen sind, eine perspektivische Modifikation der Fahrbahnlichter.

7.2.4 Fahrbahnteiler

7.2.4.1 Beschreibung

Unmittelbar vor dem BÜ werden die unterschiedlichen Richtungsfahrbahnen durch eine bauliche Einrichtung getrennt. Der wesentliche Vorteil dieser Maßnahme besteht darin, dass diese Barriere nicht einfach wie eine ebenerdige Fahrbahnmarkierung überfahren werden kann. Für die individuelle Ausgestaltung der baulichen Trennung kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage, z. B. Leitplanken, Leitpflocke, Leitbaken oder auch Bepflanzungen. Das wesentliche Ziel der Fahrbahnteiler besteht darin, ein Umfahren der Halbschranken zu verhindern. Die Kosten werden als gering eingeschätzt, ohne diese genau beziffern zu können.



Abbildung 41: Fahrbahnteiler am BÜ [22]

Abbildung 41 zeigt Fahrbahnteiler durch Leitbaken an einem BÜ in den USA. Diese Art der Fahrbahnteiler soll im Folgenden eingehend betrachtet werden, da sie neben einer einfachen Implementierung den Vorteil bieten, dass sie von breiteren Straßenfahrzeugen, z. B. Schwervertransporten, überfahren werden können. Hintergrund dessen ist, dass die Leitbaken mit einem klappbaren Scharnier an der Straßenbefestigung montiert sind und somit bei Bedarf temporär umgeklappt werden können. Zudem bedarf es bei Anwendung dieser Fahrbahnteiler keiner Verbreiterung der Fahrbahn, sofern die Fahrbahn dem Regelquerschnitt genügt. Die Fahrbahnteiler sind lediglich so breit wie die Fahrbahnmarkierung, welche durch die Kraftfahrzeuge ebenfalls nicht überfahren werden darf.

Leitbaken werden bereits erfolgreich bei Straßenbahnen mit straßenbündigem Bahnkörper in Mittellage insbesondere vor Kreuzungen eingesetzt, um eine räumliche Trennung des Bahnkörpers zur Straßenfahrbahn zu realisieren (Vermeidung von einscherenden Kfz in die Fahrbahn der Straßenbahn).

7.2.4.2 Potential

Der Fahrbahnteiler verhindert physisch das Umfahren der Halbschranke durch SVT unter Nutzung der Gegenfahrbahn „im gesperrten Bereich“ vor dem BÜ. Ein wesentlicher Vorteil bei der Installation am BÜ besteht darin, dass nur bauliche straßenseitige Maßnahmen erforderlich werden, ohne in die Sicherungsart am BÜ eingreifen zu müssen.

Aufgrund des erforderlichen baulichen Aufwands kommt ein Fahrbahnteiler nur bei sperrzeitkritischen BÜ in Frage. Dies betrifft BÜ, die eine große Annäherungszeit seitens der Schienenfahrzeuge haben, wodurch nach empirischen Untersuchungen die Wahrscheinlichkeit für

ein Umfahren der Halbschranken steigt. Auch muss die Einhaltung der geforderten Mindestbreite der Fahrstreifen sichergestellt sein. Bei einmündenden Straßen vor dem BÜ kann ein Fahrbahnteiler nicht eingebaut werden ohne die querenden Verkehrsbeziehungen zu verhindern (siehe Abbildung 24). Außerdem stellt er ein Hindernis für Fußgänger dar, sofern nicht Verkehrsinseln zur Erleichterung der Straßenquerung vorgesehen werden.

Vorsätzliches Fehlverhalten von SVT, insbesondere von Fußgängern und Radfahrern, lassen sich jedoch auch durch Fahrbahnteiler nicht verhindern. Der Ausschluss eines solchen vorsätzlichen Fehlverhaltens ist gleichwohl ohnehin so gut wie unmöglich.

7.2.4.3 Sicherungsarten

Für die Ausrüstung mit einem Fahrbahnteiler eignen sich BÜ, die mit Halbschranken gesichert sind und lange Sperrzeiten aufweisen. Ebenfalls können Bahnübergänge mit kürzeren Sperrzeiten aber häufig beobachteten Halbschrankenumfahrungen zu den grundsätzlichen Anwendungsfällen für Fahrbahnteiler gehören.

7.2.4.4 Sicherheit

Laut [22] erzielt ein Fahrbahnteiler eine Reduktion von Unfällen an BÜ mit Halbschranken, die durch Umfahren entstehen. Folglich wurde ein damit verbundener Sicherheitsgewinn bereits praktisch nachgewiesen. Einen weiteren Aspekt der sicherheitlichen Bewertung von Verkehrsabläufen an BÜ stellen Einmündungen im Annäherungsbereich dar. Hier könnte durch die mit dem Fahrbahnteiler verbundene bauliche Barriere ein Beitrag zur Vermeidung von Rückstaus durch „illegale“ Linksabbieger des BÜ-räumenden Straßenverkehrs geleistet werden. Ein Nachteil besteht darin, dass bei solchen Einmündungen in Verbindung mit einem Fahrbahnteiler Straßenverkehrsteilnehmer nur in die jeweilige Richtungsfahrbahn einbiegen können, insofern hierfür keine Lücken im Fahrbahnteiler vorgehalten werden.

7.2.4.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Aufgrund des etablierten Einsatzes von Fahrbahnteilern in anderen Verkehrssituationen, spricht nichts gegen eine Nutzung der Vorteile im Zusammenhang mit dem Verkehrsraum BÜ. Unter Beachtung der üblichen straßenplanerischen Vorgaben können Fahrbahnteiler an Halbschrankenanlagen oder dort, wo Abbiegeverkehr nach einem BÜ verhindert werden soll, uneingeschränkt eingesetzt werden.

7.2.5 Klappbares Hindernis

7.2.5.1 Beschreibung

Durch das Ausfahren einer Klappe, die zuvor in BÜ-Grundstellung Teil der Fahrbahnoberfläche war, wird bei eingeschalteter BÜSA durch diese zusätzliche, physische Barriere die vorhandene Sicherungsart dahingehend unterstützt, dass ein Fehlverhalten der Straßenverkehrsteilnehmer nahezu ausgeschlossen wird. Dies betrifft das fahrlässige oder vorsätzliche Einfahren in den Gefahrenraum trotz bestehendem Haltegebot, welches durch Lz in Kombination mit Schranken signalisiert wird. Die Klappe ist dabei so ausgerichtet, dass sie sich zum BÜ hin aufrichtet (siehe Abbildung 42). Das Wirkprinzip gleicht dem Einsatz von Schranken mit dem Unterschied, dass ein Passieren der Klappe (nahezu) unmöglich ist. Es gibt pro Fahrstreifen und Seite des BÜ eine Klappe, also in der Regel vier Klappen pro BÜ. Die Beschreibung des Systems erfolgte aufgrund fehlender Quellen in deutscher oder englischer Sprache nur anhand von Abbildung 42.



Abbildung 42: Klappbares Hindernis am BÜ [38]

7.2.5.2 Potential

Der wesentliche Vorteil besteht darin, dass die Klappe nur schwer zu überwinden ist und somit eine zwingende Barriere darstellt, welche durch ungeduldige Straßenverkehrsteilnehmer nicht umfahren werden kann.

Demgegenüber wirkt sich die aufwendige Installation in der Fahrbahnoberfläche, die potentiell anfällig für witterungsbedingte Störungen ist, nachteilig aus. Zusätzlich muss beachtet werden, dass vier Klappen zu einer Art Vollabschluss führen, wobei aber eine Räumung aufgrund der Art der Klappeninstallation (vgl. Abbildung 42) möglich sein dürfte. Die Anwendung von nur zwei Klappen zur Unterstützung der Sicherung durch Halbschranken auf der schrankenfreien Seite wäre eventuell sinnvoller. Denkbar wäre auch die Absperrung von einmündenden Straßen mithilfe solcher Klappen.

Da die Klappen baulich errichtet, instandgehalten und in die Sicherungslogik eingefügt werden müssen, sind unter Berücksichtigung der hierfür aufzuwendenden Kosten positive monetäre Effekte gegenüber der Installation einer Schrankenanlage fraglich.

7.2.5.3 Sicherungsarten

Sinnvoll zum Einsatz kommen kann das klappbare Hindernis an allen technisch gesicherten BÜ, wobei es zunächst vorrangig um die Unterstützung bereits durch (Halb-) Schranken vorhandener physischer Barrieren gehen sollte.

7.2.5.4 Sicherheit

Die Auswirkungen des klappbaren Hindernisses auf die sicherheitliche Bewertung lässt sich noch nicht zweifelsfrei abschätzen. Einerseits kann damit ein Umfahren von Halbschranken nahezu ausgeschlossen werden. Andererseits tritt bei Installation der Klappen auf beiden Richtungsfahrbahnen jeweils vor dem BÜ die Wirkung ähnlich eines Vollabschlusses ein, so dass die Räumbarkeit ggf. gefährdet sein könnte und damit der Einsatz einer GFR zu prüfen

wäre. Es wird angenommen, dass die bauliche Konstruktion eine Räumung stets gewährleistet. Damit ließe sich die Sicherheit gegenüber Halbschranken-BÜ zwar erhöhen, aber nur ein Niveau erreichen, das dem eines durch den Einsatz von jeweils zwei Halbschranken erreichbaren Vollabschlusses gleicht, bei mutmaßlich höheren Kostenaufwendungen. Die Maßnahme kann zudem zusätzliche Risiken, wie z. B. einen Zusammenprall von SVT mit dem klappbaren Hindernis, mit sich bringen. Diese Risiken werden aufgrund der fehlenden Quantifizierbarkeit nicht weiter betrachtet.

7.2.5.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Der Einsatz bei EdB ist zu prüfen. Das klappbare Hindernis würde die Einführung einer neuen Barriere am BÜ in Deutschland bedeuten. Installations- und Wartungsaufwand bewegen sich höchstwahrscheinlich in ähnlichen Größenordnungen wie bei Schrankenanlagen. Von einem flächendeckenden Einsatz wird daher abgeraten. BÜ, die besonders durch Halbschrankenumfahrungen auffallen und nicht für den Einsatz eines Fahrbahnteilers geeignet sind, bieten sich für die Ausrüstung mit einem klappbaren Hindernis an. Der Vorteil besteht darin, dass keine GFR installiert werden müsste. Aus diesem Grund wird diese Optimierungsmöglichkeit in der NWA weiter untersucht.

7.2.6 NavTrain

7.2.6.1 Beschreibung

Das Projekt „NavTrain“ verfolgt das Ziel, die Aufmerksamkeit von Straßenverkehrsteilnehmern am Risikopunkt BÜ zu erhöhen und wurde durch eine Kooperation der Firmen Thales und ÖBB Infra ins Leben gerufen. Dabei soll durch die Verknüpfung von Informationen der Eisenbahninfrastruktur (Lage und Zustand des BÜ) mit der Position des SVT eine akustische oder visuelle Warnung auf einem Navigationsgerät oder sonstigem mobilen Endgerät, z. B. Smartphone mit geeigneter Applikation, ausgegeben werden. Als Übertragungsmedium kann das Internet dienen. [39]

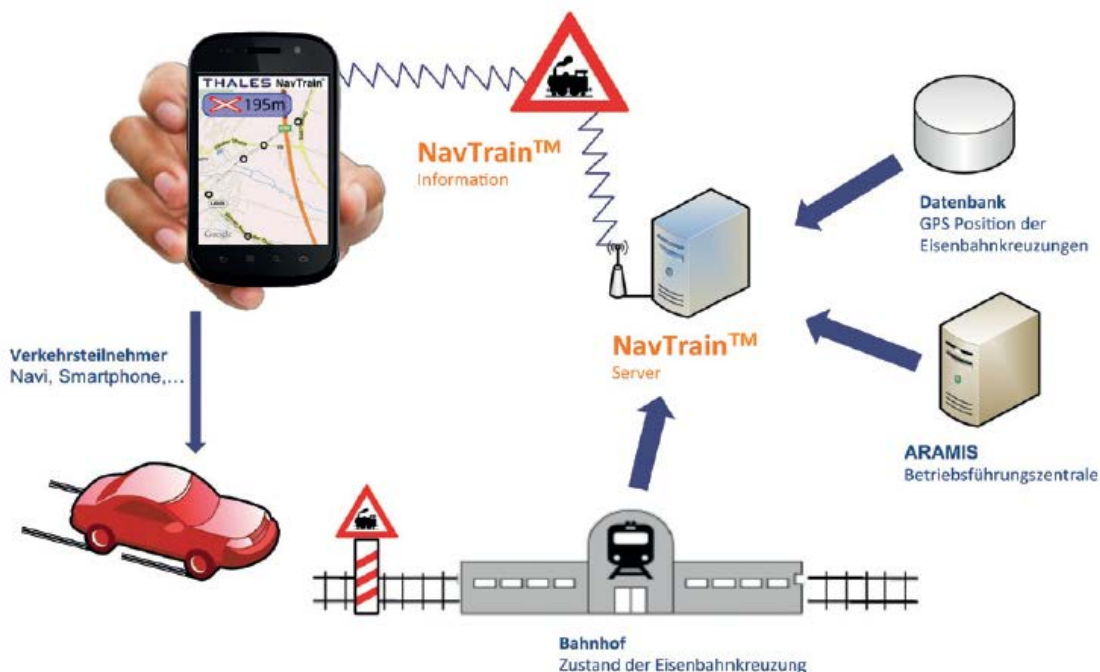


Abbildung 43: Prinzipskizze NavTrain [39]

Abbildung 43 skizziert die Zusammenhänge beteiligter Komponenten und Wirkprinzipien.

7.2.6.2 Potential

Die Innovation nutzt Daten, die bereits eisenbahnseitig vorhanden sind und lässt nun auch den Straßenverkehrsteilnehmer am Informationsgehalt teilhaben. Die Lage von BÜ im Netz (straßenseitig wie eisenbahnseitig) kann dabei aus vorhandenen Infrastrukturdaten für alle BÜ abgegriffen werden. Die Information über den (Sicherungs-) Zustand eines konkret durch den SVT zu befahrenden BÜ liegt nur bei technisch gesicherten BÜ vor.

Auf der Seite des Straßenverkehrsteilnehmers muss zur Nutzung der Innovation ein eingeschaltetes Navigationsgerät oder ein Smartphone mit installierter und aktivierter Applikation vorliegen. Wird das Internet als Übertragungsmedium genutzt, muss eine Verbindung vorhanden sein.

Perspektivisch gesehen können auch andere Applikationen auf Smartphones die Warnung vor einem BÜ ausgeben. Als Informationsquelle kann z. B. der Bahnübergang selbst dienen. Zu diesem Zweck kann der BÜ ein Bluetooth-Signal aussenden, welches vom Smartphone empfangen und verarbeitet wird. Es gilt in diesem Fall zu überlegen, ob solch eine Applikation als Standard im Smartphone vorinstalliert ist.

Obwohl die akustische oder visuelle Warnung nur eine zusätzliche Aufmerksamkeitserhöhung darstellen kann und keinesfalls von der Beobachtung der straßenseitigen Verhältnisse befreit, besteht die Möglichkeit, dass sich Straßenverkehrsteilnehmer zunehmend auf ihr Smartphone oder Navigationssystem verlassen. Im Falle eines Funktionsausfalls aufgrund einer (plötzlich) fehlenden Internetverbindung könnten negative Verhaltenseffekte am BÜ auftreten, wenn sich Straßenverkehrsteilnehmer aufgrund eines gewissen Gewohnheitseffektes auf die technische Unterstützung des Systems verlassen und damit fahrlässig die ihnen vorgegebenen Verhaltensgebote an BÜ missachten.

7.2.6.3 Sicherungsarten

Es kommen grundsätzlich alle BÜ in Frage, sofern sie in den Infrastrukturdaten erfasst sind. Während bei nichttechnisch gesicherten BÜ ähnlich der anderen vorgestellten Maßnahmen das System eine zusätzliche Form der Ankündigung eines BÜ für den SVT darstellt, ohne über tatsächlich stattfindende Schienenfahrzeugbewegungen zu informieren, lassen sich bei technisch gesicherten BÜ grundsätzlich sogar Zustandsinformationen abgreifen. In diesem Fall wäre es möglich, einen SVT über sich dem BÜ nähernde Schienenfahrzeuge zu informieren, damit er sein Fahrverhalten anpassen kann und vor dem BÜ zum Stehen kommt.

7.2.6.4 Sicherheit

Durchgeführte Pilotversuche zeigen, dass die Aufmerksamkeit der Straßenverkehrsteilnehmer erhöht wird, was gleichzeitig auch ein Sicherheitsgewinn bedeutet. Kritisch zu betrachten wäre die Ausfalloffenbarung des zusätzlichen Systems bei technisch gesicherten BÜ mit systemspezifischen Abgriff des Sicherungszustands.

7.2.6.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Die Umsetzbarkeit des Erfordernisses, statische sowie dynamische Daten von BÜ dem SVT zur Verfügung zu stellen, muss geprüft werden. Bei den statischen Daten wird keine Problematik erwartet, da Geo-Daten der BÜ der EdB bereits heute im Internet frei verfügbar und abrufbar sind (vgl. [40]). Es empfiehlt sich, wie in Österreich bereits umgesetzt, eine Pilotstrecke für die Anwendung auszuwählen und die Machbarkeit und den sicherheitlichen Nutzen zu untersuchen. Außerdem muss eine Kooperation mit der an der bisherigen Entwicklung beteiligten Firma Thales gesucht werden. Für die weitere Bearbeitung wird das System „NavTrain“ lediglich als zusätzliche hinweisende Ausrüstung angesehen.

7.2.7 Fahrbahnmarkierungen

7.2.7.1 Beschreibung

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Sicherheit an BÜ können (spezielle) Fahrbahnmarkierungen darstellen. Dafür laufen in verschiedenen Ländern, z. B. Frankreich und Österreich, Versuche. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Quellenlage [22] sollen nachfolgend die österreichischen Erkenntnisse exemplarisch vorgestellt werden. Ein Anwendungsbeispiel der besonderen Fahrbahnmarkierung am BÜ zeigt Abbildung 44.



Abbildung 44: Besondere BÜ-Markierung in Österreich [22]

Die Erhöhung der Aufmerksamkeit und damit eine positive Beeinflussung des Fahrverhaltens der SVT stellen die wesentlichsten Ziele des Einsatzes neuer Fahrbahnmarkierungen dar. Hierfür existieren unterschiedliche Variationen, die sich in Tabelle 9 zusammenfassen lassen.

Variante	charakteristische Zielstellung
Sperrfläche	Verhinderung der Rückstaubildung im Gefahrenraum
Tempobremse	besondere Fahrbahnflächenmarkierung vor dem BÜ zur Geschwindigkeitsreduzierung an BÜ
Sperr-/Zickzacklinien	Bekämpfung des Umfahrens von Halbschranken

Tabelle 9: Varianten der Fahrbahnmarkierungen

7.2.7.2 Potential

Das Aufbringen besonderer Fahrbahnmarkierungen stellt eine kostengünstige Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit dar. Im Verweis auf andere internationale Studien konnte der Rückgang von Unfällen an derartigen BÜ mit besonderen Markierungen bestätigt werden.

Trotz dieser positiven Tendenz verdeutlichten Befragungen von Fahrzeugführern, dass die Bedeutung der Testmarkierungen unterschiedlich interpretiert werden – grundsätzlich aber die angestrebte Fahrverhaltensanpassung unterstützen.

In den Anwendungsempfehlungen wird neben dem Einsatz von bereits in gültigen Regelwerken, z. B. StVO [6], verwendeten Markierungen herausgestellt, dass diese v. a. in ländlichen Gebieten und außerorts zielführend sind, da dort kein Maskierungseffekt durch andere Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen auftritt. Weiterhin ist bzgl. der Haltbarkeit zu berücksichtigen.

sichtigen, dass Fahrbahnmarkierungen in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke alle zwei bis fünf Jahre erneuert werden müssen.

7.2.7.3 Sicherungsarten

Besondere Fahrbahnmarkierungen eignen sich sowohl für technisch gesicherte als auch nichttechnisch gesicherte BÜ. Dabei sollten sie auf die BÜ-Sicherungsart angepasst verwendet werden.

7.2.7.4 Sicherheit

Bisherige Praxiserfahrungen zeigen, dass durch besondere Fahrbahnmarkierungen das Fahrverhalten von SVT positiv beeinflusst und damit die Verkehrssicherheit erhöht werden kann. Dies belegen einzelne gesunkene Unfallzahlen. Allerdings sind solche positiven Effekte noch nicht detailliert nachgewiesen.

7.2.7.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Der Einsatz bzw. die Erprobung besonderer Fahrbahnmarkierungen sollte perspektivisch auch in Deutschland weiterverfolgt werden, da es sich prinzipiell um eine kostengünstige Möglichkeit zur Erhöhung der Verkehrssicherheit handelt. Es empfiehlt sich, bisherige Ergebnisse nationaler und internationaler Studien zur Wirkung von Testmarkierungen zusammenfassend zu betrachten. Aufgrund der nicht näher spezifizierbaren Testmarkierungen und Effekte wird diese Maßnahme nicht weiter in der Nutzwertanalyse betrachtet. Zu dieser Einschätzung führen verschiedene Punkte. So dürfen z. B. Sperrflächen, welche zur etwaigen Verhinderung eines Rückstaus angewendet werden könnten, in Deutschland gemäß StVO [6] nicht befahren werden. Gleichfalls sind besondere Markierungen in diversen, noch zu definierenden Farben weder in der Gesetzgebung vorgesehen, noch würden SVT Kenntnis über damit verbundene Verhaltensweisen besitzen. Hierzu bedarf es einer umfassenden Änderung der Vorschriften sowie eine ausgiebige Informationskampagne der neuen Markierungen. Dazu müssen die Markierungen, welche anschließend einheitlich am BÜ zur Anwendung kommen, zunächst definiert werden. Anschließend sind geeignete Schulungsformate zu entwickeln und umzusetzen.

7.2.8 Fahrbahnverschwenkung

7.2.8.1 Beschreibung

Wie im übrigen Straßenverkehrsraum können Fahrbahnverschwenkungen einen Beitrag leisten, um die Geschwindigkeit der Straßenfahrzeuge zu verringern und damit die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Stellvertretend sollen zum Einsatz dieser Maßnahme nachfolgend wesentliche Erkenntnisse und Empfehlungen aus einem Verkehrsinfrastrukturforschungsprogramm für Österreich wiedergegeben werden. [22]

Durch die bauliche Maßnahme der Verschwenkung der Fahrbahn im BÜ-Annäherungsbereich sollen Fahrzeugführer dazu geleitet werden, ihre Geschwindigkeit zu reduzieren und die Aufmerksamkeit zu erhöhen. Die Anwendung von Mittelinseln zur Fußgängerquerung der Straße ist hierbei meist notwendig (siehe Abbildung 23).

7.2.8.2 Potential

Die Maßnahme wird durch die zur Verfügung stehende Quelle als positiv herausgestellt, da sie sehr gute Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten bei einem geringen Investitionsbedarf habe. Allen voran bei Örtlichkeiten, in denen aufgrund der Randbedingungen kein angepasstes Sicherheitsniveau erreicht werden kann, werden Fahrbahnverschwenkungen empfohlen.

Die Einschätzungen können nur bedingt geteilt werden. Zwar scheint der Einsatz der Fahrbahnverschwenkungen positive Auswirkungen auf das Geschwindigkeitsverhalten zu haben,

jedoch bestehen Zweifel an den geringen Investitionskosten. Gegenüber aufwendigen technischen Sicherungen möge das stimmen. Dagegen bedarf es aufgrund der angepassten Fahrbahnführung mehr Verkehrsfläche, die aufgrund der baulichen Umgebungsvoraussetzungen nicht immer erschließbar sein wird. Daraus resultieren erforderliche Flächenankäufe, gerade in Ortschaften wird es meist kaum Möglichkeiten geben, diese Fahrbahnverschwenkungen nachträglich zu errichten.

7.2.8.3 Sicherungsarten

Fahrbahnverschwenkungen eignen sich grundsätzlich für alle Bahnübergänge unabhängig von der Sicherungsart, wenn die dafür erforderlichen Verkehrsflächen zur Verfügung stehen und die Maßnahme aufgrund der baulichen Umgebungsbedingungen einer Aufmerksamkeits-erhöhung nicht entgegensteht.

7.2.8.4 Sicherheit

Erfahrungen zeigen, dass die angestrebten Ziele tendenziell erreicht werden können, ohne dass hierfür Studien detailliert ausgewertet wurden. Bei der baulichen Gestaltung ist darauf zu achten, dass weiterhin eine ausreichende Aufstelllänge möglichst senkrecht zur Gleisachse gewährleistet wird und das Fahrbahnhindernis als solches klar erkennbar ist, ggf. unter Verwendung zusätzlicher Straßenbeleuchtung. Darüber hinaus sollten Fahrzeugführer durch die Ausgestaltung nicht abgelenkt werden, damit die Aufmerksamkeit sich vor allem auf den BÜ richten kann.

7.2.8.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Fahrbahnverschwenkungen kommen bereits im übrigen Straßenverkehr als bauliches Infrastrukturelement zum Einsatz, wenn die Fahrgeschwindigkeit reduziert und die Aufmerksamkeit der SVT erhöht werden soll, z. B. im Bereich von Ortseingängen.

Damit scheint die Maßnahme grundsätzlich auch für BÜ geeignet, um ähnliche Zwecke zu erreichen. Dem entgegen sprechen die Bedenken, dass Fahrbahnverschwenkungen im BÜ-Bereich die Aufmerksamkeit der SVT eher auf das bauliche Hindernis (fehl-) lenken, als dass diese eine verstärkte Suche nach sich dem BÜ nähernden Schienenfahrzeugen unterstützt. Aufgrund des größeren Bedarfs an Verkehrsflächen, die nicht immer im ausreichenden Maß zur Verfügung stehen und erwerbbar sind, bleibt anzuzweifeln, ob sich diese Maßnahme an dafür prädestinierten Orten wie geschlossene, eng bebaute Ortschaften umsetzen lässt.

Aufgrund dieser nicht ausräumbaren Zweifel wird die Maßnahme bei der weiteren Nutzwertanalyse nicht weiter betrachtet. Unabhängig davon sollten weitere, im Ausland stattfindende Praxistests weiterverfolgt werden.

7.2.9 Schrankenbäume mit Lichtgebern

7.2.9.1 Beschreibung

Analog zu Schranken der Sicherungsanlagen Hs 64 des VEB Werk für Signal- und Sicherungstechnik Berlin (WSSB) gibt es die Möglichkeit, die Schrankenbäume bei BÜSA mit blinkenden Lichtern (vorzugsweise LED Streifen) auszustatten. Dies bewirkt eine bessere Wahrnehmbarkeit der Schranken bei Bahnübergängen, welche mit Halbschranken oder Vollabschluss ausgestattet sind. Bei den auf dem Gebiet der ehemaligen Deutschen Reichsbahn eingesetzten Schrankenbäumen sind *„[a]uf der Vorderseite [...] drei Laternen angebracht, die rotes Blinklicht zeigen, wenn die Schranke in Bewegung oder in Sperrlage ist. Gleichzeitig blinkt auf der Rückseite an der Spitze eine gelbe Lampe.“* [41] Abbildung 45 stellt eine *„Maßskizze eines Halbschranken-antriebs ohne Haltlichtsignal in Grundstellung von vorn [(Bild links) und] von hinten“* [41] (Bild rechts) dar.

In Ägypten finden aktuell Schrankenbäume mit eingebauten Lichtgebern (sog. *„barrier boom lights“*) ebenfalls Anwendung.

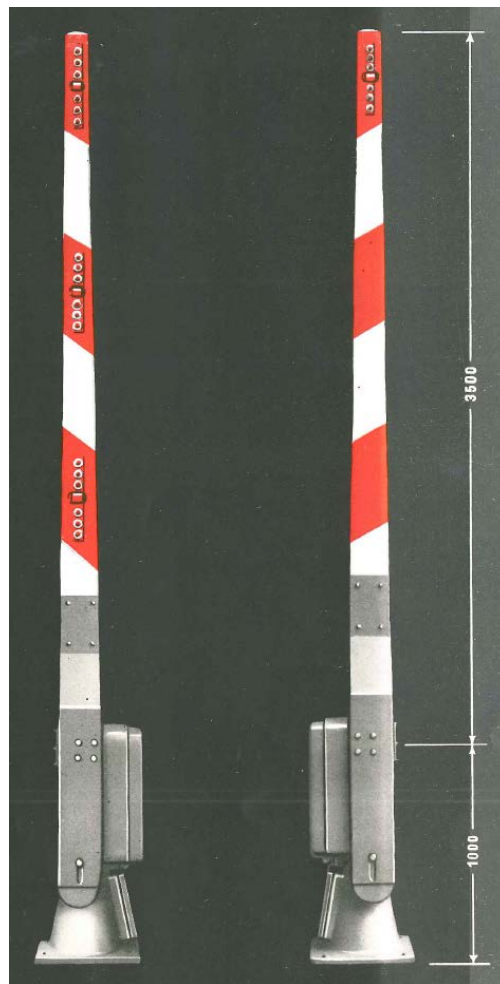


Abbildung 45: Halbschranken einer Hs 64-Bahnübergangssicherungsanlage [41]

7.2.9.2 Potential

Schrankenbäume mit eingebauten Leuchtmitteln bieten dahingehend einen Vorteil, dass die Wahrnehmbarkeit der Schranken auch bei Gegenlicht gewährleistet ist. Es stellt sich jedoch die Frage, wie sicherheitsrelevant der Fall der Nichterkennbarkeit von Schranken infolge von Blendwirkung ist, da die Lichtzeichen der BÜSA den gesicherten BÜ ebenfalls deutlich kennzeichnen.

Im Vergleich zu Schrankenbäumen der Hs 64-Anlagen, bei welchen die Verkabelung der „Laternen“ im Schrankenbaum erfolgte, ist in der hier angedachten Version ein einfacherer Aufbau mittels aufgeklebten LED Streifen möglich.

Nichtsdestotrotz wurde in der Vergangenheit auch aus Kostengründen auf Leuchten in den Schranken verzichtet.

7.2.9.3 Sicherungsarten

Schrankenbäume mit Lichtgebern können grundsätzlich für alle beschränkten Bahnübergänge in Frage kommen. An beleuchteten Bahnübergängen ist die fehlende Wahrnehmbarkeit der geschlossenen Schranken jedoch ausgeschlossen. Daher eignen sich lediglich mit (Halb-) Schranken gesicherte BÜ im ländlichen Bereich, wo BÜ meist unbeleuchtet sind.

7.2.9.4 Sicherheit

Eine Sicherheitserhöhung bewirken Schrankenbäume mit eingebauten Lichtgebern nur dann, wenn die Erkennbarkeit von geschlossenen Schranken nicht gewährleistet werden kann. Da Schrankenbäume jedoch gemäß Richtlinie 815 „mit rot/weiß reflektierenden, senkrechten

Schraffen nach EBO § 11, Anlage 5, Bild 3 versehen werden“ [18], ist eine Erkennbarkeit der Schranken prinzipiell gegeben. Weiterhin stellen die Schranken nur eine zusätzliche Barriere zu den (mindestens) zweifach je Fahrtrichtung ausgeführten Lichtzeichen dar.

7.2.9.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Bestehende Schrankenanlagen umzurüsten birgt nur Potential bei größeren Umbauten oder Verschiebung eines BÜ, da die Einbringung von Leuchtmitteln auf dem Schrankenbaum einen Eingriff sowohl in den Schrankenbaum selbst aber auch in die BÜ-Technik (Einbindung in Sicherungslogik zur Anschaltung der LED Streifen bei aktivem BÜ) verursacht. Dieser Aufwand steht im Allgemeinen nicht im Verhältnis zur etwaigen niedrigen Sicherheitserhöhung sowie den geringen Anwendungsfällen. Weiterhin steht der Aufwand der Ausstattung neu zu installierender Schrankenbäume mit LED-Streifen nicht im Verhältnis zum Sicherheitsgewinn. Aus diesem Grund wird diese Maßnahme in der NWA nicht weiter betrachtet.

7.2.10 Umgang mit Schwerlaststraßenverkehr

7.2.10.1 Beschreibung

Aus den Literaturrecherchen resultierend kann zusammengefasst werden, dass in verschiedenen europäischen Ländern diverse Ansätze bestehen, um die Sicherheit an Bahnübergängen auch in Bezug auf die Nutzung bzw. Nichtnutzung durch Schwerlastverkehre, für die mitunter andere Annahmen als für den übrigen Straßenverkehr gelten, zu erhöhen. Beispielsweise kommen nach [2] folgende Methoden zum Einsatz:

- Schutzbarrieren als Hindernisdetektoren für schwere Fahrzeuge, z. B. Norwegen,
- BÜ-Anpassungen im Sinne von Schleppkurvenerweiterungen, z. B. Frankreich,
- Verbotsbeschilderung „Keine Einfahrt für (Lang-) Lkw“, z. B. Slowakei,
- besondere BÜ-Sicherheitsvorkehrungen für schwere und landwirtschaftliche Fahrzeuge, z. B. Albanien.

Die konkrete Umsetzung sowie weitere Detailinformationen zu den einzelnen Maßnahmen bleiben in der zur Verfügung stehenden Quelle offen. Dennoch zeigt es, dass das Thema Schwerlastverkehr bei der Gestaltung von BÜ im Ausland Berücksichtigung findet. Auch in Deutschland ist bei der Planung von BÜ die eventuelle Nutzung durch Schwerlastverkehre bzw. landwirtschaftliche Verkehre zu berücksichtigen, z. B. durch eine geringere Räumgeschwindigkeit (5 statt 10 km/h). Zudem wird der Einsatz von Lang-Lkw, als Lkw-Kombinationen mit einer Fahrzeuglänge von bis zu 25,25 m und einem höheren Gewicht gegenüber dem üblichen Standardbemessungsfahrzeug von 18,75 m [41], verkehrspolitisch erprobt, wobei das Thema BÜ-Sicherheit entsprechend bisheriger Wahrnehmungen leider nur eine untergeordnete Rolle spielt. Deswegen beschäftigte sich u. a. eine Masterarbeit an der TU Dresden mit den Auswirkungen von Lang-Lkw auf die BÜ-Sicherheit [42], deren wesentlichen Ergebnisse stellvertretend auf der Sicherungstechnischen Fachtagung des VDEI 2017 vor Fachpublikum präsentiert wurden [43].

7.2.10.2 Potential

Mangels belastbarer Erkenntnisse zu ausländischen und fehlender inländischen Maßnahmen können an dieser Stelle und in den nachfolgenden Abschnitten nur wesentliche Erkenntnisse der Studie [42] als allgemeingültige Schlussfolgerungen vorgestellt werden. Grundsätzlich erfordert der Einsatz von Lang-Lkw an BÜ unabhängig von der Sicherungsart größere Aufstellflächen sowie geringfügige Schleppkurvenvergrößerungen (siehe Abbildung 46).

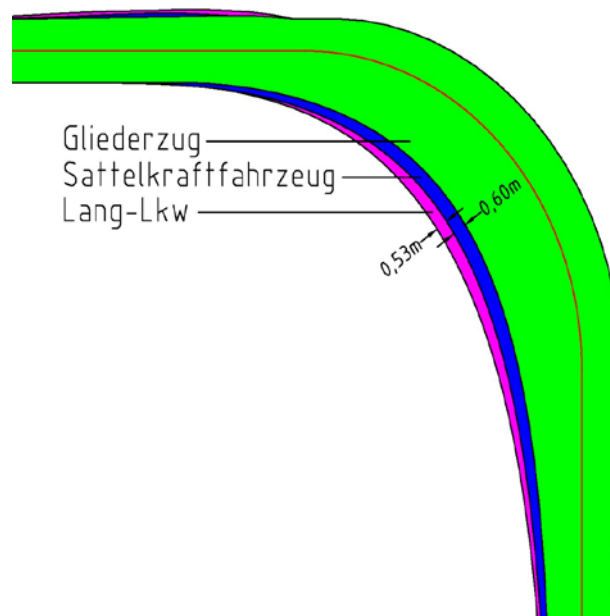


Abbildung 46: Schleppkurve bei einem Kurvenradius von 12,5 m [43]

7.2.10.3 Sicherungsarten

Gemäß Schlussfolgerungen von [42] besteht bei nichttechnisch gesicherten BÜ die Notwendigkeit von Sichtflächenvergrößerungen für den Einsatz von Lang-Lkw. Demgegenüber scheinen sich bei technisch gesicherten BÜ die Auswirkungen auf die Einschaltstreckenberechnung in Grenzen zu halten. Kritisch könnte es nur bei sehr schiefwinkligen Kreuzungen, langen Teilsperrestrecken sowie einer großen Anzahl an zu überquerenden Gleisen werden.

7.2.10.4 Sicherheit

Zur Abschätzung der sicherheitlichen Auswirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw gegenüber den bisherigen BÜ-Bemessungsfahrzeugen empfiehlt [42] die Überprüfung sämtlicher Bestands-BÜ, die für Routen des Schwerlastverkehrs in Frage kommen. Im Ergebnis gilt es anschließend BÜ-spezifisch Maßnahmen abzuleiten oder Sperrungen vorzunehmen.

Bei Neuplanungen von BÜ werden bei einem flächendeckenden Einsatz von Lang-Lkw Regelwerksänderungen erforderlich, die mindestens die größere Länge des Bemessungsfahrzeugs (25,25 m) und die Aufstelllänge (30 m) beinhalten.

7.2.10.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Zum Umgang mit Schwerlastverkehren und Lang-Lkw an BÜ besteht weiterhin nicht geringfügiger Untersuchungsbedarf. Aufgrund fehlender konkreter Maßnahmen kann das Thema nicht bei der NWA berücksichtigt werden.

Dennoch sollten zukünftige Untersuchungen den Umgang mit Lang-Lkw bzw. Schwerlastverkehr in den Mittelpunkt stellen.

7.3 Verkehrserziehung

7.3.1 Beschreibung

Neben baulichen und technischen Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit an Bahnübergängen wie im allgemeinen Straßenverkehr stellen auch Aufklärungskampagnen und Maßnahmen zur Verkehrserziehung ein nicht zu unterschätzendes Medium dar, um Straßenverkehrsteilnehmer für die erforderlichen Verhaltensweisen an BÜ zu sensibilisieren.

Dieser Ansatz wird in verschiedenen Ländern verfolgt, stellvertretend seien Deutschland [44], Österreich [22] sowie Australien [45] benannt. Für diese Länder konnten bei den Re-

cherchen Literaturquellen erschlossen werden. Die folgenden Ausführungen sollen sich aufgrund des Studienfokus vorrangig auf die in Deutschland seit 2002 erfolgreich initiierte Kampagne „Sicher drüber“ konzentrieren, da internationale Erfahrungen ähnlich sind.

Bei derartigen Kampagnen kommen Infobroschüren, Webseiten, Kurzfilme, Plakate, Postkarten oder Aktionstage vor Ort an Schulen oder auf Messen zum Einsatz. Begleitet werden sie von verschiedenen Interessensgruppen, z. B. bei „Sicher drüber“ durch die Deutsche Bahn, den Automobilclub ADAC, gesetzliche Unfallversicherer (UVB, VBG), dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und der Bundespolizei.

Abbildung 47 zeigt beispielhaft das Exponat eines Pkw-Wracks nach einem BÜ-Unfall im Rahmen eines Praxis-Schulungstages [46]:



Abbildung 47: PKW-Wrack als Exponat eines Praxis-Schulungstages [46]

Mit derartigen Maßnahmen, die manchem SVT an die Schmerzgrenze gehen, soll auch für die schwerwiegenden Unfallfolgen sensibilisiert werden.

Weiterhin gab es sowohl in der Bundesrepublik Deutschland („Der 7. Sinn“) als auch in der Deutschen Demokratischen Republik („Verkehrskompaß“) Fernsehsendungen zur Verkehrserziehung, die u. a. auch die Sicherheit am Bahnübergang thematisierten.

Für eine flächendeckende Sicherheitserhöhung müssen die verschiedenen Personengruppen differenziert unterwiesen werden. Abbildung 48 zeigt eine sog. „golden rule“ der australischen Sicherheitskampagne für die Zielgruppe der unter 15-Jährigen.



Abbildung 48: Beispiel einer golden rule der „Keeping You Safe“ Kampagne [45]

In Österreich gibt es gem. [22] unterschiedliche Erziehungskonzepte für differente Personengruppen. Hierzu gehören:

- Kinder und Schüler,
- Fahrschüler,
- Radfahrer,
- Kraftfahrzeugführer wie auch
- auffällig gewordene Kraftfahrzeugführer.

Die Einbindung neuer Medien bietet das Potential verkehrserzieherische Effekte kostengünstig und für verschiedene Zielgruppen zu erreichen. Enthusiastische bzw. lustige Kurzfilme könnten so beispielsweise über bekannte Plattformen wie YouTube oder diverse Social-Media-Kanäle verbreitet werden. Die Zielgruppenwirksamkeit sowie die prognostizierbare Verbreitung sind zu Beginn jedoch nicht genau quantifizierbar.

7.3.2 Potential

Verschiedene Studien kommen gleichsam zu dem Ergebnis, dass BÜ-Unfälle mehrheitlich durch Fehlverhalten von Straßenverkehrsteilnehmern verursacht werden. Nahezu 95 % aller Unfallursachen lassen sich in Unaufmerksamkeit, Unkenntnis oder bewusstes Missachten von Verkehrsregeln der SVT beim Überqueren von Bahnübergängen zusammenfassen (vgl. [44]). Deswegen setzen Kampagnen richtigerweise an dieser Stelle an und versuchen durch Aufklärung und Sensibilisierung Straßenverkehrsteilnehmer zum richtigen Verhalten zu erziehen. Dabei können auch teilweise vorhandene Unsicherheiten bzgl. des richtigen Verhaltens an BÜ abgebaut werden. Derartige Präventivmaßnahmen ermöglichen es, Wissenslücken zu schließen und fahrlässiges Fehlverhalten zu reduzieren. Vorsätzliches Fehlverhalten, z. B. das bewusste Umfahren von geschlossen Halbschranken aufgrund von gefühltem Zeitverlust, wird sich damit allerdings nicht vollständig verhindern lassen.

Auch dank der Informations- und Präventionskampagnen konnte die Anzahl der BÜ-Unfälle im Zeitraum 2002 (Start der Kampagne „Sicher drüber“) und 2016 reduziert werden, auch wenn die Unfallzahlen immer noch zu hoch sind [44]. Aufgrund dessen, dass die Mehrzahl an Unfällen durch menschliches Fehlverhalten der Straßenverkehrsteilnehmer hervorgerufen wird, besteht weiterhin Bedarf an Aufklärung und Schulung, um Unfallzahlen weiter und nachhaltig zu senken.

Dabei können vorrangig bestehende Wissenslücken zum Verhalten an BÜ und der Bedeutung von Beschilderungen und Signalen reduziert werden, wie sie bei Verhaltensbefragungen durch Fahrzeugführer bestätigt werden. Stellvertretend meinten ein Viertel von im Auftrag der Deutschen Bahn AG (DB) befragten Bürgern, dass ein rot blinkendes Lichtzeichen dem einer gelb blinkenden LSA (Ampel) an Straßenkreuzungen gleichzusetzen ist, und kein Anhalten vor dem BÜ erforderlich macht. Auch die Bedeutung des Andreaskreuzes war nicht allen Verkehrsteilnehmern bekannt. [14] Gleichfalls sollte auch die häufige Unfallursache des vorsätzlichen Umfahrens geschlossener Halbschranken in den Kampagnen aufgegriffen werden.

7.3.3 Sicherungsarten

Aufklärungs- bzw. Informationskampagnen stellen das grundsätzliche Verhalten von SVT insbesondere Kraftfahrzeugführern an BÜ in den Mittelpunkt, um für bewusstes oder unbewusstes Fehlverhalten zu sensibilisieren, dieses zu reduzieren und damit die Sicherheit an BÜ zu erhöhen.

Die Sicherungsart spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Bei den Schulungsschwerpunkten sollte jedoch zwischen nichttechnisch gesicherten und technisch gesicherten BÜ unterschieden werden, da diese jeweils unterschiedlichen Verhaltensweisen erfordern. Sowohl typisches unbewusstes wie auch bewusstes Fehlverhalten abhängig von der Sicherungsart sollte in den Mittelpunkt gestellt werden, wobei sich Vorsatz (z. B. bewusste Halbschrankenumfahrungen) im Gegensatz zur Fahrlässigkeit (z. B. Nichtgewährung des Vorrangs an nichttechnisch gesicherten BÜ aufgrund von Unachtsamkeit) wahrscheinlich nicht beseitigen lässt.

7.3.4 Sicherheit

Die ausgewerteten Literaturquellen belegen, dass sich die Anzahl von BÜ-Unfällen in den vergangenen Jahren auch aufgrund der Aufklärungskampagnen reduzieren ließ und damit ein Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit an BÜ geleistet wurde.

Trotz dieser Erfolge ist es weiterhin notwendig, SVT in jeder Altersklasse für ein richtiges Verhalten an BÜ zu sensibilisieren. Dies beginnt bei der Bedeutung von Verkehrszeichen einschließlich ihrer erforderlichen Verhaltensweisen und endet bei der Mahnung, dass geschlossene Halbschranken und rote Lichtzeichen niemals, auch bei gestörten BÜ, passierbar sind.

7.3.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Eisenbahnunternehmen, wie die DB, sollten sich weiterhin aktiv an Aufklärungskampagnen wie „*Sicher drüber*“ beteiligen, um die positiven Tendenzen der vergangenen Jahre nachhaltig fortzusetzen.

Dabei ist gleichermaßen auf Aktualität und geeigneten Medieneinsatz zu achten (Broschüren, soziale Medien, Fernsehsendungen, Videoclips, Projektwochen in Schulen, etc.). Weiterhin sollten die Angebote auf unterschiedliche Zielgruppen angepasst werden. Diese betreffen beispielsweise verkehrserzieherische Maßnahmen für Schüler bzw. Jugendliche, die inhaltlich anders auszurichten und aufzubereiten sind als Auffrischkurse für langjährige Straßenverkehrsteilnehmer oder Senioren.

Die Effekte der Verkehrserziehung werden in der NWA weitergehend betrachtet.

7.4 Zusammenfassung der NE-Anlagen im In- und Ausland

Nach der Detailvorstellung der verschiedenen Maßnahmen sollen abschließend an dieser Stelle wesentliche Sachverhalte in Tabelle 10 zusammengefasst werden.

Maßnahme	Potential	Sicherungsart	Betrachtung in NWA
Rotlichtüberwachung	vorhanden	technisch gesicherte BÜ	Ja
Funktechnologie zur Ansteuerung von BÜSA	vorhanden	Aufrüstung nichttechnisch gesicherter BÜ, Alternativeinschaltung technisch gesicherter BÜ	Ja
satellitengestützte Ortung	vorhanden	nichttechnisch gesicherte BÜ	Ja
Warnsysteme im Pkw	Entwicklungsstand abwarten	alle BÜ der EdB	Nein
Kosten- und Energieeffizienz bei technisch gesicherten Bahnübergängen	Entwicklungsstand abwarten	technisch gesicherte BÜ	Nein
videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung	vorhanden	technisch gesicherte BÜ, Entwicklungsstand abwarten	Ja
Rundumleuchte	vorhanden	technisch gesicherte BÜ	Ja
Low-Cost-Anlagenkonzepte	vorhanden	Aufrüstung nichttechnisch gesicherter BÜ	Ja
Wechselverkehrszeichen	fraglich	nichttechnisch gesicherte BÜ	Nein
Fahrbahnlichter	vorhanden	technisch gesicherte BÜ	Ja
Fahrbahnteiler	vorhanden	LzH	Ja
klappbares Hindernis	vorhanden	LzH und LzV	Ja
NavTrain	vorhanden	alle BÜ der EdB, sofern diese in Infrastrukturdaten erfasst sind.	Ja
Fahrbahnmarkierungen	vorhanden	alle BÜ der EdB, Entwicklungsstand abwarten	Nein
Fahrbahnverschwenkungen	nicht vorhanden	nicht empfohlen	Nein
Schrankenbäume mit Lichtgebern	fraglich	LzH und LzV	Nein
Umgang mit Schwerlaststraßenverkehr	Entwicklungsstand abwarten	differenziert in technisch gesicherte BÜ und nichttechnisch gesicherte BÜ	Nein
Verkehrserziehung	vorhanden	differenziert in technisch gesicherte BÜ und nichttechnisch gesicherte BÜ	Ja

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse Kapitel 3

8 Innovative Technologien

Im folgenden Kapitel sollen innovative Technologien vorgestellt werden. Diese Innovationen setzen v. a. an den in Kapitel 5.1 beschriebenen Optimierungsmöglichkeiten des menschlichen Verhaltens am Bahnübergang an. Die Einteilung der innovativen Technologien erfolgt in:

- technische Neuerungen,
- Änderung von Projektierungsgrundsätzen sowie
- Technologieadaptionen.

Bei der Recherche potentieller Maßnahmen wird ein breiter Bereich des Ingenieurwesens betrachtet.

8.1 Technische Neuerungen

8.1.1 Blitzlichter (PeriLight)

8.1.1.1 Beschreibung

Das System „PeriLight“ wurde vom DLR mit der Zielstellung entwickelt, die Aufmerksamkeit von SVT, insbesondere von Kraftfahrzeugführern, bei nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen zu erhöhen. Zur effektiven Blicklenkung des Kraftfahrzeugführers sind an einem BÜ, den örtlichen Verhältnissen jeweils angepasst, zwei Blitzlichter ca. 50 m rechts und links des BÜ installiert. Diese werden bei Annäherung eines Straßenfahrzeugs an den BÜ ausgelöst. Das Blitzlicht pulsiert im Wechsel zehnmal weiß und pink; zuerst links und zeitversetzt eine Sekunde später das rechte Blitzlicht. Der Sensor, durch den das Straßenfahrzeug die Blitzlichter auslöst, sollte sich dabei idealerweise am Sehpunkt für das schnellste Fahrzeug am BÜ befinden. Durch dieses System soll die Blicklenkung des Autofahrers intuitiv auf den Verlauf der Eisenbahnstrecke erfolgen. [47]

Die Anordnung eines „PeriLight“-Signalgebers ist in Abbildung 49 zu sehen.



Abbildung 49: Leuchte des „PeriLight“-Prototyps [47]

8.1.1.2 Potential

Einer der Vorteile des Systems liegt darin, dass vom Autofahrer keine zusätzlichen kognitiven Prozesse abgefordert werden, wie es z. B. bei einem zusätzlichen Verkehrszeichen der Fall wäre. Das System macht sich laut Entwicklerteam automatische Prozesse der visuellen Informationsverarbeitung des Menschen zu Nutze. Die Installation des Systems ist mit relativ geringem Aufwand möglich, da es keine eisenbahnseitige Implementierung erfordert und dadurch der BÜ in seinem Bestand unberührt bleiben kann. Instandhaltungsarbeiten sind in Form von Vegetationspflege zur uneingeschränkten Sichtbarkeit notwendig. Dies ist bei durch Übersicht gesicherte BÜ ohnehin systemimmanent.

Nachteilig bewertet wird die Tatsache, dass das Blitzlicht unabhängig von einer sich nähernden Zugfahrt ausgelöst wird. Nur so können die eisenbahnunabhängige Implementierung und damit einhergehende Kosten gespart werden. Allerdings kann ein negativer Effekt eintreten, welche den Kraftfahrzeugführer an anderen, nicht mit „*PeriLight*“ ausgestatteten BÜ zu Fehlhandlungen animiert. Als weiterer Nachteil soll angemerkt werden, dass die Blitzlichter nur einen Standort für alle Fahrzeuge, die den BÜ queren wollen, besitzen. Bei der Berechnung der Sichtdreiecke für nichttechnisch gesicherte BÜ, die durch Übersicht gesichert werden, erfolgt jedoch eine Berücksichtigung des jeweils langsamsten und schnellsten Kfz. Folglich gibt es zwei verschiedene Sehpunkte. „*PeriLight*“ muss durch seine straßenseitige Auslösung allerdings am Sehpunkt für das schnellste Fahrzeug orientiert sein, in Konsequenz bedeutet dies, dass die Blitzlichter bei langsamen Fahrzeugen sehr früh aktiviert werden. Technisch ist aber auch eine Blinklichtwiederholung für langsame Fahrzeuge möglich.

Vorsichtige Schätzungen ergeben einen Kostenaufwand von 10.000 – 15.000 EUR für die Ausrüstung eines BÜ mit zwei straßenseitigen Zufahrten.

Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass „*PeriLight*“ als potentiell sinnvolle Maßnahme anzusehen ist.

8.1.1.3 Sicherungsarten

Das System „*PeriLight*“ ist für nichttechnisch gesicherte BÜ, die durch Übersicht gesichert werden, vorgesehen. An technisch gesicherten BÜ spielt die Sicherung durch Übersicht keine Rolle, weswegen dort kein Sicherheitsgewinn erzielt werden kann. Das System ist kein Sicherungssystem im herkömmlichen Sinne, sondern eine straßenseitige Zusatzeinrichtung. Der BÜ gilt auch nach einer Ausrüstung mit „*PeriLight*“ als nichttechnisch gesichert.

8.1.1.4 Sicherheit

Versuchsreihen des DLR zum System „*PeriLight*“ haben gezeigt, dass das Blickverhalten der SVT durch das System statistisch signifikant verbessert wird. Somit ist ein Sicherheitsgewinn bei BÜ, die durch die Übersicht gesichert werden, anzunehmen.

Allerdings konnte in den durchgeführten Untersuchungen noch nicht nachgewiesen werden, dass ein sich näherndes Schienenfahrzeug bei der visuellen Hinwendung zum Blitzlicht aktiv identifiziert wird. Weiterhin sind die Auswirkungen von ggf. entstehenden Phantombildern beim SVT zu überprüfen.

8.1.1.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Die beschriebene Maßnahme kann vor allem an stärker frequentierten nichttechnisch gesicherten BÜ sein Potential entfalten, wo eine Sicherung durch Übersicht subjektiv als zu schwach wahrgenommen wird, aber eine Investition in einen eventuell überdimensioniert anmutenden technisch gesicherten BÜ nicht getätigt werden kann oder soll. Der Bestand ist auf solche BÜ hin zu überprüfen und Handlungsbedarf abzuleiten. Gleichzeitig müsste bei einer Einführung von „*PeriLight*“ aber auch eine entsprechende parallele Informationskampagne über das neuartige System im Straßenverkehr veranstaltet werden. So können negative Folgen wie Handlungsunsicherheiten, plötzliches Bremsen und Auffahrunfälle vermieden

werden. Potentielle negative Auswirkungen des Systems auf Anwohner oder Betriebspersonal müssen im Vorfeld ebenfalls untersucht werden.

8.1.2 Schienenfahrzeugerkennung durch akustische Sensorik

8.1.2.1 Beschreibung

Neben Eisenbahnstrecken verlaufen Glasfaserkabel in Deutschland an ca. 9.000 km Strecke. Darin werden Laserimpulse zur Informationsübertragung gesendet. Solche Glasfaserkabel nehmen vom Boden Bewegungen bzw. Schallwellen auf, die von Personen oder Fahrzeugen erzeugt werden. Die Reflexion der Laserimpulse im Glasfaserkabel ändert sich, wenn die Schallwellen auf das Kabel treffen. Diese Veränderungen können erkannt und über Algorithmen in auswertbare Informationen umgewandelt werden. So ermöglichen vorhandene Glasfaserkabel die Ortung von Schienenfahrzeugen. [48]

Es gibt dazu bereits Untersuchungen zum Einsatz bei der Zuglaufverfolgung [49] bzw. Reisendenwarnung [50]. Eine Adaption dieser Technologie ist für die Detektion der Annäherung eines Schienenfahrzeugs an einen BÜ denkbar.



Abbildung 50: Wirkungweise der akustischen Sensorik [48]

8.1.2.2 Potential

Die Nutzung der Glasfaserkabel als Ortungskomponente ermöglicht eine zugbewirkte Einschaltung, abhängig von der Geschwindigkeit bzw. abhängig von der Entfernung zum BÜ, ohne den Einsatz eines örtlich nicht veränderbaren Einschaltkontakts. Damit kann für die jeweilige Zugfahrt eine optimierte Sperrzeit des BÜ realisiert werden. Geringere Schließzeiten wären die Folge, was wiederum einer Missachtung der BÜ-Sicherung durch SVT entgegenwirken kann und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit der Straße erhöht.

Ein wesentlicher Nachteil besteht darin, dass aktuell nur an ausgewählten Bahntrassen Glasfaserkabel parallel geführt werden und somit kein flächendeckender Einsatz möglich ist. Der Entwicklungsaufwand wird als sehr hoch angesehen, da die Auswertung der Reflexionen im Glasfaserkabel und die Kommunikation mit der BÜSA definierten Zuverlässigkeitswerten der Sicherungstechnik entsprechen müssen. Bisher findet die Idee aber nur Anwendung in der Leittechnik, welche ein geringeres Sicherheitsniveau beansprucht.

Die Ortung des Sfz über Glasfaserkabel und eine dadurch ausgelöste Einschaltung eines BÜ wird grundsätzlich als Maßnahme mit Potential identifiziert.

8.1.2.3 Sicherungsarten

In Frage kommende Sicherungsarten von BÜ bei EdB sind diejenigen, die zugbewirkt eingeschaltet werden. Darunter können alle technische Sicherungsarten fallen.

8.1.2.4 Sicherheit

Unter der Annahme, dass es möglich ist, für die Einschaltung eines BÜ bereits vorhandene technische Infrastruktur nutzbar zu machen, erreicht diese Innovation eine Kostenreduzierung bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau.

8.1.2.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Die Verwendung dieser Technik ist von vornherein durch ihre gegenwärtige Verfügbarkeit eingeschränkt. Die potentiell bereits geeigneten rund 9.000 Streckenkilometer mit Glasfaserkabelausrüstung werden sich noch weiter eingrenzen, da davon auszugehen ist, dass diese alle Strecken mit einer Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h beinhalten. An diesen Strecken sind keine BÜ zulässig.

Durch den Vorteil der geschwindigkeitsabhängigen Einschaltung wird vorgeschlagen, die Technik für besonders sperrzeitenkritische BÜ einzusetzen.

8.1.3 Zugdetektion mit kabellosen Achszählern

8.1.3.1 Beschreibung

Die Firma Frauscher Sensortechnik GmbH vertreibt moderne Achszähler, die über eine Ethernetschnittstelle verfügen und kabellos Informationen senden können. Dies ermöglicht eine kabellose Anbindung der Einschaltpunkte von BÜSA. Werden diese Achszähler mit einer autarken Stromversorgung über Solarzellen oder einem Energiespeicher kombiniert, kann mit wenig Verkabelungsaufwand eine technische BÜ-Sicherung realisiert werden. Dies ist insofern interessant, da häufig abgelegene BÜ bisher über keine technische Sicherung verfügen. Neben der geringen Verkehrsbelastung besteht ein Grund darin, dass sie sich abseits entsprechender Infrastruktur befinden und somit ein hoher finanzieller Aufwand bei der Verkabelung der Komponenten für eine höherwertige technische Sicherung notwendig ist. Dies wird meist als nicht verhältnismäßig betrachtet. Einsparpotentiale durch kabellose Kommunikation eröffnen hier neue Möglichkeiten. [51]

8.1.3.2 Potential

Vorteilhaft ist eine mögliche technische Sicherung eines BÜ mit geringerem Aufwand als bei einer herkömmlichen Ausführung.

Fraglich ist jedoch die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen bei autarker Stromversorgung und drahtloser Kommunikation mit der BÜSA. Hier müssen sicherlich erhebliche Entwicklungsarbeit geleistet und aufwendige Nachweise erbracht werden.

8.1.3.3 Sicherungsarten

In Frage kommen technisch gesicherte BÜ, die keine Anbindung in ein Stellwerk benötigen. Dies sind ausschließlich Anlagen mit Überwachungssignal.

8.1.3.4 Sicherheit

Die Ausrüstung eines bis dahin durch Übersicht gesicherten BÜ mit einer technischen Sicherung bedeutet eine Sicherheitserhöhung für den Straßenverkehrsteilnehmer, relativ zum vorherigen Zustand. Die sich straßenseitig offenbarende technische Sicherung beinhaltet aber keine Weiterentwicklung zur heute bereits eingesetzten Technik.

8.1.3.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Bestehende Anlagen umzurüsten birgt nur Potential bei größerem Umbau oder Verschiebung eines BÜ, da die Verkabelungsarbeiten bereits geleistet wurden. Der Fokus sollte daher auf BÜ liegen, die neu mit einer ÜS-Anlage ausgerüstet werden sollen oder wo eine Umrüstung in der Vergangenheit aufgrund zu hoher Investitionskosten gescheitert ist.

Bei einem flächendeckenden Einsatz von ETCS (European Train Control System) kann ebenfalls auf die Verkabelung in der Einschaltstrecke verzichtet werden, da der BÜ unter Verwendung der im System bereitgestellten Informationen (Position, Geschwindigkeit, etc.) eines Sfz aktiviert werden kann. Eine geschwindigkeitsoptimierte Einschaltung ist hierbei gleichermaßen möglich.

8.2 Änderung von Projektierungsgrundsätzen

8.2.1 Rüttelstreifen

8.2.1.1 Beschreibung

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um die Aufbringung von Querstreifen zur Fahrtrichtung auf die Straßenfahrbahn in Form einer Markierung, welche die Aufmerksamkeit des Kraftfahrzeugführers punktwise durch kurze Lärm- und Vibrationsentwicklungen auf eine bestimmte Situation lenkt. Außerdem wird somit subjektiv das Gefühl von hoher Geschwindigkeit vermittelt, was wiederum den Kraftfahrzeugführer zur Reduzierung der Geschwindigkeit anregt.

In einem Forschungsprojekt des österreichischen Bundesverkehrsministeriums sowie der ÖBB Infra [52] wurde die Auftragung von fünf Markierungsblöcken mit je fünf Rüttelstreifen im Bereich der Ankündigungsbaken (also ab 240 m bis 80 m vor dem BÜ) favorisiert. So wird die Absteckung durch die bereits vorhandenen Baken vorgegeben und Konflikte mit eventuell auftretenden anderen Straßeneinrichtungen (z. B. Kreuzungen) vermieden. Eine logarithmische Anordnung der fünf Blöcke wird als vorteilhaft angesehen. Hierfür wurden die in Abbildung 51 dargestellten Abstände ermittelt und umgesetzt.

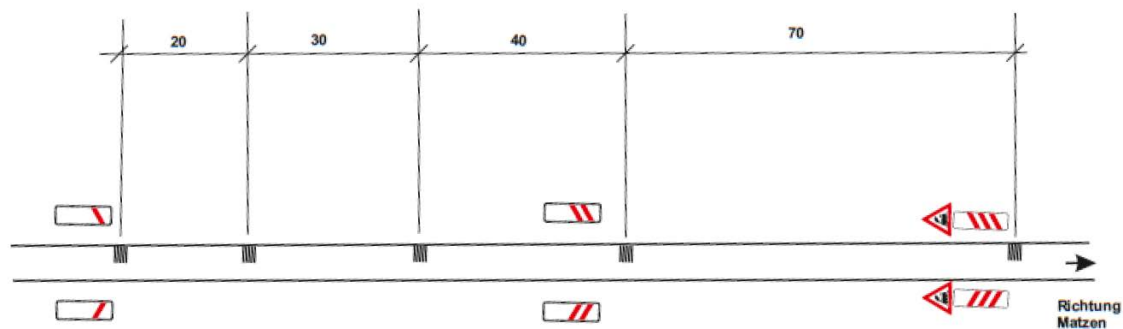


Abbildung 51: Anordnung der Markierungsblöcke in der Länge [52]

Die Streifen selbst sind 10 cm breit und innerhalb eines Blocks 40 cm voneinander entfernt, ihre Höhe beträgt 4 mm. Ein Beispiel aus der Versuchsreihe mit Rüttelstreifen an der ersten Bake vor dem BÜ ist in Abbildung 52 zu sehen.



Abbildung 52: Markierungsblock an erster Bake vor BÜ [52]

8.2.1.2 Potential

Durch Rüttelstreifen kann mit vergleichsweise wenig Aufwand die Aufmerksamkeit des Kraftfahrzeugführers in Bezug auf den BÜ erhöht werden. Außerdem ist keine eisenbahnseitige Integration erforderlich.

Nachteilig wirkt sich vor allem die Lärmentwicklung aus, welche bei Überfahren der Rüttelstreifen entsteht. Laut [52] ist diese vergleichbar mit einer Lärmerhöhung, die bei einer Ver vierfachung der Verkehrsstärke entsteht bzw. der Lärmentwicklung bei der Überfahrung von Kopfsteinpflaster. Das System sollte daher nur außerorts oder in ausreichendem Abstand zu einer Bebauung angewandt werden.

Die Studie [52] stellt anhand ihrer Feldversuche weiter fest, dass in Bereichen von nicht-technisch gesicherten BÜ der Kraftfahrzeugführer die Rüttelstreifen als Unterstützung ansieht und eher bereit ist am Stoppschild des BÜ, welches in Österreich zulässig ist, zu halten. An technisch gesicherten BÜ erreicht der Rüttelstreifen diese Wirkung jedoch nicht. Hier überwiegt die Ortskenntnis bzw. Erfahrung der Kraftfahrzeugführer und damit einhergehend die Überzeugung sich auf die technische Sicherung verlassen zu können. In Deutschland dürfen nichttechnisch gesicherte BÜ jedoch grundsätzlich nicht mit einem Stoppschild ausgerüstet werden, da die Kombination des Andreaskreuzes mit anderen Verkehrszeichen untersagt ist. Deshalb müssen sich Kraftfahrzeugführer gem. StVO „nur mit mäßiger Geschwindigkeit“ [6] dem Bahnübergang nähern. Die positive Wirkung von Rüttelstreifen bezieht sich aus diesem Grund bei einer Anwendung in Deutschland nur noch auf die Aufmerksamkeitserhöhung, nicht auf die Einhaltung eines Haltegebots.

8.2.1.3 Sicherungsarten

Nach den Erkenntnissen der Feldversuche ist es am sinnvollsten, die Rüttelstreifen an nicht-technisch gesicherten BÜ in angemessenem Abstand zu Bebauung oder außerorts einzusetzen.

8.2.1.4 Sicherheit

Die Untersuchungen zeigen, dass Rüttelstreifen vor nichttechnisch gesicherten BÜ in der Lage sind, das Verhalten und die Aufmerksamkeit der Kraftfahrzeugführer positiv zu beeinflussen. Eine Sicherheitserhöhung bei nur geringen zusätzlichen Kosten wird deswegen angenommen.

8.2.1.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Aufgrund der Lärmentwicklung wird empfohlen, wie bereits erwähnt, die Rüttelstreifen in angemessenem Abstand zu Bebauung oder ausschließlich außerorts einzusetzen. In Einzelfällen kann auch ein Einsatz für technisch gesicherte BÜ ohne Schranken, z. B. bei einer Blinklichtanlage direkt hinter einer Kurve, sinnvoll sein, um einem Überraschungseffekt vorzubeugen. Rüttelstreifen werden in den weiterführenden Untersuchungen bewertet.

8.2.2 Mobile Sicherungsanlage

8.2.2.1 Beschreibung

Zur vorübergehenden technischen Sicherung eines nichttechnisch gesicherten BÜ oder bei Ausfall der technischen Sicherung eines technisch gesicherten BÜ kann eine mobile Sicherungsanlage verwendet werden. Diese wird an den Einsatz-BÜ gebracht, dort aufgebaut und unter Aufsicht eines Bahnübergangspostens in Betrieb genommen. Das in Abbildung 53 gezeigte System der Firma UPZ verfügt über eine Steuereinheit, die bis auf zwölf Schrankenantriebe mit je drei Lz erweiterbar ist. Es erfüllt das Sicherheitsintegritätslevel (SIL) 3 und kann bis zu zwölf Stunden über einen Akku betrieben werden. [53]



Abbildung 53: Mobile Sicherungsanlage [54]

Die Firma Zöllner bietet ebenfalls den Einsatz einer mobilen Sicherungsanlage, die zusätzlich mit einem Nachwarnsystem den BÜP unterstützen kann, an. So wird bei nicht zeitgerechter Sicherung eine Notsicherung durch die Anlage selbst durchgeführt oder bei unzeitiger Aufhebung der Sicherung durch den BÜP dies automatisch verhindert. Diese Vorgänge werden dem BÜP durch Sprachnachrichten oder Warntöne mitgeteilt. Dabei werden Komponenten

mobiler Funkwarnanlagen, wie sie etwa bei der Sicherung von Beschäftigten am Gleis zum Einsatz kommen, genutzt. Dies verdeutlicht Abbildung 54. [55]



Abbildung 54: Mobile Sicherungsanlage mit Nachwarnung [55]

8.2.2.2 Potential

Vorteile dieser Maßnahme sind:

- die Möglichkeit des Batteriebetriebs,
- die hohe Flexibilität sowie
- der im Vergleich zu einem Umbau schnelle Aufbau und Inbetriebnahme der Anlage.

Das System ist jedoch zur Unterstützung eines BÜP bei der hilfswisen Sicherung gestörter technisch gesicherter BÜ gedacht. Somit benötigt es einen Bediener und kann nicht ohne Aufsicht betrieben werden. Dafür in Frage kommende Einsatzfälle sollten also temporärer Natur sein. Das System dient so vor allem dem schnellen Abwenden von betrieblichen Einschränkungen des Eisenbahnverkehrs durch BÜ, deren technische Sicherung länger defekt ist. Die dauerhafte Aufwertung eines bis dato nichttechnisch gesicherten BÜ gehört nicht zu den bisher vorgesehenen Einsatzfeldern. Nichtsdestotrotz hat es in dieser Hinsicht Potential, die Sicherheit an einem nichttechnisch gesicherten BÜ zu erhöhen.

8.2.2.3 Sicherungsarten

Eine mobile Sicherungsanlage mit Halbschranken eignet sich grundsätzlich für alle BÜ bei den EdB. Da hier aber gleiche Sicherheit bei geringeren Kosten oder eine Sicherheitserhöhung generiert werden soll, wird das Einsatzgebiet auf nichttechnisch gesicherte BÜ eingegrenzt. Ein Grund hierfür liegt auch in der Tatsache, dass bei Ausfall einer technischen Sicherung der Einsatz einer mobilen Sicherungsanlage nur angestrebt wird, weil die Miete eines solchen Systems ab einem gewissen Punkt günstiger als der Einsatz von zusätzlichen Hilfsposten ist und nicht, um eine ähnliche Sicherheit wie zuvor herzustellen.

8.2.2.4 Sicherheit

Die mobile Sicherungsanlage generiert keine Neuerung oder Erweiterung vorhandener Techniken zur Sicherung von BÜ mit Schrankenanlage. Sie verpackt deren technische Eigenschaften lediglich in eine transportable Ausführung. Von einer Sicherheitserhöhung kann somit nur bei einem Einsatz an nichttechnisch gesicherten BÜ gesprochen werden. Bis zu einer zu er rechnenden Einsatzdauer ist das System billiger als die Installation einer ortsfesten technischen Sicherung. Ab einem gewissen Punkt wird die mobile Sicherungsanlage durch den Personaleinsatz aber langfristig teurer.

8.2.2.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Die Art der Sicherung ist nicht für einen flächendeckenden Einsatz ausgelegt, sondern soll nur in begründeten Einzelfällen Anwendung finden. Dies wird schon dadurch notwendig, dass es mobile Sicherungsanlagen nur in begrenzter Stückzahl gibt. Es kommen für den Einsatz nur stark frequentierte nichttechnisch gesicherte BÜ in Frage, die zudem durch ihre Beschaffenheit, wie z. B. Kreuzungswinkel, auffällig sind. So ist der Einsatz bei einer kurzweiligen Erhöhung der Straßenverkehrsstärke (z. B. bei einer Umleitungsstrecke) bei nichttechnisch gesicherten BÜ sinnvoll. Der Bestand ist auf solche BÜ hin zu untersuchen.

Die mobile Sicherungsanlage wird in der NWA aus den genannten Gründen nicht einbezogen

8.2.3 Gefahrenraumfreimeldung an nichttechnisch gesicherten BÜ

8.2.3.1 Beschreibung

Zur Kollisionsvermeidung kann eine Gefahrenraumfreimeldeanlage prinzipiell auch an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen Anwendung finden. Im Folgenden soll das Prinzip dieser Maßnahme nach [56] vorgestellt werden.



Abbildung 55: Systemlösung für nichttechnisch gesicherte BÜ [56]

Nähert sich ein Sfz dem BÜ, aktiviert dieses durch einen Einschaltkontakt die Gefahrenraumüberwachung am BÜ. Die GFR prüft den Gefahrenraum auf Hindernisse. Ergibt die Prüfung einen freien Gefahrenraum wird ein 2.000 Hz Magnet, welcher im Bremswegabstand vor dem BÜ montiert ist, unwirksam geschaltet. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit, wird der Magnet automatisch erneut wirksam geschaltet. Im Falle einer Hindernisdetektion, wird der Magnet nicht unwirksam geschaltet und das Sfz erhält eine Zwangsbremung und kommt somit vor dem BÜ zum Halten.

Der mit dieser Maßnahme ausgestattete BÜ gilt weiterhin als nichttechnisch gesichert. Das System bildet jedoch einen Kompromiss zwischen der Inkaufnahme eines erhöhten Kollisionspotentials und einer ansonsten überdimensionierten technischen Sicherung. Diese Systemlösung ist nicht für einen flächendeckenden Einsatz gedacht, sondern lediglich für Einzelfälle. Dies betrifft z. B. BÜ im landwirtschaftlichen Bereich oder an der Grenze zu Industrie-

anlagen. Unfallszenarien wie der Zusammenprall mit einem liegengebliebenen Anhänger könnten so abgewendet werden. Die Kosten werden mit 100.000 EUR pro BÜ angegeben.

8.2.3.2 Potential

Das System ermöglicht mit relativ geringem Aufwand im Vergleich zu einer technischen Vollausrüstung die Implementierung einer Überwachung eines nichttechnisch gesicherten BÜ. Die technische Überwachung offenbart sich dem Kraftfahrzeugführer nicht, sodass keine negative Beeinflussung des Verhaltens der Kraftfahrzeugführer am BÜ zu erwarten ist.

Befindet sich ein Hindernis erst nach Beendigung der Messung bzw. nachdem das Sfz den 2.000 Hz Magnet überfahren hat, im Gefahrenraum, bietet die GFR keinen Schutz. Dieses Manko eines plötzlichen Hindernisses haftet aber jedem nichttechnisch gesicherten BÜ an und ist kein Nachteil der installierten GFR.

Es ist nicht auszuschließen, dass den BÜ regelkonform überquerende Kraftfahrzeuge von der GFR als Hindernis detektiert werden. Hintergrund dessen ist, dass die Messung zu einem definierten Zeitpunkt erfolgt, in welchem sich das Sfz noch in weiter Entfernung zum BÜ befindet. Zu diesem Zeitpunkt kann die Annäherung des Sfz ggf. noch gar nicht vom SVT identifiziert werden, weshalb dieser den BÜ vorschriftsgemäß befahren kann. Beim Schienenfahrzeug würde jedoch infolge der Überfahung des wirksamen Gleismagneten eine Zwangsbremmung ausgelöst. Somit gilt der Vorrang des Schienenverkehrs als praktisch aufgehoben, was äußerst kritisch zu sehen ist.

Angemerkt werden muss, dass die bei der DB eingesetzte Technik zur Gefahrenraumüberwachung der Firma Honeywell in Zukunft nicht mehr verfügbar sein wird, da der Hersteller selbst aufgrund technischer Probleme zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts einen Lieferstopp verfügt hat. In der hier angedachten Systemlösung bleibt dies unberücksichtigt, da diese sich an der von der DB aktuell verwendeten Technik orientiert. Prinzipiell kann die Idee aber auch mit einer anderen Technik umgesetzt werden.

Die Firma Sick bietet ferner Produkte zur Gefahrenraumfreimeldung an BÜ an. Dabei kommt ein zweidimensionaler Laserscanner zum Einsatz, der im Unterschied zur Radartechnologie ohne Spiegel auskommt. Eine Prinzipskizze ist in Abbildung 56 dargestellt.

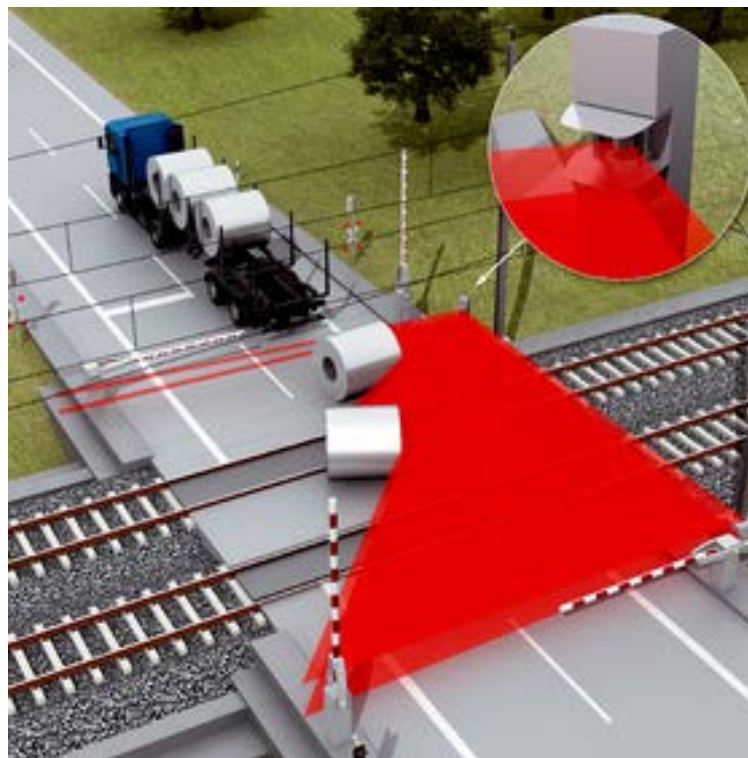


Abbildung 56: Laserscanner zur Gefahrenraumüberwachung [57]

Anders als das Bild vermuten lässt, liegt für das System bisher keine Bahnzulassung für den Einsatz als technische GFR vor.

8.2.3.3 Sicherungsarten

Für diese Systemlösung sind alle nichttechnisch gesicherten BÜ grundsätzlich geeignet.

8.2.3.4 Sicherheit

Durch die Ausrüstung mit einer GFR wird an geeigneten BÜ die Sicherheit im Vergleich zur Sicherung durch Übersicht erhöht.

8.2.3.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Bei den EdB kommen technische GFR grundsätzlich nur an BÜ mit Vollabschluss vor, um vor einer stattfindenden Zufahrt das Freisein des Gefahrenraums zu überprüfen, da die Möglichkeit eines Einsperrens von Straßenfahrzeugen besteht. Radfahrer und Fußgänger sind im Sinne der Gefahrenraumfreimeldung kein sicherheitskritisches Hindernis und deswegen auch nicht von der Gefahrenraumfreimeldung berücksichtigt. Gleichwohl sind sie in der Lage einen Radarsensor auszulösen.

Der Charakter der GFR zeigt in Verbindung mit den angesprochenen Problemen der möglichen Beeinträchtigung des Vorrangs, dass diese nur dann sinnvoll ist, wenn ein gesicherter BÜ keine Räumung zulässt. Deswegen wird von einem Einsatz technischer GFR an BÜ, die keinen Vollabschluss besitzen, abgeraten. Diese Maßnahme wird nicht in der NWA bewertet.

Gleichzeitig empfiehlt sich der verstärkte Einsatz von GFR, was impliziert, dass mehr BÜ mit einem Vollabschluss ausgerüstet werden. Diese stellen die höchstmögliche Sicherungsart für BÜ bei den EdB dar. Problematisch dabei ist meist der hohe Aufwand, den die Installation einer GFR verursacht sowie die längeren Schließzeiten, die eine Einschränkung der Straßenleistungsfähigkeit bedeuten können. Der Einsatz kostengünstigerer GFR, welche eine ausreichende Sicherheit generieren, muss weiter untersucht werden.

8.3 Technologieadaption

In diesem Kapitel sollen technische Innovationen betrachtet werden, welche sich auf Technologien, die ursprünglich für andere Bereiche oder Verkehrssysteme entwickelt wurden, konzentrieren. Durch die ihnen innewohnenden Eigenschaften ergeben sich auch für den Schienenverkehr insbesondere bei Bahnübergängen Anwendungsoptionen.

8.3.1 Intelligente Videoüberwachung

8.3.1.1 Beschreibung

Moderne Wärmebildkameras sind in der Lage, Fahrzeuge oder Fußgänger auf Bahnübergängen zu erkennen und darüber hinaus festzustellen, ob diese den BÜ räumen oder nicht.



Abbildung 57: Wärmebildkamera am BÜ [58]

Die Kamera erkennt Fahrzeuge oder Personen anhand der von ihnen abgegebenen Wärmeenergie. Das Kamerasystem arbeitet mit Videobildanalysen und prüft Bilder mithilfe von Softwarealgorithmen auf Veränderungen. Dabei kann das Bild in Erfassung- und Alarmzonen eingeteilt werden. Die Alarmzone ist flexibel einstellbar und somit auf den Gefahrenbereich eines BÜ individuell adaptierbar. Dies ermöglicht eine automatische Identifizierung des Frei- oder Nichtfreiseins des Gefahrenbereichs. [50] [58]

8.3.1.2 Potential

Neben der Eignung zur Gefahrenraumfreimeldung kann diese Technik auch zur Verkehrszählung eingesetzt werden. Ein Vorteil besteht darin, dass kein Licht oder gute Sicht für das Kamerasystem vorhanden sein muss. Auch weitere witterungsbedingte Einflüsse, wie z. B. Schneeverwehungen oder Blätterhaufen, die durchaus die Radarüberwachung eines BÜ mit Vollabschluss beeinträchtigen können, sind bei diesem System weniger kritisch.

8.3.1.3 Sicherungsarten

Generell kann die Technik an allen BÜ in Deutschland eingesetzt werden. Unter Berücksichtigung der klassischen Anwendungsfelder von GFR kommen nur BÜ mit Vollabschluss in Frage.

8.3.1.4 Sicherheit

Beim Einsatz an BÜ mit Vollabschluss ist weder eine Sicherheitserhöhung noch eine Kostenreduzierung ersichtlich. Die Innovation setzt die Gefahrenraumfreimeldung lediglich auf einer anderen physikalischen Basis um.

8.3.1.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Wie in Kapitel 8.2.3.5 festgelegt, ist eine technische GFR nur bei Vollabschluss empfehlenswert. In der später folgenden Nutzwertanalyse werden aber nur nichttechnisch gesicherte und technisch gesicherte BÜ mit Lz oder Halbschranken betrachtet. Die Gründe dafür sind in Kapitel 9.5 genannt. Um die Technologien zur Gefahrenraumfreimeldung dennoch betrachten

zu können, werden sie in einem eigenen Teil der NWA (Kapitel 9.9) behandelt. Eine Umsetzung bei den EdB ist ebenso nur an BÜ mit Vollabschluss anzustreben. Dort kann die intelligente Videoüberwachung zur bestehenden Radartechnologie eine Alternative schaffen.

8.3.2 Kollisionsvermeidung RCAS

8.3.2.1 Beschreibung

Das „*Railway Collision Avoidance System*“ (RCAS) ist ein satellitengestütztes Kommunikations- und Ortungssystem zur Kollisionsvermeidung von Sfz, welches vom DLR entwickelt wurde [59]. Die Idee stammt aus der Luftfahrt, in der es ein System gibt, welches Alarm schlägt, wenn sich zwei Flugzeuge auf Kollisionskurs befinden. Analog dazu sollen auch Schienenfahrzeuge miteinander kommunizieren. Dazu werden fahrzeugseitige Ausrüstungen benötigt, die ein an der Strecke installiertes Sicherungssystem abkömmlich machen können. Grundlage der Innovation ist die Selbstortung der Schienenfahrzeuge. Hierfür kommen Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS), wie z. B. GPS oder Galileo, in Verbindung mit Sensoren am Fahrzeug und einer digital hinterlegten Streckenkarte zum Einsatz. Dabei wird eine gleisbezogene Genauigkeit bei der Ortung auch bei mehrgleisigen Strecken erreicht. Die Schienenfahrzeuge senden im Sekundentakt Funksignale des Tetra-Standards aus und kommunizieren so im Umkreis von etwa fünf Kilometern miteinander. Die Frequenzen liegen dabei weit unterhalb des digitalen Zugfunks.

Bezogen auf das Anwendungsgebiet des BÜ ist angedacht, dass ein herannahendes Sfz mit dem BÜ kommuniziert und sich bei diesem anmeldet. Hierzu muss das Sfz selbst mittels Eigenortung den nähernden BÜ registrieren. Der BÜ beginnt augenblicklich mit der Sicherung und detektiert mittels optischen Sensoren den Straßenverkehr (entspricht der Prüfung des Gefahrenraums auf Freisein). Im Falle eines Nichtfreiseins des Gefahrenraums kann der BÜ ein Kommando zur Schnellbremsung an das Sfz senden.

Es wird geschätzt, dass die Einrichtung von RCAS an Strecken, an denen bisher kein Zugbeeinflussungssystem installiert ist, nur ca. 20 % der Kosten einer (nachträglichen) Ausrüstung mit punktförmiger Zugbeeinflussung betragen (vgl. [60]).

Die Harzer Schmalspurbahnen GmbH setzen bereits RCAS ein, wie Abbildung 58 zeigt.



Abbildung 58: RCAS Fahrzeugkomponente bei den Harzer Schmalspurbahnen [60]

8.3.2.2 Potential

Das System ermöglicht eine zeit- bzw. geschwindigkeitsoptimierte Einschaltung der BÜSA, was sich in kürzeren Schließzeiten des BÜ niederschlägt. Dies führt zu einer höheren Akzeptanz bei den SVT. Die fahrzeugautarke Ortung und vom Sfz selbst angestoßene Sicherung des BÜ ermöglicht zudem die Einsparung teurer Verkabelung an der Strecke.

Auf eine infrastrukturseitige Einbindung kann aber nicht vollständig verzichtet werden, da es erforderlich ist, dass der BÜ mit dem Sfz kommuniziert. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die Systemausrüstung der Sfz Zugangsvoraussetzung ist, um auf solchen Strecken mit entsprechenden BÜ im Regelbetrieb verkehren zu können. Zu klären gilt die Frage, ob eine solche Anlage an nicht durch Vollabschluss gesicherten BÜ eingesetzt werden soll, da eine GFR obligatorisch erscheint. Dies empfiehlt sich nach Kapitel 8.2.3.5 nicht.

8.3.2.3 Sicherungsarten

Es kommen alle BÜ ohne stellwerksseitige Einbindung in Frage. Dazu gehören mit Überwachungssignal überwachte Anlagen sowie alle nichttechnisch gesicherten BÜ. Perspektivisch kann das System an allen mit einer technischen Sicherung auszustattenden BÜ zum Einsatz kommen.

8.3.2.4 Sicherheit

Durch die mögliche Einsparung infrastrukturseitiger Komponenten, vor allem lange Kabelwege betreffend, bietet RCAS die Möglichkeit, gleiche Sicherheit bei Kostensenkung zu erreichen.

8.3.2.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Wie der Einsatz bei der Harzer Schmalspurbahn zeigt, ist RCAS vor allem für Strecken interessant, die bisher über kein Zugbeeinflussungssystem verfügen. Bezogen auf die EdB wäre ein Einsatz des Systems für Strecken zu prüfen, die im Zugleitbetrieb betrieben werden. Auch bei einer Reaktivierung stillgelegter oder neu zu bauender Strecken mit nur regionaler Bedeutung kann RCAS wahrscheinlich schneller und günstiger für die Aufnahme des Betriebs sorgen, als die Installation der PZB. RCAS auf Strecken mit Zugbeeinflussung ausschließlich zur optimierten Einschaltung von BÜ zu nutzen, ist denkbar, aber im Kosten-Nutzen-Verhältnis eher abzulehnen.

8.3.3 Gefahrenraumfreimeldung mithilfe eines Local Positioning System

8.3.3.1 Beschreibung

Neben globalen Positionsbestimmungssystemen wie GPS oder Galileo existieren auch sog. Local Positioning Systems (LPS), die eine Nahbereichsfunkkommunikation ermöglichen und für einen Einsatz bei der Eisenbahn bzgl. BÜSA interessant sind. Lokale Funkkommunikation erfolgt z. B. über WLAN oder Bluetooth und bestimmt die Position eines Empfängers über die Signalstärke. Allerdings überzeugt weder die Reichweite (10 – 20 m) noch die Genauigkeit (2 – 3 m) der Ortung bisher so weit, dass ein industrieller Einsatz im sicherheitsrelevanten Bereich der BÜSA berechtigt erscheint [61]. Vielversprechender erscheint die Verwendung der Ultrabreitbandtechnologie (UWB, Ultra-wideband). Bei UWB handelt es sich um eine Funktechnik, die bei niedriger Sendeleistung sehr große Frequenzbereiche (3,1 – 10,6 GHz) mit einer Bandbreite von mindestens 500 MHz nutzt. Aufgrund seiner Eigenschaften ist UWB sehr übertragungssicher, robust und ermöglicht hohe Datenraten [62]. Durch die Nutzung eines Laufzeitverfahrens sind Positionsbestimmungen bis zu einer Genauigkeit von 10 cm und durch die geringe Latenzzeit die Positionsabfrage bis zu 100 Mal pro Sekunde möglich [63]. Die Reichweite beträgt bis zu 150 m [64]. UWB wird deswegen für die Echtzeitortung von Personen oder Gegenständen im industriellen Bereich v. a. in geschlossenen Räumen eingesetzt. Ziel kann dabei die Optimierung der Prozesssicherheit, eine Erhöhung der Transparenz von Abläufen, die Qualitätssicherung oder auch eine Kollisionsvermeidung sein [65].

Eine Anwendung an BÜ, um das Freisein des Gefahrenraums zu überprüfen, ist denkbar. Dieser Ansatz gilt unter der Voraussetzung, dass jeder zur ortende Gegenstand bzw. jedes Fahrzeug ausrüstungsmäßig über einen sog. Tag verfügt. Dies ist ein auf UWB-Technologie basierender Sender, der dann von mindestens drei Empfängern, die sich am BÜ befinden, zur Lokalisierung erkannt werden muss [64]. Schon heute sind Bluetooth, GPS oder WLAN in modernen Kraftfahrzeugen implementiert. Es ist deswegen in Zukunft durchaus vorstellbar, dass auch UWB hier Einzug hält und so durch ein UWB-System am BÜ alle Kraftfahrzeuge im Gefahrenbereich sicher erkannt werden. Andere Fahrzeuge wie Landmaschinen oder Motorräder könnten auch nachträglich mit einem Tag ausgerüstet werden. Die Ausstattung von Personen oder Radfahrern ist, wie in Kapitel 8.2.3.5 erläutert, nicht erforderlich. Gleichwohl könnte auch bei diesen Wegbenutzern ein positiver Effekt erzielt werden, indem auch Smartphones zukünftig UWB-fähig sind. Dadurch, dass die meisten Menschen mittlerweile ein solches bei sich tragen, würden auch diese Wegbenutzer von der GFR erfasst. Dem System müssen mithilfe einer Software schließlich noch alle notwendigen Informationen hinterlegt werden, wie etwa Grenzen des Gefahrenraums und Konsequenzen bei Verletzung, Einschaltung, Ausschaltung, Selbstdiagnose und Laufzeiten.

8.3.3.2 Potential

Das System bietet eine hohe Genauigkeit bei der Ortung und eine hohe Sicherheit bei der Übertragung und erfüllt damit grundlegende technische Ansprüche für den Einsatz in der Eisenbahnsicherungstechnik, speziell im Gebiet der Bahnübergangssicherung. Durch die besondere Ausprägung des UWB und des genutzten Frequenzbereichs besteht auch keine Beeinflussung oder Störung des digitalen Zugfunks GSM-R.

Nachteilig wirkt sich aus, dass für eine technische Erfassung aller Kfz jedes mit einem UWB-Tag ausgerüstet sein muss. Es ist somit zumindest zweifelhaft, ob in Zukunft jemals alle Kraftfahrzeuge von der GFR erfasst werden. In diesem Bereich müsste eventuell regulatorisch eingegriffen werden, indem die Ausrüstung mit einem Tag als verpflichtend vorgeschrieben wird. Zukünftige Kooperationen mit der Automobilindustrie könnten auch in diese Richtung abzielen.

Insgesamt wird eine technische Gefahrenraumfreimeldung auf der Basis des UWB-Standards als eine Maßnahme mit Potential angesehen.

8.3.3.3 Sicherungsarten

Wie in Kapitel 8.2.3.5 begründet, ist der Einsatz einer GFR nur an BÜ mit Vollabschluss sinnvoll. Alle anderen Arten von BÜ scheiden daher aus.

8.3.3.4 Sicherheit

Die UWB-Technologie könnte in Zusammenhang mit einer Konzeptionierung als LPS eine technische Gefahrenraumüberwachung ermöglichen und so im Vergleich zur Radartechnologie gleiche Sicherheit zu geringeren Kosten an einem BÜ mit Vollabschluss herstellen.

8.3.3.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Eine technische Umsetzbarkeit der Idee muss erst geprüft werden. Eine Betrachtung in der Nutzwertanalyse findet in einem gesonderten Teil zur GFR statt (siehe Kapitel 9.9).

8.3.4 Kommunikation zwischen Schiene und Straße

8.3.4.1 Beschreibung

Ausgangspunkt für diese innovative Lösung der Erhöhung der Sicherheit am BÜ ist die Idee, dass moderne Straßenfahrzeuge untereinander sowie mit der Infrastruktur kommunizieren (Car2X). Daraus abgeleitet entstand die Vision, dass sich Straßenfahrzeuge, Eisenbahninfrastruktur und Schienenfahrzeuge ebenfalls untereinander verständigen. Im Rahmen des Projekts „Rail2X- Smart Rail Services“ gehören drei verschiedene Anwendungsbereiche bei der Eisenbahn zum Forschungsgegenstand, so auch Bahnübergänge. Dabei sollen bereits vorhandene Standardisierungen aus der Automobilindustrie genutzt werden. Hierfür wurden Testfelder bei der Erzgebirgsbahn geschaffen.

Denkbar ist, dass beim Überfahren des Einschaltkontakts eine Information durch das Schienenfahrzeug an das Straßenfahrzeug übermittelt wird. Entsprechende Instrumente warnen dann den Kraftfahrzeugführer, so dass dieser sich frühzeitig auf die Verkehrssituation einstellen kann. Der Triebfahrzeugführer erhält vom BÜ die Rückmeldung, ob dieser gesichert ist. Erste Tests wurden bereits im Jahr 2016 erfolgreich durchgeführt. Auch besteht die Möglichkeit, dem Kraftfahrzeugführer Zeitabläufe mitzuteilen, wie z. B. wie lange der BÜ noch gesichert ist. Eine Instrumentenwarnung für den Kraftfahrzeugführer ist in Abbildung 59 zu sehen. [66][67]



Abbildung 59: Kommunikation zwischen Straße und Schiene [66]

8.3.4.2 Potential

Vorteilhaft ist die Aufmerksamkeitserhöhung der Kraftfahrzeugführer, die durch die Instrumentenwarnung verursacht wird. Außerdem wird nur gewarnt, wenn auch tatsächlich eine Zugfahrt stattfindet. Die Möglichkeit der Anzeige der Restsperrzeit des BÜ könnte sich auch positiv auf grundsätzlich nicht zu tolerierende Rotlichtverletzungen an BÜ ohne Schranken oder mit Halbschranken auswirken. Ähnliche Pilotprojekte gibt es bereits im Straßenverkehr für Fußgänger, um die Anzahl der Rotläufer zu reduzieren.

Ein Nachteil der Rail2X-Technologie besteht in der Notwendigkeit, dass sämtliche Fahrzeuge eisenbahn- wie straßenseitig über die genannte Technologie verfügen müssen. Dies bedingt einen großen Ausrüstungsaufwand. Es ist also keine flächendeckende Sicherheitserhöhung für alle Verkehrsteilnehmer von Beginn an sichergestellt und zu erwarten. Weiter besteht die Gefahr, dass sich Kraftfahrzeugführer an BÜ vollends auf ihre Instrumente verlassen, was bei Ausfall der Technologie oder nicht damit ausgerüsteten BÜ zu Unfällen führen kann. Eine Vielzahl ähnlicher Erfahrungen wurde bereits mit Navigationssystemen gemacht, da viele Kraftfahrzeugführer nicht mehr bzw. unzureichend auf die reale Umwelt achten und sich „blind“ auf die Anzeige verlassen.

Auch muss bedacht werden, dass, sollte die Kommunikation des Sfz mit dem Kfz durch das Überfahren des Einschaltkontakts realisiert werden, ein solcher bei nichttechnisch gesicherten BÜ erst installiert werden muss.

Auch bei Rail2X ist ein steuernder Durchgriff auf das Kraftfahrzeug als Weiterentwicklung denkbar, sodass dieses automatisch abgebremst und zum Stillstand gebracht wird, wenn ein BÜ meldet, dass er wegen der Annäherung eines Schienenfahrzeugs geschlossen wird.

Die Nutzung der Schnittstelle Rail2X wird als Maßnahme mit Potential im Sinne der hier vorliegenden Untersuchung identifiziert.

8.3.4.3 Sicherungsarten

Für den Einsatz der Technologie kommen grundsätzlich alle BÜ-Arten in Betracht, wobei fraglich ist, ob ein Effekt bei BÜ mit Vollschrankenabschluss hinsichtlich Aufmerksamkeitserhöhung und Restschließezeitanzeige erzielt werden kann.

8.3.4.4 Sicherheit

Rail2X ermöglicht eine Sicherheitserhöhung am BÜ, da durch die Kommunikation untereinander und durch die Anzeige der Restsperrzeit eine größere Akzeptanz beim Kraftfahrzeugführer für Vorgänge am BÜ geschaffen werden kann.

8.3.4.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Aufgrund dessen, dass die DB unmittelbar am Projekt beteiligt ist, unterbleibt an dieser Stelle eine Empfehlung einer geeigneten Umsetzungsstrategie für die EdB. Das aktuelle Entwicklungsstadium des Systems lässt bisher noch keinen flächendeckenden Einsatz bei den EdB zu.

8.3.5 Verkehrszeichenerkennung im Fahrzeug

8.3.5.1 Beschreibung

Moderne Kfz verfügen über Fahrerassistenzsysteme, die Verkehrszeichen erkennen können. Dies geschieht mithilfe einer Kamera, die bei einigen Herstellern im Bereich des Rückspiegels integriert ist. Die identifizierten Verkehrszeichen werden über das Armaturenbrett an den Kraftfahrzeugführer übermittelt (siehe Abbildung 60).



Abbildung 60: Verkehrszeichenerkennung im Armaturenbrett [68]

Das System verknüpft die Registrierung per Kamera mit weiteren Informationen, die das Fahrzeug über das Navigationsgerät und diverse Bordsensoren generiert. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Zuverlässigkeit der Erkennung zu verbessern. So können auch verschmutzte Verkehrszeichen durch Rückschluss identifiziert werden oder Tempolimits, die nur bei Nässe gelten, werden nur dann angezeigt, wenn der Regensensor einen gewissen Grad an Nässe misst. Ein steuernder Durchgriff auf den Fahrzustand des Kraftfahrzeugs erfolgt nicht. Das System dient der Aufmerksamkeitserhöhung sowie Entlastung des Kraftfahrzeugführers und kann gegenüber einer nur indirekten Verkehrszeichenerkennung über ein Navigationsgerät auch auf veränderte Verkehrssituationen im Bereich von Baustellen oder variable Tempolimits reagieren. Wird die Entwicklung dieses Assistenzsystems betrachtet, ging es dabei vornehmlich um die Erkennung von Tempolimits. Die Erweiterung auf die Verkehrssituation „Bahnübergang“ verbunden mit einer Detektion der Verkehrszeichen 151, 156, 159, 162 und 201 erscheint umsetzbar [69]. Die Unterscheidung der StVO [6] in besondere Gefahrenzeichen (Verkehrszeichen 151, 156, 159, 162) und Vorschriftzeichen (Verkehrszeichen

201) besitzt hier keine Relevanz. Auch soll nicht im Detail auf die Regelungen zur Anordnung dieser Verkehrszeichen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur StVO eingegangen werden. Die genannten Verkehrszeichen sind in Abbildung 61 dargestellt.

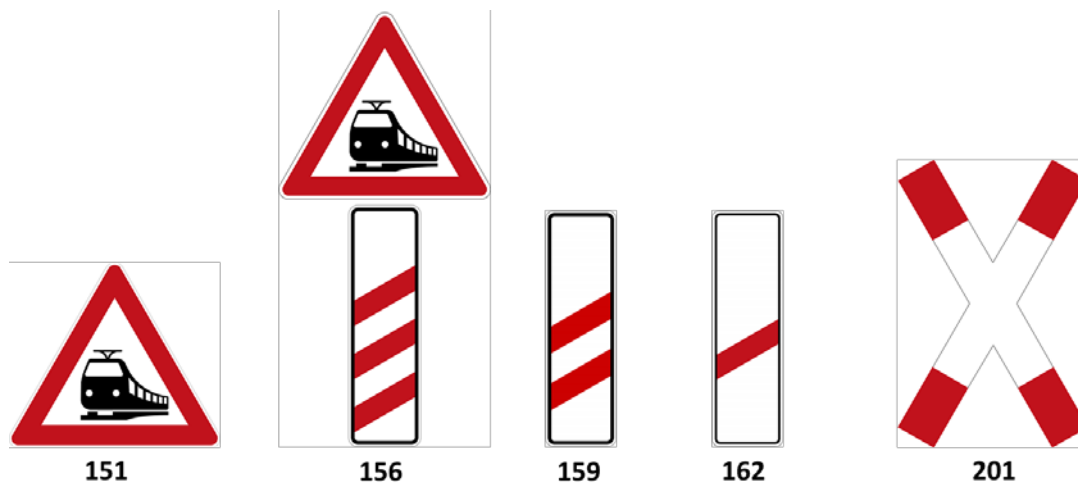


Abbildung 61: Verkehrszeichen nach StVO an BÜ [70]

8.3.5.2 Potential

Ein zusätzlicher Hinweis durch die Kfz-Assistenzsysteme auf einen BÜ wird grundsätzlich als vorteilhaft angesehen. Durch die Technologie sind keine eisenbahnseitigen Anpassungen erforderlich.

Der Standort des Andreaskreuzes ist in [6] eindeutig festgelegt, der des Verkehrszeichens 151 kann variieren. Er kann sich außerorts 240 m vor dem BÜ befinden und innerorts bei straßenseitiger Geschwindigkeit kleiner 50 km/h in einem ausreichenden Abstand vor dem BÜ ohne zusätzliche Baken. Es wird angenommen, dass die Verkehrszeichenerkennung des Fahrzeugs so leistungsfähig ist, dass die Verkehrszeichen rechtzeitig erkannt und mit einem ausreichenden Vorlauf an den Kraftfahrzeugführer gemeldet werden. So erfolgt auch bei einem kurzen Abstand zum BÜ eine rechtzeitige Warnung.

Nachteilig ist, dass das System unabhängig von stattfindenden Zugfahrten immer warnt. Da keine Unterscheidung der BÜ über die Verkehrszeichen möglich ist, kann auch keine selektive Warnung verwirklicht werden, also z. B. nur die Warnung vor nichttechnisch gesicherten BÜ.

Ein steuernder Durchgriff ist zwar nicht vorgesehen, aber theoretisch möglich. Es wäre durchaus denkbar, dass im Hinblick auf autonomes Fahren im Straßenverkehr, die Verkehrszeichenerkennung erweitert und jedes Kraftfahrzeug mit entsprechender Ausstattung vor einem BÜ automatisch abgebremst wird.

Grundsätzlich eignet sich die Verkehrszeichenerkennung als potentielle Maßnahme zur Sicherheitserhöhung am BÜ.

8.3.5.3 Sicherungsarten

Durch die allein am Verkehrszeichen orientierte Warnung des Kraftfahrzeugführers kann eisenbahnseitig keine Eingrenzung für BÜ getroffen werden, die für diese Maßnahme besonders ausgewählt werden sollten. Folglich sind alle BÜ der EdB Gegenstand der Betrachtung.

8.3.5.4 Sicherheit

Die Verkehrszeichenerkennung ist in der Lage, den Kraftfahrzeugführer bei der Wahrnehmung von BÜ auf Verkehrszeichenebene zu unterstützen und seine Aufmerksamkeit zu erhöhen. Es wird davon ausgegangen, dass dies einer Sicherheitserhöhung an BÜ entspricht.

8.3.5.5 Umsetzungsstrategie für EdB

Das System entzieht sich durch seinen rein straßenseitigen Einsatz dem direkten Zugriff der Betreiber der EdB. Im Interesse des gemeinsamen Verkehrsraums Bahnübergang wird vorgeschlagen bei Bestrebungen der Autoindustrie, aus denen auch die Eisenbahn positive Effekte für BÜ erzielen kann, unterstützend mitzuwirken oder in Kooperation mit den in der Entwicklung tätigen Firmen zu treten. Es ist davon auszugehen, dass dies in vielen Bereichen bereits so gehandhabt wird. Eine weitere Strategie wäre ein regulatorischer Durchgriff des zuständigen Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Die Verkehrszeichenerkennung wird in der folgenden NWA berücksichtigt.

8.4 Zusammenfassung der innovativen Technologien

Die Ergebnisse der untersuchten Technologien in diesem Kapitel fasst Tabelle 11 zusammen.

Maßnahme	Potential	Sicherungsart	Betrachtung in NWA
Blitzlichter	vorhanden	nichttechnisch gesicherte BÜ	Ja
akustische Sensorik	vorhanden	technisch gesicherte BÜ	Ja
kabellose Achszähler	vorhanden	technisch gesicherte BÜ mit Überwachungssignal	Ja
Rüttelstreifen	vorhanden	nichttechnisch gesicherte BÜ	Ja
mobile Sicherungsanlage	vorhanden	nichttechnisch gesicherte BÜ	Nein
GFR bei nichttechnisch gesicherten BÜ	nicht vorhanden	nicht empfohlen	Nein
intelligente Videoüberwachung	vorhanden	LzV (GFR)	Ja
RCAS	vorhanden	technisch gesicherte BÜ	Ja
Local Positioning System	vorhanden	LzV (GFR)	Ja
Rail2X	vorhanden	alle BÜ der EdB	Ja
Verkehrszeichenerkennung	vorhanden	alle BÜ der EdB	Ja

Tabelle 11: Zusammenfassung der Ergebnisse Kapitel 8

9 Nutzwertanalyse

9.1 Bestimmung der Bewertungskriterien

Nach Auflistung und Betrachtung der einzelnen potentiellen Neuerungen für BÜ, müssen diese vergleichbar anhand aussagekräftiger Kriterien bewertet werden. Dazu wurden im Rahmen einer ausgiebigen Diskussion acht Bewertungskriterien identifiziert, die in der nachfolgenden Tabelle 12 kurz beschrieben sind. Aufgrund dessen, dass die erzielbare Aussagekraft einer solchen Analyse mit steigender Zahl an Bewertungskriterien sinkt, wird die Quantität der Kriterien als zielführend für die Bewertung der identifizierten Maßnahmen zur Steigerung der Sicherheit an Bahnübergängen erachtet.

Nr.	Kriterium	Charakterisierung
1	Änderungsbedarf des Regelwerks (z. B. EBO)	beschreibt, ob und in welchem Umfang Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, etc. geändert werden müssen, um eine Innovation nutzen zu können
2	zeitlicher Rahmen zur Implementierung	beschreibt den zeitlichen Aufwand, den der Installation einer Innovation am BÜ verursacht; beinhaltet auch Aspekte der Zulassung und Zertifizierung
3	Kostenrahmen der Implementierung	beschreibt den Aufwand an Kosten, der zur Verwirklichung einer Innovation am BÜ aufgebracht werden muss
4	technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage	beschreibt den Grad der Verträglichkeit einer Innovation am BÜ mit Blick auf die dort bereits eingesetzte Technik
5	Verträglichkeit zur Umgebung	beschreibt den Grad der Verträglichkeit einer Innovation am BÜ mit Blick auf die vorhandene Umgebung (Lärmentwicklung, Verkehrsbeziehungen, Wohngebiet, Schulweg)
6	Anfälligkeit	beschreibt den Grad der Anfälligkeit einer Innovation hinsichtlich Störeinflüssen, z. B. Witterung, Sichtverhältnisse, Vandalismus, äußere Einflüsse
7	Wirksamkeit	beschreibt die Ausprägung der Innovation auf den Verkehrsteilnehmer, die BÜ-Sicherheit einhalten zu müssen
8	negative verkehrspsychologische Effekte	beschreibt mögliche Effekte der Innovation hinsichtlich der Dauer der Gewöhnung an selbige oder der Ableitung und Übertragung falscher Erkenntnisse auf andere BÜ

Tabelle 12: Bewertungskriterien

9.2 Wichtung der Bewertungskriterien

Jedes Bewertungskriterium erhält entsprechend seiner Bedeutung eine Wichtung. Diese zeigt, in welchem Verhältnis ein Kriterium in die Bewertung eingeht. Es erfolgt eine Differenzierung in vier Stufen, die Tabelle 13 veranschaulicht.

Wert	Definition
1	untergeordnet
2	wichtig
3	sehr wichtig
4	elementar

Tabelle 13: Kategorien der Wichtung

Darauf aufbauend zeigt Tabelle 14 die Zuordnung der einzelnen Bewertungskriterien zu ihrer Wichtung, die nachfolgend begründet werden.

Nr.	Kriterium	Wertigkeit
1	Änderungsbedarf des Regelwerks	4
2	zeitlicher Rahmen zur Implementierung	2
3	Kostenrahmen der Implementierung	3
4	Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage	2
5	Verträglichkeit zur Umgebung	2
6	Anfälligkeit	1
7	Wirksamkeit	2
8	negative verkehrspsychologische Effekte	1

Tabelle 14: Wichtung der Bewertungskriterien

9.2.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Da für eine Änderung normativer Vorgaben sehr unterschiedliche Prozesse angestoßen werden müssen, welche u. U. äußerst zeitaufwendig sein können, wird dieses Kriterium mit der höchsten Stufe belegt. Als Beispiel für diese Annahme soll eine potentielle Änderung der Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung, welche sich über mehrere Jahre erstrecken würde, dienen.

Die elementare Wichtung dieses Kriteriums hat zur Folge, dass sich ein großer Änderungsbedarf verhältnismäßig stark negativ auf die Bewertung in der NWA auswirkt, während andere nur geringfügige Änderungen vergleichbar positiv ins Gewicht fallen.

9.2.2 Zeitlicher Rahmen der Implementierung

Der Zeitrahmen einer Maßnahme korreliert mit der Kostenentwicklung, soll jedoch unterhalb der Wertigkeit des Kostenrahmens angesiedelt sein. Aus diesem Grund erhält dieses Kriterium die Einordnung „wichtig“.

Bei einer identischen Wichtung der Kategorien Zeit und Kosten, würde eine Differenzierung überflüssig sein. Bestandteil des zeitlichen Aufwands einer Maßnahme bei visionären Projekten ist ebenfalls die notwendige Entwicklungsarbeit bis zur Einsatzreife.

9.2.3 Kostenrahmen der Implementierung

Die anfallenden Kosten der Implementierung werden mit „sehr wichtig“ bewertet, da sie meist als Hauptindikator zur Bewertung einer Maßnahme dienen. Dieser Effekt verstärkt sich noch dadurch, dass im vorliegenden Forschungsprojekt möglichst kostengünstige, aber auch wirksame Innovationen identifiziert werden sollen. Eine potentielle Entwicklungsarbeit wird auch in der Kostenabschätzung berücksichtigt.

9.2.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Dieses Kriterium wird als „wichtig“ eingestuft, da eine Innovation möglichst mit der bestehenden Anlage kompatibel sein sollte, da ansonsten mögliche positive monetäre Effekte durch einen zu aufwendigen Umbau kompensiert werden könnten. Die Neuerung sollte deswegen die grundlegende Philosophie am BÜ und ihre technische Umsetzung nicht völlig verwerfen.

9.2.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Die Verträglichkeit zur Umgebung erhält ebenfalls die Kategorie „wichtig“. Je umfassender der Einsatz einer Innovation möglich ist, desto leichter kann sie sich durchsetzen und mit ihr geplant werden. Dass solche Eigenschaften vorliegen, wird als signifikant angesehen.

9.2.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit der Innovation wird mit „untergeordnet“ bewertet. Sie soll nicht außen vor gelassen werden, jedoch ist davon auszugehen, dass Innovationen für BÜ bis zu einem gewissen Grad dazu geeignet sind, an dieser Stelle eingesetzt zu werden.

9.2.7 Wirksamkeit

Der, die Einhaltung der BÜ-Sicherung hervorruft zwingende Charakter einer Innovation wird mit „wichtig“ eingestuft. Hintergrund dessen ist, dass die Neuerung am BÜ genau an dieser Stelle ansetzen und die Verstöße oder Gefährdungen am BÜ verringern soll.

9.2.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Mögliche negative verkehrspsychologische Effekte werden in der Analyse berücksichtigt, erhalten allerdings nur eine untergeordnete Einstufung. Begründet wird dies damit, dass solche Auswirkungen nur vage vorhersehbar sind und nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle SVT gleich betroffen sein werden.

9.3 Vergleichsmatrix

Nach der Bestimmung und Wichtung der Bewertungskriterien wird eine Vergleichsmatrix gebildet. In dieser wird für jede identifizierte Optimierungsmaßnahme für jedes Bewertungskriterium die Ausprägung bestimmt. So kann ein Bewertungskriterium bei einer technischen Neuerung hoch, mittel oder gering ausgeprägt sein. Je nachdem, ob eine hohe oder eine geringe Ausprägung vorteilhaft ist (z. B. hohe Verträglichkeit im Vergleich zu niedrigen Kosten), wird ein Faktor ermittelt, der die Stufen 1, 2 oder 3 erreichen kann. Dabei ist das System so aufgebaut, dass dem Ziel des Projekts dienliche Eigenschaften immer viele Punkte erreichen und dem entgegenstehende Eigenschaften nur schwach bepunktet werden.

Anschließend wird für jedes Bewertungskriterium das Produkt aus Faktor und Wichtung gebildet und diese spaltenweise aufsummiert. Diese Methodik kommt bei allen Innovationen in jedem Bewertungskriterium zum Einsatz. So entsteht eine punktemäßige Vergleichbarkeit der Systeme. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 62 bildlich dargestellt.

Nr.	Bewertungskriterium	Wichtung	Ausprägung des Bewertungskriteriums	Faktor der Ausprägung	Rotlichtüberwachung	
					x	
1	Änderungsbedarf des Regelwerks	4	hoch	1		
			mittel	2		
			gering	3	x	12
2	Kostenaufwand	3	hoch	1		
			mittel	2	x	6
			gering	3		
				Ergebnis		18

Wichtung * Ausprägungsfaktor = Punktzahl

Punktzahl 1 + Punktzahl 2 = Ergebnis

Abbildung 62: Eintragung und Berechnung in der Vergleichsmatrix

9.4 Besonderheiten bei der Ausprägung

Bei einigen Bewertungskriterien ist die Angabe weiterer Details bei der Wahl der Ausprägung erforderlich, um die Nachvollziehbarkeit der Nutzwertanalyse zu erhöhen.

9.4.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Die Ausprägung des Änderungsbedarfs des Regelwerks orientiert sich an der Art des zu ändernden Regelwerks. Muss die EBO [4], eine andere Rechtsverordnung oder sogar ein Gesetz geändert werden, erfolgt eine hohe Ausprägung. Müssen Richtlinien (Ril) der DB, wie z. B. Ril 815 [18], geändert werden, handelt es sich um eine mittlere Ausprägung. Änderungen in anderweitigen Regelwerken bzw. Regularien verursachen nur eine geringe Ausprägung.

9.4.2 Kostenrahmen der Implementierung

Um die Kosten in die Nutzwertanalyse einordnen zu können wird eine einfache dreistufige Tabelle mit Zahlenwerten hinterlegt. Je nachdem, in welchem Segment sich die Innovation befindet, erfolgt die Ausprägung des Bewertungskriteriums in der Vergleichsmatrix. Die Kosten in Abstufung von definierten Größenordnungen zeigt Tabelle 15.

Ausprägung	Kosten
gering	kleiner 30.000 EUR
mittel	30.000 EUR bis 100.000 EUR
hoch	größer 100.000 EUR

Tabelle 15: Ausprägung des Kriteriums des Kostenaufwands

9.4.3 Wirksamkeit

Wird eine Optimierungsmaßnahme betrachtet, welche die Wirksamkeit der BÜ-Sicherung in Bezug auf das Verhalten des SVT nicht ändert, aber dennoch positive Effekte z. B. bei der Kostenentwicklung hat, erfolgt automatisch eine mittlere Einstufung.

9.5 Weiteres Vorgehen

Die Nutzwertanalyse als Ganzes wird in vier Teilbereiche aufgeteilt. Dies lässt sich damit begründen, dass der Einsatz der jeweiligen Innovation nicht unbedingt an jeder BÜ-Technik sinnvoll bzw. möglich ist. Die Nutzwertanalyse wird somit für die Bereiche:

- nichttechnisch gesicherte BÜ,
- BÜ mit Lichtzeichen,
- BÜ mit Halbschranken sowie
- technische GFR an BÜ mit Vollabschluss

durchgeführt. Für jeden Teilbereich erfolgt eine Auswahl an Innovationen, die in der Nutzwertanalyse betrachtet werden und für die vorliegende Technik sinnvoll sind. Weiter begründet ist die Definition der ersten drei Bereiche der Analyse damit, dass die genannten Sicherungsarten ein überproportional hohes Unfallgeschehen im Verhältnis zu ihrem Bestand aufweisen. Sie werden deswegen als diejenigen Punkte identifiziert, denen erhöhte Aufmerksamkeit bei der Verbesserung der Sicherheit geschenkt werden muss bzw. wo mit Blick auf die Senkung der Unfallzahlen viel erreicht werden kann.

Die Betrachtung von BÜ mit Vollabschluss und ggf. installierter GFR erfolgt in einem separaten Abschnitt der Nutzwertanalyse. Sie weisen im Verhältnis zum Bestand zwar nur wenige Unfälle auf und sind durch den Vollabschluss und die GFR technisch ausreichend abgesichert. Die vorangestellten Erkenntnisse zeigen jedoch, dass ein vermehrter Einsatz von Vollabschlüssen positiv zu beurteilen ist. Damit geht eine notwendige Erweiterung und Kostensenkung der technischen Gefahrenraumfreimeldung einher.

9.6 Nutzwertanalyse für nichttechnisch gesicherte BÜ

Die hier angeführte Nutzwertanalyse wird für alle Innovationen durchgeführt, die an nichttechnisch gesicherten BÜ sinnvoll eingesetzt werden können. Hierzu zählen:

- Micro-Anlage (siehe Kapitel 7.2.1),

- NavTrain (siehe Kapitel 7.2.6),
- Satellitenortung (siehe Kapitel 7.1.3),
- Verkehrserziehung (siehe Kapitel 7.3),
- Blitzlichter (siehe Kapitel 8.1.1),
- Rüttelstreifen (siehe Kapitel 8.2.1),
- Kommunikation zwischen Straße und Schiene (siehe Kapitel 8.3.4) sowie
- Verkehrszeichenerkennung (siehe Kapitel 8.3.5).

Dazu wird in den nachfolgenden Abschnitten jede Innovation in den definierten Bewertungskriterien begründet eingeordnet. Eine Übersicht der Bewertungen und Innovationen ist in Anhang A.5 enthalten.

9.6.1 Micro-Anlage

9.6.1.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Durch die Einführung eines neuen Zustands am BÜ wird Änderungsbedarf für das Regelwerk entstehen. Es erfolgt eine hohe Einstufung.

9.6.1.2 Zeitaufwand

Durch den Inselbetrieb wird ein geringer Zeitaufwand eingeschätzt.

9.6.1.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand beträgt über 100.000 EUR nach der hier verwendeten Kostenmatrix.

9.6.1.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Dieses Kriterium hat eine hohe Ausprägung, da am nichttechnisch gesicherten BÜ keine inkompatible Technik vorgefunden werden kann.

9.6.1.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Dieses Kriterium hat ebenfalls eine hohe Ausprägung. Die Weiterentwicklung der Anlage vom Blitzlicht zur LSA vermeidet als Nebeneffekt eine eventuelle Beeinträchtigung von Anwohnern im Umfeld der BÜ-Anlage.

9.6.1.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit der Maßnahme wird mit einer geringen Ausprägung bewertet, da kein plausibler Grund identifiziert werden kann, welcher eine mittlere Einstufung rechtfertigen würde.

9.6.1.7 Wirksamkeit

Dieses Kriterium ist hoch ausgeprägt, da eine vorhandene technische Sicherung mit LSA im Vergleich zu einem durch Übersicht gesicherten BÜ sehr viel eindringlicher ein Haltegebot zu vermitteln im Stande ist.

9.6.1.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Aufgrund des bereits bekannten Verhaltens der LSA bei Störungen für den SVT, wird nicht davon ausgegangen, dass die Micro-Anlage negative verkehrspsychologische Effekte verursacht.

9.6.2 NavTrain

9.6.2.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Durch die Bereitstellung der Daten beim SVT wird kein Änderungsbedarf beim Regelwerk erzeugt. Die Ausprägung ist daher gering.

9.6.2.2 Zeitaufwand

Die Technik befindet sich noch im Pilotbetrieb. Durch den notwendigen Zeitaufwand, der bis zu einer Marktreife des Systems erforderlich ist, erfolgt eine mittlere Einstufung.

9.6.2.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand wird aufgrund der noch zu leistenden Entwicklungsarbeit mit einer mittleren Einschätzung belegt.

9.6.2.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Das System arbeitet bei nichttechnisch gesicherten BÜ unabhängig von der Technik am BÜ vor Ort. Dadurch kann keine technische Unverträglichkeit entstehen. Das Kriterium ist hoch ausgeprägt.

9.6.2.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Eine Beeinträchtigung der Umgebung ist nicht vorhanden, deswegen ist die Ausprägung hoch.

9.6.2.6 Anfälligkeit

Da für das Funktionieren des Systems eine ständig aufgebaute Internetverbindung während der Fahrt erforderlich ist, erhält die Ausprägung der Anfälligkeit eine mittlere Einordnung.

9.6.2.7 Wirksamkeit

„NavTrain“ stellt für den SVT keine nicht überwindbare Hürde dar, sondern dient lediglich der Aufmerksamkeitserhöhung bzw. frühzeitigen Warnung, die ein angepasstes Verhalten hervorrufen soll. Die Wirksamkeit erhält daher eine mittlere Einstufung.

9.6.2.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Solche Effekte können entstehen, wenn sich der SVT auf die Zuverlässigkeit seiner im Fahrzeug verfügbaren Dienste vollkommen verlässt. Die Ausprägung des Kriteriums erfolgt daher in einer mittleren Einstufung.

9.6.3 Satellitengestützte Ortung

9.6.3.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Durch eine Installation von warnenden Blinklichtern am nichttechnisch gesicherten BÜ ist eine Anpassung von Planungsrichtlinien erforderlich. Das Kriterium erhält eine mittlere Ausprägung.

9.6.3.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand wird mit einer mittleren Ausprägung evaluiert, da die zusätzliche Ausrüstung von nichttechnisch gesicherten BÜ mit Blinklichtern nicht als geringer Aufwand eingeschätzt wird.

9.6.3.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand durch die Ausrüstung eines BÜ mit Blinklichtern und die Entwicklung der Technik, welche eine satellitengestützte Einschaltung ermöglichen soll, wird als hohe Ausprägung bewertet.

9.6.3.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die technische Verträglichkeit wird durch keine bisher vorhandene Technik am BÜ eingeschränkt. Die Ausprägung ist daher hoch.

9.6.3.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Eine herabgestufte Verträglichkeit zur Umgebung ist nicht ersichtlich, die Ausprägung dieses Kriteriums ist daher hoch.

9.6.3.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit wird durch die autarke Stromversorgung der Blinklichter und der Notwendigkeit einer dauerhaften Satellitenkommunikation als mittel eingestuft.

9.6.3.7 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit wird als hoch ausgeprägt angesehen.

9.6.3.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Trotz Warnanzeige gilt am nichttechnisch gesicherten BÜ der Grundsatz des Sicherns durch Übersicht. Daraus können negative Effekte entstehen. Die Ausprägung wird im mittleren Bereich evaluiert.

9.6.4 Verkehrserziehung

9.6.4.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Eine Änderung des Regelwerks ist nicht erforderlich. Daraus folgt eine geringe Ausprägung dieses Bewertungskriteriums.

9.6.4.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand von Schulungen und Unterricht wird mit hoher Ausprägung eingeschätzt.

9.6.4.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand wird durch die erforderlichen Ressourcen Material, Personal und Organisation ebenfalls als hoch eingeschätzt, wenn bundesweit für alle Nutzergruppen Effekte Erzeugt werden sollen.

9.6.4.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage ist von dieser Maßnahme nicht beeinträchtigt. Die Ausprägung ist hoch.

9.6.4.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Dieses Kriterium ist nicht beeinträchtigt. Die Ausprägung ist hoch.

9.6.4.6 Anfälligkeit

Bei der Verkehrserziehung ist dieses Kriterium nicht relevant. Die Ausprägung ist daher gering.

9.6.4.7 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der Schulung und Auffrischung des Wissens über BÜ wird als hoch eingeschätzt, da viele Verstöße auf Unkenntnis beruhen (siehe Kapitel 5.1.2).

9.6.4.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Die Verkehrserziehung soll genau solchen negativen Effekten vorbeugen. Die Ausprägung ist daher gering.

9.6.5 Blitzlichter

9.6.5.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Es wird davon ausgegangen, dass Planungsrichtlinien für den Einsatz des Systems „PeriLight“ angepasst bzw. ergänzt werden müssen. Das Kriterium erhält daher eine mittlere Ausprägung.

9.6.5.2 Zeitaufwand

Aufgrund des unbekanntem Zulassungsstatus wird ein mittlerer Zeitaufwand bis zur Implementierung erwartet.

9.6.5.3 Kostenaufwand

Es wird ein geringer Kostenaufwand im Bereich zwischen 10.000 bis 15.000 EUR pro BÜ erwartet.

9.6.5.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Dieses Kriterium wird mit einer hohen Ausprägung eingestuft, da bei nichttechnisch gesicherten BÜ keine Unverträglichkeit zu einer vorhandenen Technik auftreten kann.

9.6.5.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Dieses Kriterium wird mit einer geringen Ausprägung versehen, da davon ausgegangen wird, dass das Blitzlicht vor allem in Wohngebieten als störend empfunden werden kann.

9.6.5.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit erhält eine mittlere Ausprägung, da das System durch Bewuchs oder Vandalismus leicht außer Betrieb gesetzt werden kann. Auch witterungsbedingte Einflüsse wie Blätterhaufen oder Schneeverwehungen sind nicht auszuschließen.

9.6.5.7 Wirksamkeit

Hinsichtlich der Wirksamkeit wird eine hohe Ausprägung gewählt, da die Blitzlichter dazu führen, dass der Wegbenutzer unbewusst auf die Bahnstrecke achtet und somit keine zusätzlichen kognitiven Prozesse erforderlich sein sollen.

9.6.5.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Dieses Kriterium wird mit einer hohen Ausprägung evaluiert, da der Vorteil der eisenbahnunabhängigen Implementierung sich hier zum Nachteil wandelt. Kraftfahrzeugführer können durch das Erlernen der Tatsache, dass am BÜ quasi immer etwas blinkt, unabhängig von einer stattfindenden Schienenfahrzeugbewegung, gefährliche Schlussfolgerungen für BÜ mit technischer Sicherung durch Lichtzeichen ziehen.

9.6.6 Rüttelstreifen

9.6.6.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Der Einsatz von Rüttelstreifen macht Anpassungen des Planungsregelwerks erforderlich, daher erfolgt eine mittlere Einstufung.

9.6.6.2 Zeitaufwand

Die notwendigen Markierungsarbeiten werden in ihrem Zeitaufwand als vergleichsweise gering eingestuft.

9.6.6.3 Kostenaufwand

Dieses Kriterium wird ebenfalls mit gering bewertet, da diese Maßnahme als klassische „*low-cost-measure*“ angesehen wird.

9.6.6.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Da bei nichttechnisch gesicherten BÜ keine Unverträglichkeit zu einer vorhandenen Technik auftreten kann, wird dieses Kriterium mit einer hohen Ausprägung eingestuft.

9.6.6.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Eine geringe Verträglichkeit zur Umgebung wird infolge einer mitunter erheblichen Lärmentwicklung bei (schneller) Überführung der Rüttelstreifen definiert. Dieser Lärm kann in der näheren Umgebung zum BÜ als störend empfunden werden. Weiter muss beachtet werden, dass sich die Rüttelstreifen nur bei einem geraden Straßenverlauf gut anordnen lassen.

9.6.6.6 Anfälligkeit

Rüttelstreifen unterliegen dem Verschleiß und sind mit einer Lebenszeit von nur fünf Jahren beschrieben (vgl. [52]). Daher erhält dieses Kriterium die Einstufung im mittleren Bereich.

9.6.6.7 Wirksamkeit

Ein unmittelbarer Zwang zur Einhaltung der am BÜ geforderten Geschwindigkeit oder zur erhöhten Aufmerksamkeit wird nicht erreicht, weswegen die Ausprägung des Kriteriums als gering angesehen wird.

9.6.6.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Negative verkehrspsychologische Effekte werden hier nicht erkannt, woraus eine Einstufung im geringen Bereich resultiert.

9.6.7 Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X)

9.6.7.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Ein Änderungsbedarf ist zunächst nicht ersichtlich, daher wird dieses Kriterium mit geringer Ausprägung evaluiert.

9.6.7.2 Zeitaufwand

Wird die notwendige Entwicklungsarbeit einbezogen, ist ein hoher Zeitaufwand notwendig.

9.6.7.3 Kostenaufwand

Analog zum Zeitaufwand ist der Kostenaufwand ebenfalls hoch

9.6.7.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die technische Verträglichkeit bleibt in vollem Umfang erhalten, da das System nur zusätzliche Informationen bereitstellt. Sollte es gestört sein, bleibt die BÜ-Sicherung davon unberührt. Daher wird die Ausprägung des Kriteriums mit hoch eingestuft.

9.6.7.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Infolgedessen, dass keine offensichtlichen Beeinträchtigungen der Umgebung zu erwarten sind, erfüllt dieses Kriterium eine hohe Ausprägung.

9.6.7.6 Anfälligkeit

Da über dieses Kriterium keine genauen Informationen verfügbar sind, wird es in neutraler Position auf mittlere Ausprägung festgesetzt.

9.6.7.7 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit wird mit mittlerer Ausprägung bewertet. Hintergrund dessen ist, dass die Kommunikation zwischen Sfz und Kfz ausschließlich dann funktioniert, wenn die Verkehrsmittel mit der Technologie ausgestattet sind.

9.6.7.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Ein nicht infrage gestelltes Vertrauen auf die Technologie und deren Instrumentenanzeigen im Kfz kann zu einer kritischen Situation an nichttechnisch gesicherten BÜ führen. Der Kraftfahrzeugführer kann auf die gebräuchliche Meldung eines sich nähernden Sfz bei technisch gesicherten BÜ falsche Rückschlüsse bei nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen ableiten. Daher erfolgt die Einstufung in mittlerer Ebene.

9.6.8 Verkehrszeichenerkennung

9.6.8.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Durch die automatische Erkennung von Verkehrszeichen im Straßenfahrzeug entsteht kein Änderungsbedarf bei Regelwerken.

9.6.8.2 Zeitaufwand

Die Implementierung dieser Innovation steht abseits des Systems Eisenbahn. Die Einstufung erfolgt deswegen im geringen Bereich.

9.6.8.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand zur Weiterentwicklung des Systems, damit es die Verkehrszeichen 151, 156 und 201 zuverlässig erkennt, wird als mittel eingestuft.

9.6.8.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Das System arbeitet unabhängig von der Technik oder Sicherung des BÜ vor Ort. Das Kriterium ist folglich hoch ausgeprägt.

9.6.8.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Für die Umgebung entsteht keine Beeinträchtigung durch die Verkehrszeichenerkennung, daher ist dieses Kriterium hoch ausgeprägt.

9.6.8.6 Anfälligkeit

Dieses Kriterium wird mit einer mittleren Ausprägung bewertet, da davon auszugehen ist, dass starke Witterungseinflüsse die Zuverlässigkeit der Erkennung von Verkehrszeichen negativ beeinflussen können. Auch könnte der Fall eintreten, dass Verkehrszeichen durch Beschädigungen oder Bewuchs nicht erkannt werden können.

9.6.8.7 Wirksamkeit

Die Anzeige des Verkehrszeichens verbunden mit einem Warnton über die Instrumente beim Kraftfahrzeugführer stellt keinen Zwang zur Einhaltung der am BÜ gebotenen Verhaltensregeln dar. Außerdem ist das System nicht für Fußgänger oder Radfahrer verfügbar. Die Wirksamkeit erhält deswegen eine geringe Ausprägung.

9.6.8.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Da das System unabhängig von einer stattfindenden Zufahrt die Verkehrszeichen immer auf den Instrumenten anzeigt, gilt es als wahrscheinlich, dass ein Gewöhnungseffekt beim Kraftfahrzeugführer Einzug hält. Daher wird dieses Kriterium mit einer mittleren Ausprägung evaluiert.

9.6.9 Ergebnis der NWA für nichttechnisch gesicherte BÜ

Das Ergebnis der NWA für nichttechnisch gesicherte BÜ zeigt Abbildung 63.

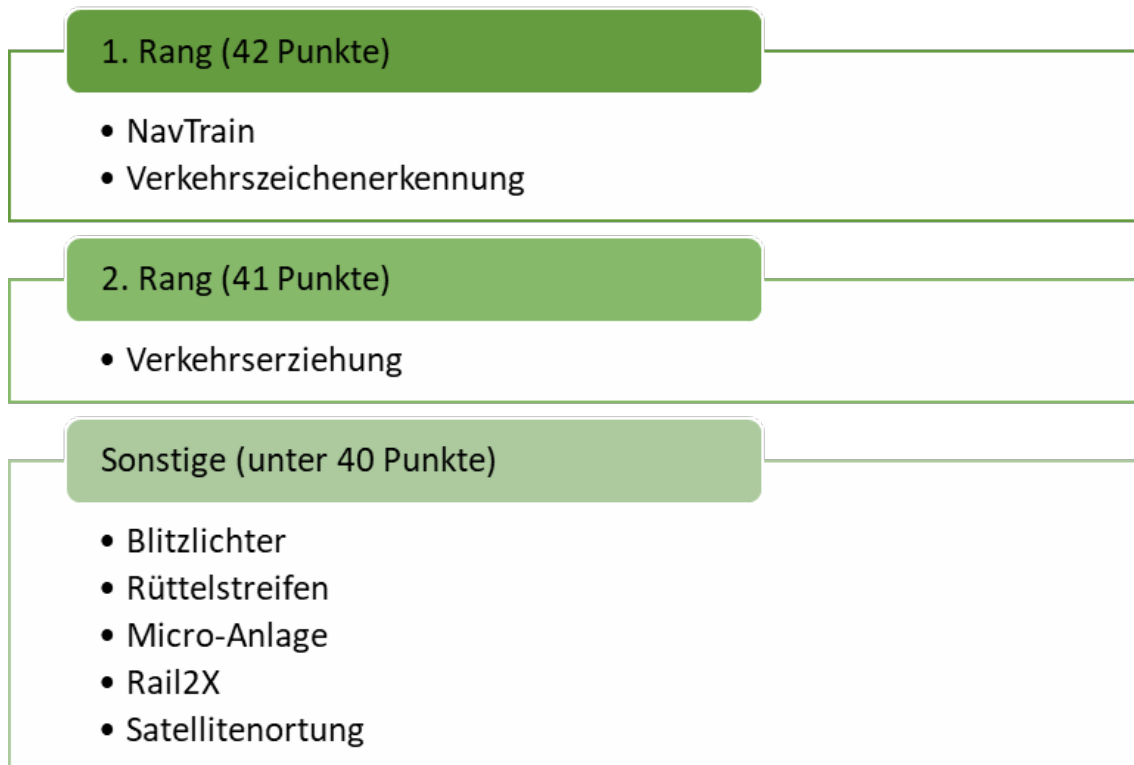


Abbildung 63: Ergebnis der NWA für nichttechnisch gesicherte BÜ

Hervorragende Optimierungsmöglichkeiten von nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen bilden Informationsanzeigen im Smartphone („NavTrain“) bzw. im Kfz selbst (Verkehrszeichenerkennung) mit 42 Punkten bei einer maximalen Gesamtpunktzahl von 51 Punkten. Durch die Aufmerksamkeitserhöhung der SVT auf den Risikopunkt BÜ kann nach ersten Studien ein Sicherheitsgewinn nachgewiesen werden.

Die Maßnahme der Verkehrserziehung belegt in ihrer angedachten umfangreichen Form aufgrund des hohen Zeit- und Kostenaufwands lediglich den zweiten Platz dieser NWA. Nichtsdestotrotz verfügt diese Maßnahme über eine geringe Anfälligkeit bei gleichzeitiger hoher Wirksamkeit und äußerst geringen negativen verkehrspsychologischen Effekte über Potential. Eventuell kann sie in mehrere Umsetzungsstufen aufgeteilt werden, was das Ergebnis der NWA verbessern würde (Reduzierung von Kosten- und Zeitaufwand). Hierbei sollte bei Kraftfahrzeugführern zuerst angesetzt werden, da sie die höchste Beteiligung an Unfällen am BÜ vorweisen.

Die Einführung von Micro-Anlagen zur Sicherheitserhöhung an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen hat grundsätzlich Potential. Allerdings konnte das Low-Cost-BÜ-Konzept infolge der fehlenden rechtlichen Vereinbarkeit sowie des hohen Kostenaufwands insbesondere für die Stromversorgung keine zufriedenstellende Bewertung erreichen.

9.7 Nutzwertanalyse für technisch gesicherte BÜ mit Lichtzeichen

Die hier angeführte Nutzwertanalyse wird für alle Innovationen durchgeführt, die an technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen sinnvoll eingesetzt werden können. Hierzu zählen:

- Rotlichtüberwachung (siehe Kapitel 7.1.1),
- Funktechnologie (siehe Kapitel 7.1.2),
- Rundumleuchte (siehe Kapitel 7.1.7),
- Fahrbahnlichter (siehe Kapitel 7.2.3),
- Klappbares Hindernis (siehe Kapitel 7.2.5)
- NavTrain (siehe Kapitel 7.2.6),
- Verkehrserziehung (siehe Kapitel 7.3),
- Rüttelstreifen (siehe Kapitel 8.2.1),
- akustische Sensorik (siehe Kapitel 8.1.2),
- kabellose Achszähler (siehe Kapitel 8.1.3),
- RCAS (siehe Kapitel 8.3.2),
- Kommunikation zwischen Straße und Schiene (siehe Kapitel 8.3.4) sowie
- Verkehrszeichenerkennung (siehe Kapitel 8.3.5).

Dazu wird in den nachfolgenden Abschnitten jede Innovation in jedem Bewertungskriterium begründet eingeordnet. Eine Übersicht der Bewertungen und Innovationen ist in Anhang A.6 enthalten.

9.7.1 Rotlichtüberwachung

9.7.1.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Durch eine zusätzliche Überwachung der Einhaltung des Rotlichts wird zum gegenwärtigen Projektstand kein Anpassungsbedarf bei den Regelwerken identifiziert. Die Ausprägung ist daher gering.

9.7.1.2 Zeitaufwand

Der zeitliche Aufwand wird als gering evaluiert, da kein baulicher Eingriff in die Funktionseinheiten der BÜ-Anlage erfolgen muss.

9.7.1.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand besitzt mit 50.000 bis 60.000 EUR nach Tabelle 15 eine mittlere Ausprägung.

9.7.1.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die Rotlichtüberwachung muss in die BÜSA implementiert werden, sodass eine Aktivierung bei eingeschalteten Lichtzeichen realisiert wird. Dies ist schaltungstechnisch umsetzbar, weshalb das Kriterium mit hoher Ausprägung eingestuft wird.

9.7.1.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Bei einer Anwendung der Umsetzungsstrategie für EdB ist es lediglich erforderlich einen gewissen Abstand zwischen Kamera und Rotlicht herzustellen. Dies sollte ähnlich zur im Straßenverkehr angewandten „Rotlichtblitzern“ sein. Das Vorhandensein der notwendigen Distanz kann nicht an jedem BÜ angenommen werden, deswegen erfolgt eine mittlere Ausprägung.

9.7.1.6 Anfälligkeit

Die Rotlichtüberwachung ist speziell für den Einsatz im Straßenverkehr sowie an BÜ ausgelegt. Es erfolgt daher eine Einstufung mit geringer Ausprägung.

9.7.1.7 Wirksamkeit

Das System schafft zwar kein physisches Hindernis, welches ein Überfahren des BÜ verhindert. Jedoch ist die Erfassung des verkehrsrechtlichen Vergehens der Überfahung bei Rotlicht in der Lage eine große Hemmschwelle beim SVT zu erzeugen. Daher wird die Wirksamkeit als hoch bewertet.

9.7.1.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Das System erzeugt positive verkehrspsychologische Effekte. Somit ist eine geringe Ausprägung des Kriteriums vorhanden.

9.7.2 Funktechnologie

9.7.2.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Die Einschaltung der BÜSA über eine neue Technologie erfordert ggf. eine Regelwerksänderung auf Basis von Planungsrichtlinien. Daher wird dieses Kriterium mit mittlerer Ausprägung bewertet.

9.7.2.2 Zeitaufwand

Unter Berücksichtigung der bis zur Implementierung erforderlichen Entwicklungsarbeit ist ein hoher Zeitaufwand notwendig.

9.7.2.3 Kostenaufwand

Unter Berücksichtigung der bis zur Implementierung erforderlichen Entwicklungs- und Zulassungsarbeit ist ebenfalls ein hoher Kostenaufwand notwendig.

9.7.2.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Da hier eine in ihrer Art völlig neue Einschaltung verwirklicht wird, kann nicht von einer vollkommenen technischen Verträglichkeit zu vorhandenen Anlagen ausgegangen werden. Außerdem stellt die Einschaltung mit fahrzeugseitig installierten Komponenten über drahtlose Kommunikation mit der BÜ-Anlage einen Paradigmenwechsel dar, weswegen dieses Kriterium mit niedriger Ausprägung bewertet wird.

9.7.2.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Die Umgebung wird durch den Einsatz der drahtlosen Übertragung und den passiven Balisen nicht beeinträchtigt. Deswegen ist die Einstufung hoch.

9.7.2.6 Anfälligkeit

Eine besondere Anfälligkeit wird nicht erkannt, daher wird das Kriterium mit gering bewertet.

9.7.2.7 Wirksamkeit

Durch die neue Art der Ansteuerung des BÜ ändert sich an der Wirksamkeit der Anlage aus Sicht des SVT nichts. Nach Kapitel 9.4.3 folgt daher eine mittlere Ausprägung.

9.7.2.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Negative verkehrspsychologische Effekte sind nicht ersichtlich. Die Ausprägung ist gering.

9.7.3 Rundumleuchte

9.7.3.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Eine Rundumleuchte ist kein Lichtzeichen oder Blinklicht. Deswegen bedarf es einer Anpassung von Planungsrichtlinien. Die Einstufung erfolgt in mittlerer Ebene.

9.7.3.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand für den Einbau wird als gering angesehen.

9.7.3.3 Kostenaufwand

Korrelierend zum Zeitaufwand wird ein geringer Kostenaufwand erwartet.

9.7.3.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage wird als nicht beeinträchtigt angesehen. Daraus ergibt sich eine hohe Einstufung.

9.7.3.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Dadurch, dass die Rundumleuchte keinen direkten Richtungsbezug aufweist, kann die Umgebung des BÜ gestört oder geblendet werden. Die Einstufung erfolgt daher in der Ebene gering.

9.7.3.6 Anfälligkeit

Es wird nicht davon ausgegangen, dass die Rundumleuchte eine bestimmte Anfälligkeit aufweist. Die Ausprägung ist somit gering.

9.7.3.7 Wirksamkeit

Da die Rundumleuchte keinen Zwang zur Einhaltung der aktiven BÜ-Sicherung aufzubauen imstande ist, erhält ihre Wirksamkeit eine mittlere Ausprägung.

9.7.3.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Es wird nicht davon ausgegangen, dass eine Rundumleuchte negative verkehrspsychologische Effekte hervorruft. Die Ausprägung des Kriteriums ist folglich gering.

9.7.4 Fahrbahnlichter

9.7.4.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Die Installation von Fahrbahnlichtern könnte einen Änderungsbedarf der Ril 815 [18] nach sich ziehen. Deswegen erfolgt eine mittlere Einstufung.

9.7.4.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand der Installation am BÜ wird im Vergleich zu anderen Maßnahmen als eher gering angesehen.

9.7.4.3 Kostenaufwand

Die Kosten für die Ausrüstung eines BÜ werden mit maximal 30.000 EUR angegeben. Damit kann eine Einordnung in der Stufe gering erfolgen.

9.7.4.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die Fahrbahnlichter müssen schaltungstechnisch mit dem Aufleuchten des Rotlichts verbunden werden. Dies ist als unproblematisch anzusehen und wird damit mit einer hohen technischen Verträglichkeit evaluiert.

9.7.4.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Die zusätzlichen roten Lichter in der Fahrbahn leuchten nur bei aktivem Rotlicht auf. Eine Beeinträchtigung der Umgebung wird darin nicht gesehen. Die Ausprägung ist daher hoch.

9.7.4.6 Anfälligkeit

Die Lichter werden in die Fahrbahn eingelassen und entsprechen einschlägigen Werten der Festigkeit in diesem Einsatzgebiet. Daher wird die Anfälligkeit der Fahrbahnlichter als gering angesehen.

9.7.4.7 Wirksamkeit

Die Fahrbahnlichter erzeugen keinen physischen Zwang, wirken aber psychologisch als optische Schranke und verstärken damit die Bedeutung des Rotlichts. Das Kriterium wird daher als mittel ausgeprägt angesehen.

9.7.4.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Wie in Kapitel 9.7.4.7 genannt, erzeugen Fahrbahnlichter positive verkehrspsychologische Effekte. Die Ausprägung ist somit gering.

9.7.5 Klappbares Hindernis

9.7.5.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Die Verwendung von klappbaren Hindernissen zieht eine Änderung von Planungsrichtlinien nach sich. Die Einstufung ist daher mittel.

9.7.5.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand wird als mittel eingestuft, da die Integration der mechanischen Klappen in die Straßenoberfläche als signifikanter Eingriff in die Infrastruktur des BÜ angesehen wird.

9.7.5.3 Kostenaufwand

Es liegen keine detaillierten Angaben über den Kostenaufwand vor. Die Einstufung erfolgt daher im mittleren Bereich.

9.7.5.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Ähnlich zum Zeitaufwand wird die technische Verträglichkeit mit mittel bewertet.

9.7.5.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Die Verträglichkeit zur Umgebung ist durch das klappbare Hindernis nicht beeinträchtigt. Die Ausprägung ist daher hoch.

9.7.5.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit wird mit der Ausprägung hoch versehen. Es ist davon auszugehen, dass die mechanischen Bauteile Verschleißerscheinungen sowie witterungsbedingten Einflüssen oder gar Manipulationen direkt ausgeliefert sind.

9.7.5.7 Wirksamkeit

Durch die Schaffung einer zusätzlichen physischen Barriere wird der SVT aktiv am Befahren des BÜ gehindert. Die Wirksamkeit erhält deshalb eine hohe Ausprägung.

9.7.5.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Negative Effekte sind nicht zu erkennen, daher erfolgt eine geringe Ausprägung.

9.7.6 NavTrain

Diese Optimierungsmaßnahme entspricht in den Punkten

- Änderungsbedarf des Regelwerks,
- zeitlicher Rahmen der Implementierung,
- Kostenrahmen der Implementierung,
- Verträglichkeit zur Umgebung,
- Anfälligkeit,
- Wirksamkeit und
- negative verkehrspsychologische Effekte

genau den Bewertungen im Kapitel 9.6.2.

9.7.6.1 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die Anwendung erhält dynamische Daten von technisch gesicherten BÜ zum Sicherungszustand der Anlage. Die Bereitstellung dieser Daten erfolgt durch den Infrastrukturbetreiber. Probleme mit der technischen Verträglichkeit sind nicht ersichtlich. Die Einstufung ist daher hoch.

9.7.7 Verkehrserziehung

Die Bewertungskriterien der Verkehrserziehung bei technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen sind identisch zu denen bei nichttechnisch gesicherten BÜ (siehe Kapitel 9.6.4).

9.7.8 Rüttelstreifen

Auch für Rüttelstreifen gilt die gleiche Bewertung wie in Kapitel 9.6.6.

9.7.9 Akustische Sensorik

9.7.9.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Die Einschaltung der BÜSA über eine neue Technologie erfordert eine Regelwerksänderung auf Basis von Planungsrichtlinien. Daher wird dieses Kriterium mit mittlerer Ausprägung bewertet.

9.7.9.2 Zeitaufwand

Unter Berücksichtigung der bis zur Implementierung erforderlichen Entwicklungsarbeit ist ein hoher Zeitaufwand notwendig.

9.7.9.3 Kostenaufwand

Unter Berücksichtigung der bis zur Implementierung erforderlichen Entwicklungsarbeit ist ebenfalls ein hoher Kostenaufwand notwendig.

9.7.9.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Da hier eine in ihrer Art völlig neue Einschaltung verwirklicht wird, kann nicht von keiner vollkommenen technischen Verträglichkeit zu vorhandenen Anlagen ausgegangen werden. Außerdem ist das Vorhandensein eines Glasfaserkabels an der Strecke notwendig. Die Einstufung erfolgt deswegen im mittleren Segment.

9.7.9.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Die Verträglichkeit zur Umgebung wird als hoch angesehen, da keinerlei einschränkende Einflüsse identifiziert werden können.

9.7.9.6 Anfälligkeit

Dieses Kriterium wird mit mittlerer Ausprägung gewählt, da die Vergangenheit zeigt, dass immer wieder gezielte Angriffe auf zentral wichtige Kabeltrassen ausgeführt wurden und damit die Verfügbarkeit auch von BÜ-Anlagen eingeschränkt wäre.

9.7.9.7 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit wird als mittel ausgeprägt angesehen, da nur die Art der Einschaltung betroffen ist. An der eigentlichen BÜ-Sicherung ändert sich nichts.

9.7.9.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Es wurden keine negativen Effekte lokalisiert. Daher ist die Ausprägung dieses Kriteriums nur gering.

9.7.10 Kabellose Achszähler

9.7.10.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Ein Änderungsbedarf ist nicht ersichtlich, daher wird dieses Kriterium mit geringer Ausprägung bewertet.

9.7.10.2 Zeitaufwand

Unter Berücksichtigung des Zeitaufwands, der bis zur Einsatzreife erforderlich ist, wird dieses Kriterium mit einer mittleren Ausprägung versehen.

9.7.10.3 Kostenaufwand

Unter Berücksichtigung des Kostenaufwands, der bis zur Einsatzreife erforderlich ist, wird dieses Kriterium gleichermaßen mit einer mittleren Ausprägung bewertet.

9.7.10.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Dieses Kriterium wird in mittlerer Ausprägung eingestuft, da eine Kabelschnittstelle in eine Funkschnittstelle umgewandelt werden muss. Somit muss doch umfassend in die vorhandene Anlage eingegriffen werden.

9.7.10.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Die drahtlose Kommunikation von Achszählern mit der BÜ-Anlage wird als unabhängig von der übrigen Umgebung angesehen. Deshalb erreicht dieses Kriterium eine hohe Ausprägung.

9.7.10.6 Anfälligkeit

Dieses Kriterium erreicht eine mittlere Ausprägung, da die autarke Stromversorgung des Achszählers eine mögliche Schwachstelle darstellt.

9.7.10.7 Wirksamkeit

Dieses Kriterium ist mittel ausgeprägt, da der Achszähler, abgesehen vom Übertragungsweg seiner Information, herkömmlich mit der Anlage zusammenwirkt.

9.7.10.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Negative verkehrspsychologische Effekte sind nicht ersichtlich, daher wird eine geringe Ausprägung erreicht.

9.7.11 RCAS

9.7.11.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

RCAS bedingt eine Anpassung von Planungsrichtlinien. Infolgedessen wird dieses Kriterium mit mittlerer Ausprägung bewertet.

9.7.11.2 Zeitaufwand

Wird die weiterhin notwendige Entwicklung des Systems berücksichtigt, ist der zeitliche Aufwand als hoch zu bewerten.

9.7.11.3 Kostenaufwand

Analog zum Zeitaufwand ist der Kostenaufwand ebenfalls hoch.

9.7.11.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Dieses Kriterium wird mit niedriger Ausprägung bewertet. Dies liegt darin begründet, dass die Einschaltung mit fahrzeugseitig installierten Komponenten über drahtlose Kommunikation mit der BÜ-Anlage verwirklicht wird. Dies stellt einen Paradigmenwechsel in diesem Bereich dar.

9.7.11.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Da keine offensichtlichen Beeinträchtigungen der Umgebung zu erwarten sind, ist dieses Kriterium in hoher Ausprägung erfüllt.

9.7.11.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit der BÜ-Anlage wird durch die Anwendung von RCAS als gering eingestuft, da sich weniger Infrastruktur im Gleis befindet, als bei herkömmlichen BÜ.

9.7.11.7 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit bleibt unberührt, da sich an der BÜ-Sicherung für den SVT nichts ändert. Es wird eine mittlere Ausprägung gewählt.

9.7.11.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Negative verkehrspsychologische Effekte sind nicht ersichtlich, weshalb eine geringe Ausprägung erreicht wird.

9.7.12 Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X)

Die Bewertungskriterien der Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X) an technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen sind identisch zu denen bei nichttechnisch gesicherten BÜ (siehe Kapitel 9.6.7).

9.7.13 Verkehrszeichenerkennung

Auch für die Verkehrszeichenerkennung gilt die gleiche Bewertung wie in Kapitel 9.6.8

9.7.14 Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Lichtzeichen

Das Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Lz ist in Abbildung 64 dargestellt.



Abbildung 64: Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Lz

Als beste Maßnahme stellt sich infolge der durchgeführten NWA bei mit Lichtzeichen gesicherten BÜ die Rotlichtüberwachung dar. Diese Innovation verursacht nach erster Einschätzung nur geringe Regelwerksanpassungen und besitzt eine geringe Anfälligkeit in Verbindung einer hohen Wirksamkeit. Negative verkehrspsychologische Effekte konnten nicht recherchiert werden.

Eine zweite geeignete Innovation stellen Fahrbahnlichter, welche eine zusätzliche optische Schranke für den Kraftfahrzeugführer verkörpern, dar. Diese Maßnahme wurde durchgehend mit guten bis mittleren Bewertungen eingeschätzt.

Weitere, untergeordnete Maßnahmen können ebenfalls Informationsanzeigen im Smartphone („NavTrain“) bzw. im Kfz selbst (Verkehrszeichenerkennung) sein. In dieser NWA erreichen die Maßnahmen ebenfalls 42 Punkte und sind damit in Ihrem Einsatzgebiet breit aufgestellt.

9.8 Nutzwertanalyse für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken

Die in diesem Kapitel angeführte Nutzwertanalyse wird für alle Innovationen durchgeführt, die an technisch gesicherten BÜ mit Halbschranken sinnvoll eingesetzt werden können. Hierzu zählen:

- Rotlichtüberwachung (siehe Kapitel 7.1.1),
- Funktechnologie (siehe Kapitel 7.1.2),
- Rundumleuchte (siehe Kapitel 7.1.7),
- Fahrbahnlichter (siehe Kapitel 7.2.3),
- Fahrbahnteiler (siehe Kapitel 7.2.4),
- Klappbares Hindernis (siehe Kapitel 7.2.5)
- NavTrain (siehe Kapitel 7.2.6),
- Verkehrserziehung (siehe Kapitel 7.3),
- akustische Sensorik (siehe Kapitel 8.1.2),
- kabellose Achszähler (siehe Kapitel 8.1.3),
- RCAS (siehe Kapitel 8.3.2),
- Kommunikation zwischen Straße und Schiene (siehe Kapitel 8.3.4) sowie
- Verkehrszeichenerkennung (siehe Kapitel 8.3.5).

Dazu wird in den nachfolgenden Abschnitten jede Innovation in jedem Bewertungskriterium begründet eingeordnet. Eine Übersicht der Bewertungen und Innovationen ist in Anhang A.7 enthalten.

9.8.1 Rotlichtüberwachung

Die Bewertung der Kriterien entspricht denen in Kapitel 9.7.1.

9.8.2 Funktechnologie

Die Bewertungskriterien der Funktechnologie bei technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen und Halbschranken sind identisch mit denen bei technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen (siehe Kapitel 9.7.2).

9.8.3 Rundumleuchte

Auch für die Rundumleuchte gilt die gleiche Bewertung wie in Kapitel 9.7.3.

9.8.4 Fahrbahnlichter

Die Bewertungskriterien der Fahrbahnlichter sind identisch zu Kapitel 9.7.4.

9.8.5 Fahrbahnteiler

9.8.5.1 Änderungsbedarf des Regelwerks

Der Einsatz eines Fahrbahnteilers tangiert nur den straßenseitigen Bereich eines BÜ. Änderungsbedarf eisenbahnseitiger Regelwerke wird nicht gesehen. Das Kriterium ist daher gering ausgeprägt.

9.8.5.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand der Implementierung wird als gering angesehen, da die Fahrbahnteiler ohne gravierenden Eingriff in den Straßenbelag auf die Fahrbahn aufgebracht werden.

9.8.5.3 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand ist nach [22] gering, sodass sich ebenfalls eine geringe Ausprägung des Kriteriums ergibt.

9.8.5.4 Technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage

Die technische Verträglichkeit zur BÜ-Anlage wird als hoch ausgeprägt angesehen, da der Fahrbahnteiler die Technik der BÜSA nicht tangiert.

9.8.5.5 Verträglichkeit zur Umgebung

Durch die etwaige Notwendigkeit einer Fahrbahnverbreiterung bzw. die mögliche Behinderung von Abbiegeverkehren, wird dieses Kriterium mit einer mittleren Ausprägung versehen.

9.8.5.6 Anfälligkeit

Die Anfälligkeit des Fahrbahnteilers hat aufgrund der Flexibilität der Elemente eine geringe Ausprägung.

9.8.5.7 Wirksamkeit

Durch das Schaffen einer zusätzlichen physischen Barriere, welche seitliche Umfahrungen verhindert, wird die Wirksamkeit des Fahrbahnteilers als hoch ausgeprägt eingestuft.

9.8.5.8 Negative verkehrspsychologische Effekte

Negative verkehrspsychologische Effekte werden nicht angenommen. Die Ausprägung ist somit gering.

9.8.6 Klappbares Hindernis

Die Bewertungskriterien für klappbare Hindernisse sind identisch zu Kapitel 5.7.5.

9.8.7 NavTrain

Die Bewertungskriterien von „NavTrain“ bei technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen und Halbschranken sind identisch zu denen bei technisch gesicherten BÜ mit Lichtzeichen (siehe Kapitel 9.7.6).

9.8.8 Verkehrserziehung

Auch für die Verkehrserziehung gilt die gleiche Bewertung wie in Kapitel 9.6.4.

9.8.9 Akustische Sensorik

Die akustische Sensorik enthält gleichfalls identische Bewertungskriterien wie in Kapitel 9.7.9.

9.8.10 Kabellose Achszähler

Die Bewertungskriterien bei technisch gesicherten Bahnübergängen in Bezug auf kabellose Achszähler sind unabhängig zum Einsatz von Halbschranken (siehe Kapitel 9.7.10).

9.8.11 RCAS

Das System RCAS wird deckungsgleich zum Kapitel 9.7.11 bewertet.

9.8.12 Kommunikation zwischen Straße und Schiene (Rail2X)

Eine Bewertung der Kommunikation zwischen Straße und Schiene erfolgt unbeeinflusst von der Art der Sicherung (siehe Kapitel 9.6.7).

9.8.13 Verkehrszeichenerkennung

Auch für die Verkehrszeichenerkennung gilt die gleiche Bewertung wie in Kapitel 9.7.13.

9.8.14 Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken

Das Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken zeigt Abbildung 65.

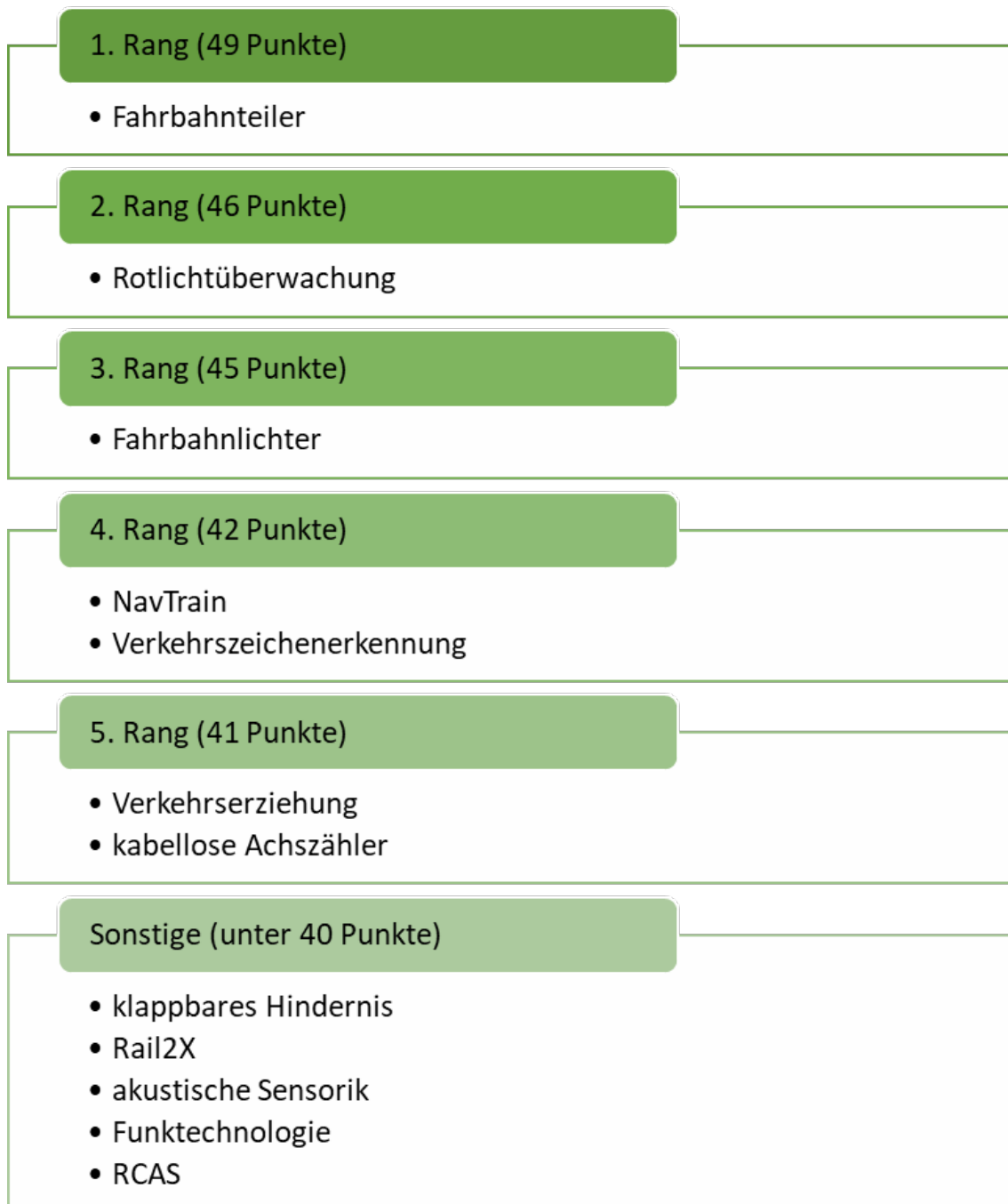


Abbildung 65: Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken

Nach der durchgeführten NWA bilden Fahrbahnteiler mit 49 erreichten Punkten eine nahezu makellose Optimierungsmaßnahme zur Sicherheitserhöhung an Bahnübergängen. Durch den Ausschluss einer der häufigsten Unfallursachen (absichtliche Missachtung der Sicherung des BÜ) kann mit relativ einfachen Mitteln eine hohe Wirksamkeit erreicht werden.

Den zweiten Platz belegt die Rotlichtüberwachung. Diese Maßnahme erreicht 46 Punkte entsprechend der NWA in Kapitel 9.7.14.

Ebenfalls identisch zur vorangegangenen NWA erreichen Fahrbahnlichter 45 Punkte.

Die Verkehrszeichenerkennung, „NavTrain“ und die Verkehrserziehung erreichen den 4. bzw. 5. Rang und sind damit in allen Einsatzbereichen erfolgreich einsetzbar.

9.9 Nutzwertanalyse für technische Gefahrenraumfreimeldung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Nutzwertanalyse für eine technische Gefahrenraumfreimeldung und orientiert sich zusätzlich zu den Quellen der einzelnen Unterkapitel an einer Veröffentlichung im Eisenbahningenieur Kompendium 2018 [71]. Hierzu zählen:

- videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung (siehe Kapitel 7.1.6),
- Lasersystem (siehe Kapitel 8.2.3),
- intelligente Videoüberwachung (siehe Kapitel 8.3.1) und
- Gefahrenraumfreimeldung mithilfe eines Local Positioning System (siehe Kapitel 8.3.3).

Die Bewertungskriterien werden im Vergleich zu den Nutzwertanalysen in den Kapiteln 9.6, 9.7 und 9.8 begrenzt. Hintergrund dessen ist, dass die Kriterien

- Änderungsbedarf des Regelwerks,
- technische Verträglichkeit zur BÜ Anlage,
- Wirksamkeit wie auch
- negative verkehrspsychologische Effekte

identisch sind.

Beim Änderungsbedarf des Regelwerks wird erwartet, dass eine bisher nicht zum Einsatz gekommene Technik der GFR in Planungsregelwerke aufgenommen und beschrieben werden muss. Dies gilt für alle 4 GFR-Anwendungen.

Die unterschiedliche Art und Weise der Detektion eines Objekts wird unabhängig von der Weiterleitung der entsprechenden Information an die BÜSA über eine EDV-Komponente realisiert. Daher wird von einer hohen technischen Verträglichkeit ausgegangen.

Die Wirksamkeit der GFR in Bezug auf die Einhaltung der Sicherung ist infolge des Einsatzes bei Vollabschluss stets gegeben.

Negative verkehrspsychologische Effekte sind bei allen GFR-Anwendungen nicht vorhanden, da sie keine Wirkung auf das Verhalten des SVT haben.

Die Aufschlüsselung der Kosten orientiert sich nicht an Kapitel 9.4.2. Die Kosten werden stattdessen qualitativ miteinander in Beziehung gesetzt.

In den nachfolgenden Abschnitten wird jede Innovation in den übriggebliebenen Bewertungskriterien begründet eingeordnet. Eine Übersicht der Bewertungen und Innovationen enthält Anhang A.8.

9.9.1 Videogesteuerte Gefahrenraumüberwachung

9.9.1.1 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand wird durch die notwendige Entwicklungsdauer bis zur Einsatzreife mit mittlerer Ausprägung eingeschätzt.

9.9.1.2 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand wird qualitativ auf eine mittlere Ausprägung beziffert.

9.9.1.3 Verträglichkeit zur Umgebung

Die Verträglichkeit zur Umgebung kann durch eine mögliche (scheinbare) Beeinträchtigung der Privatsphäre, z. B. von Anwohnern, eingeschränkt sein. Das Kriterium ist folglich mit mittlerer Ausprägung versehen.

9.9.1.4 Anfälligkeit

Aufgrund von Witterungsabhängigkeit und Beleuchtungsabhängigkeit der Kamertechnik erhält dieses Kriterium eine hohe Ausprägung.

9.9.2 Lasersystem

9.9.2.1 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand wird durch notwendige Entwicklungsdauer bis zur Einsatzreife mit einer mittleren Ausprägung eingeschätzt.

9.9.2.2 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand wird qualitativ auf eine mittlere Ausprägung geschätzt.

9.9.2.3 Verträglichkeit zur Umgebung

Konflikte bei der Verträglichkeit zur Umgebung lassen sich nicht erkennen.

9.9.2.4 Anfälligkeit

Aufgrund von Witterungsabhängigkeit und Beleuchtungsunabhängigkeit erhält dieses Kriterium eine mittlere Ausprägung.

9.9.3 Intelligente Videoüberwachung

9.9.3.1 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand wird durch notwendige Entwicklungsdauer bis zur Einsatzreife mit mittlerer Ausprägung eingeschätzt.

9.9.3.2 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand wird qualitativ auf eine mittlere Ausprägung geschätzt.

9.9.3.3 Verträglichkeit zur Umgebung

Konflikte bei der Verträglichkeit zur Umgebung können bei dieser Maßnahme nicht identifiziert werden.

9.9.3.4 Anfälligkeit

Aufgrund von Witterungsabhängigkeit aber Beleuchtungsunabhängigkeit erhält dieses Kriterium eine mittlere Ausprägung.

9.9.4 Gefahrenraumfreimeldung mithilfe eines Local Positioning System

9.9.4.1 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand wird durch die notwendige Entwicklungsdauer bis zur Einsatzreife mit hoher Ausprägung bewertet.

9.9.4.2 Kostenaufwand

Der Kostenaufwand wird qualitativ auf eine hohe Ausprägung geschätzt.

9.9.4.3 Verträglichkeit zur Umgebung

Konflikte bei der Verträglichkeit zur Umgebung werden hier nicht erkannt.

9.9.4.4 Anfälligkeit

Das LPS auf Basis von UWB weist keine der Nachteile optischer Systeme auf und erhält daher eine geringe Ausprägung in diesem Kriterium.

9.9.5 Ergebnis der NWA für technische Gefahrenraumfreimeldung

Das Ergebnis der NWA für GFR ist in Abbildung 66 dargestellt.

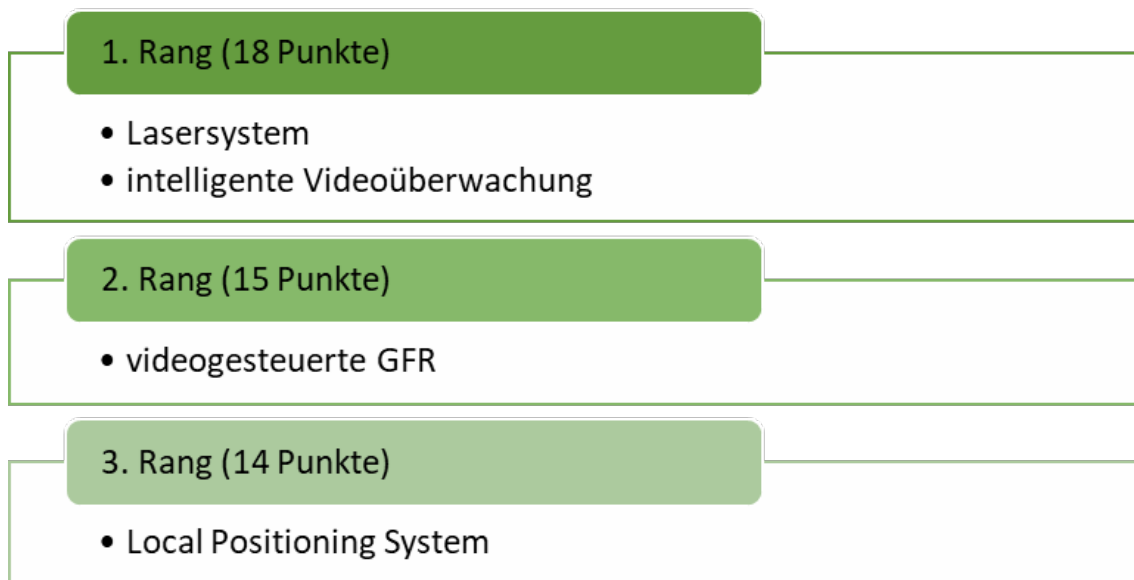


Abbildung 66: Ergebnis der NWA für GFR

Lasersysteme sowie eine intelligente Videoüberwachung stellen nach Durchführung der NWA gute Möglichkeiten zur technischen Gefahrenraumfreimeldung dar. Die videogesteuerte GFR sowie der Einsatz von LPS erscheinen dagegen nicht zielführend.

10 Bilanz der Potentialanalyse

Ausgehend von grundsätzlichen Optimierungsmöglichkeiten wurden potentielle Maßnahmen im NE-Bereich im In- und Ausland (siehe Kapitel 7) sowie innovative Technologien (siehe Kapitel 8) auf ihre grundsätzliche Eignung bei Bahnübergängen der EdB überprüft. Die einzelnen Optimierungspotentiale wurden in den Bereichen

- grundsätzliches Potential,
- anwendbare Sicherungsarten und
- Sicherheitserhöhung

untersucht. Anschließend erfolgte eine Beschreibung der Umsetzungsstrategie zur Einführung bei Bahnübergängen der EdB. Als Ergebnis konnte sich jedoch auch ein Verzicht der weiteren Betrachtungen hinsichtlich einer Maßnahme ergeben. So stellten sich aus unterschiedlichen Gründen folgende Maßnahmen als nicht weiter beachtenswert heraus:

- Warnsysteme im Pkw (siehe Kapitel 7.1.4),
- Kosten und Energieeffizienz bei technisch gesicherten Bahnübergängen (siehe Kapitel 7.1.5),
- Wechselverkehrszeichen (siehe Kapitel 7.2.2),
- Fahrbahnmarkierungen (siehe Kapitel 7.2.7),
- Fahrbahnverschwenkungen (siehe Kapitel 7.2.8),
- Schrankenbäume mit Lichtgebern (siehe Kapitel 7.2.9),
- der Umgang mit Schwerlaststraßenverkehr (siehe Kapitel 7.2.10),
- Mobile Sicherungsanlagen (siehe Kapitel 8.2.2) sowie
- Gefahrenraumfreimeldung an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen (siehe Kapitel 8.2.3).

Die identifizierten positiv bewerteten Maßnahmen und Innovationen wurden in einem zweiten Schritt einer Nutzwertanalyse in den Bereichen

- nichttechnisch gesicherte BÜ,
- technisch gesicherte BÜ mit Lichtzeichen,
- technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken sowie
- technische Gefahrenraumfreimeldung

durchgeführt (siehe Kapitel 9). Die Nutzwertanalyse stellt ein objektives semi-quantitatives Verfahren zur Evaluation der Konsequenzen von Entscheidungen dar. Durch die direkte Vergleichbarkeit der einzelnen Maßnahmen kann das optimale Aufwands-Nutzen-Verhältnis bestimmt werden.

Die bestmöglichen Maßnahmen der einzelnen Sicherungsarten sind in Abbildung 67 prägnant zusammengefasst. Insbesondere die Maßnahmen zur Informationsanzeigen im Smartphone bzw. im Kfz erreichen in allen drei Nutzwertanalysen eine gute bis sehr gute Platzierung und sollten daher zukünftig verstärkt zum Einsatz kommen.

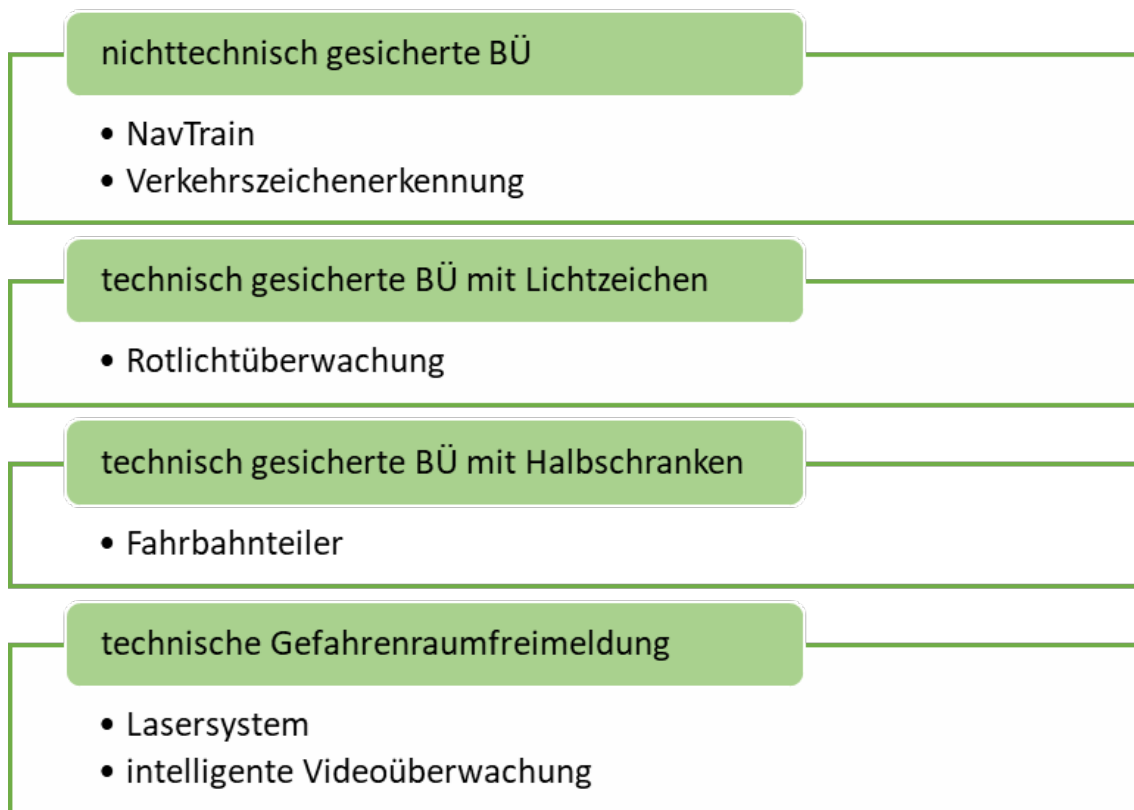


Abbildung 67: Ergebnis der NWA

Fahrbahnteiler, welche mit 49 von 51 Punkten das beste Ergebnis erreicht haben, sind speziell für die Sicherungsart LzH prädestiniert und sollten zukünftig dort insbesondere an Unfallschwerpunkten Anwendung finden.

Überdies ermöglicht die Rotlichtüberwachung mit ihrer systemimmanenten Sanktionierung des Fehlverhaltens der SVT einen wirksamen Ansatz zur Senkung der Unfallzahlen durch absichtliches und unabsichtliches Fehlverhalten am technisch gesicherten BÜ.

Als überwiegend Erfolg versprechend stellt sich die Verkehrserziehung heraus. Lediglich ihr voraussichtlich hoher monetärer und temporärer Aufwand stehen den vielen positiven Eigenschaften entgegen. Zudem kann ein Erfolg dieser Maßnahme nicht direkt in den Unfallzahlen abgelesen werden, da es eine strategisch angelegte Maßnahme darstellt.

Um die rechtlichen Rahmenbedingungen der evaluierten Optimierungsmöglichkeiten zu untersuchen erfolgt eine Selektion dieser. Top-Optimierungsmaßnahmen haben mindestens 75 % der zu erzielenden Punkte erhalten. Bei den Nutzwertanalysen für Maßnahmen und Technologien zur Sicherung des BÜ gilt hier eine erreichte Punktzahl von mind. 39 als Grenzwert. Dabei ist es irrelevant, bei welcher Sicherungsart die Maßnahmen eingesetzt werden können. Bei der NWA für technische Gefahrenraumfreimeldung müssen hierfür 18 Punkte erlangt werden, da die maximal zu erreichende Punktzahl 24 beträgt.

Geringwertigere Mittel zur Sicherheitserhöhung werden aufgrund ihrer diversen negativen Eigenschaften nicht weiter in die folgende Untersuchung einbezogen.

Abbildung 68 stellt eine hierarchische Abstufung nach der erzielten Punktzahl aller weiterführend betrachteten Maßnahmen und Technologien dar.

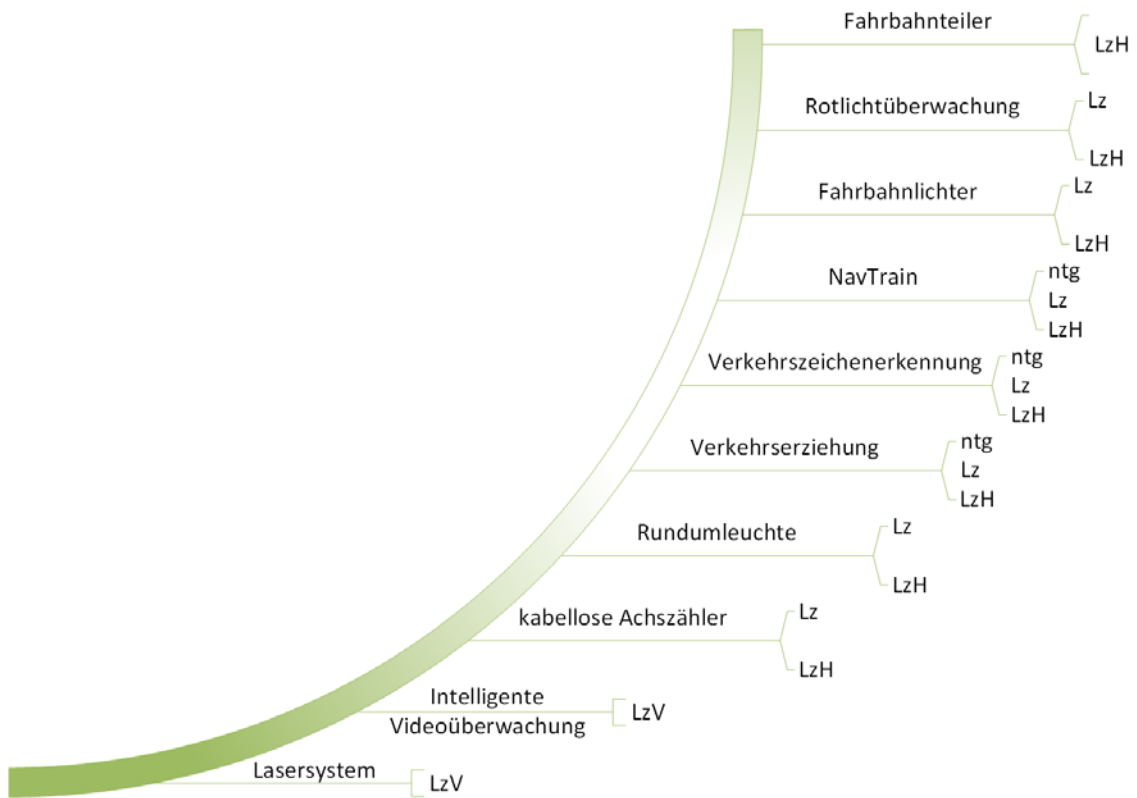


Abbildung 68: Hierarchische Darstellung der identifizierten Optimierungsmaßnahmen

11 Überprüfung der rechtlichen Vereinbarkeit

Die detaillierte Analyse der Übereinkunft der ausgewählten Maßnahmen hinsichtlich der aktuell gültigen rechtlichen Rahmenbedingungen erfolgt im diesem Kapitel. Abbildung 69 zeigt die inspizierten Regelwerke und Vorschriften.

Eisenbahnvorschriften

- Gesetz über Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen (EKrG)
- Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)
- Richtlinie 815 Bahnübergänge planen und instand halten (Ril 815)
- Richtliniengruppe 819.12 LST-Anlagen planen; Technische Bahnübergangs-Sicherungsanlagen (Ril 819.12)

Straßenvorschriften

- Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)
- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt)
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)

nicht relevante Vorschriften

- Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung (EIGV)
- Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung (EUV)
- Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG)
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO)
- Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS)
- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)
- Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO)
- Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Teil S Stadtstraßen (HBS Teil S)
- Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Teil L Landstraßen (HBS Teil L)

Abbildung 69: Untersuchte Vorschriften

11.1 Rechtliche Rahmenbedingungen von Maßnahmen und Technologien zur Sicherung des BÜ

11.1.1 Fahrbahnteiler

11.1.1.1 Eisenbahnkreuzungsgesetz

Das Eisenbahnkreuzungsgesetz [20] steht in keinem rechtlichen Widerspruch zur angedachten Ausführung der Fahrbahnteiler. Allerdings wird im EKrG § 14 Absatz 2 definiert, dass „*der Sicherung des sich kreuzenden Verkehrs dienende Straßenverkehrszeichen und -einrichtungen*“ „*zu den Straßenanlagen*“ [20] gehören. Demnach gehören Fahrbahnteiler in den Verantwortungsbereich des Straßenbaulastträgers.

11.1.1.2 Straßenverkehrs-Ordnung

Nach § 43 Absatz 1 StVO [6] sind Fahrbahnteiler Verkehrseinrichtungen und müssen gelb gestaltet sein. Die klappbaren Sichtzeichen sind rot-weiß-gestreift.

11.1.1.3 Richtlinie 815

Schmale Fahrbahnteiler werden bereits explizit als „*Abhilfemaßnahmen*“ [18] zur Risikoreduzierung am BÜ in Ril 815.0010 Abschnitt 4 Absatz 8 ausgewiesen. Es wäre jedoch sinnvoll die Fahrbahnteiler in die Beispiele zum Anordnen von technischen Sicherungen (Ril 815.0032A01) aufzunehmen.

Weiterhin stellt nach Ril 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 die Installation von Fahrbahnteilern am BÜ keinen umfassenden Umbau dar und induziert daher keine Anpassung der BÜ-Anlage an aktualisierte Bestimmungen.

Der Straßenbaulastträger ist für die Errichtung und den Erhalt der Maßnahme zuständig (vgl. Ril 815.0032 Abschnitt 3 Absatz 9).

Es gilt noch zu beachten, dass Fahrbahnteiler mit in die Verkehrsschau nach Ril 815.0040 Abschnitt 5 aufgenommen werden. Entweder werden sie ausdrücklich in die Aufzählung der zu inspizierenden Anlagen aufgenommen oder als „*Anlagen zur Kanalisierung des Verkehrs*“ [18] deklariert.

11.1.1.4 Richtlinien für die Anlage von Stadt- und Landstraßen

Die RAL [72] gibt vor, dass Fahrbahnteiler mit Schrägborden ausgebildet sein müssen. Dies ist bei der Anwendung von Leitborden mit klappbaren Leitbaken vorgesehen. Auf eine in dieser Richtlinie definierte Querungsstelle für Radfahrer und Fußgänger wird verzichtet, da eine Querung durch diese Maßnahme entschieden ausgeschlossen werden soll.

Dies schränkt das Einsatzgebiet der Fahrbahnteiler ein, insofern ein unterbrechungsfreier Fahrbahnteiler Anwendung findet. Verkehrsszenarien, bei denen eine Querung des nichtmotorisierten Verkehrs im Bereich vor dem BÜ ermöglicht werden soll, können durch unterbrochene Fahrbahnteiler realisiert werden. Die Unterbrechung sollte hierbei allerdings nur so groß ausgestaltet werden, dass motorisierte Verkehrsteilnehmer diese Querung nicht befahren können.

Zudem müssen bei Installation der Fahrbahnteiler die örtlichen Gegebenheiten beachtet werden. Gemäß RAST muss das Bemessungsfahrzeug „*den Knotenpunkt ohne Schwierigkeiten befahren können*“ [73]. Hierfür müssen die Lage und Ausbildung der Fahrbahnteiler „*mit Hilfe von Schleppkurven bestimmt werden*“ [73].

11.1.1.5 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Alle anderen untersuchten Vorschriften stehen im Einklang zum Einsatz der Fahrbahnteiler am BÜ.

Als Ergebnis lässt sich zusammenfassen, dass lediglich die Richtlinie 815 [18] geringfügig angepasst werden sollte (Option der Fahrbahnteiler in die Beispiele zum Anordnen von technischen Sicherungen aufnehmen).

11.1.2 Rotlichtüberwachung

11.1.2.1 Eisenbahn-Kreuzungsgesetz

In einem geeigneten Gesetz, vorzugsweise das EKrG [20], muss festgesetzt werden, welche Organisationseinheit für die Errichtung und den Betrieb der Anlage sowie welche Verwaltungsbehörde zuständig ist. Wie bereits in Kapitel 7.1.1 deklariert wurde, ist die Landesbehörde bzw. eine höhere Behörde für die Festlegung der zuständigen Verwaltungsbehörde autorisiert. Um potentielle Missverständnisse zu vermeiden und eine gültige Rechtsgrundlage vorzufinden, ist es sinnvoll, die betreffende Organisationseinheit und Verwaltungsbehörde in das Eisenbahn-Kreuzungsgesetz aufzunehmen.

11.1.2.2 Richtlinie 819

Bei einer fest installierten Rotlichtüberwachung muss die Schnittstelle zur BÜSA in der Richtlinie 819.1204 [74] definiert werden. Für die Auslösung der Rotlichtüberwachung ist es erforderlich, dass die Anlage eine Information über den aktiven Zustand der BÜSA erhält. Hierfür gilt es einen Abgriff aus der technischen Anlage des BÜ vorzusehen. Dieser Abgriff muss determiniert werden.

11.1.2.3 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Es besteht keine Diskrepanz des vorgesehenen Systems zu rechtlichen Rahmenbedingungen. Allerdings wurde im EKrG [20] und in der Richtlinie 819 [74] Ergänzungsbedarf identifiziert.

Nichtsdestotrotz können erst mit dieser Maßnahme Verstöße gegen die Vorschriften des StVG [24] und der StVO [6] geahndet werden.

11.1.3 Fahrbahnlichter

11.1.3.1 Eisenbahn-Kreuzungsgesetz

Gemäß EKrG § 14 Absatz 2 [20] gehören Fahrbahnlichter zu den Eisenbahnanlagen. Dies steht im Einklang zur Systemgestaltung, da die Fahrbahnlichter Teil der BÜSA sind.

11.1.3.2 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

Die EBO [4] muss infolge der Einführung von Fahrbahnlichtern nicht ergänzt werden, da diese lediglich zusätzliche Anlagen verkörpern. Sie werden nur bei Bedarf (z. B. an Unfallschwerpunkten) installiert. Weiterhin besitzen die Fahrbahnlichter keine Sicherheitsrelevanz und müssen den hohen Sicherheitsanforderungen der übrigen BÜSA-Komponenten nicht genügen.

11.1.3.3 Straßenverkehrs-Ordnung

Da sowohl rote Blinklichter wie auch rote Lichtzeichen im § 19 Absatz 2 StVO [6] als zu beachtende Elemente eines BÜ gelten, können Fahrbahnlichter, welche als rote Lichtzeichen/Blinklichter ausgestaltet sind, als zusätzlich unterstützende Form der Übermittlung des Haltegebots durch den SVT interpretiert werden. Es besteht somit kein Handlungsbedarf.

11.1.3.4 Richtlinie 815

Die Installation von Fahrbahnlichtern zur optischen Wiedergabe des Sicherungszustands des BÜ bedeutet entsprechend Ril 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 keinen umfassenden Umbau und bewirkt daher keine Anpassung der BÜ-Anlage an aktualisierte Bestimmungen. Weiterhin können Fahrbahnlichter wie zusätzliche Lichtzeichen behandelt werden. Als „Anlagen zur

Ankündigung der Eisenbahnfahrzeuge“ [18] werden sie gemäß Ril 815.0040 Abschnitt 5 Absatz 4 während der Verkehrsschau bei Vorhandensein inspiziert.

Analog zu den Fahrbahnleuchtern wäre es sinnvoll die Fahrbahnlichter in die Beispiele zum Anordnen von technischen Sicherungen (Ril 815.0032A01) aufzunehmen.

11.1.3.5 Richtlinie 819

Die zusätzliche Funktionseinheit der BÜSA muss in die Planungsrichtlinie 819 [74] aufgenommen werden. Es gilt Bestimmungen zu Schnittstellen, Erdung und Blitzschutz, Stromversorgung, Verkabelung sowie Standort und Abmessungen aufzuführen.

Zudem müssen zusätzliche Teile der Sammlung Planungsunterlagen (SPU) erstellt werden.

11.1.3.6 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Fahrbahnlichter stehen im Einklang mit den gültigen Vorschriften und Richtlinien. Allerdings besteht erheblicher Ergänzungsbedarf in der Richtlinie „819.12: LST-Anlagen planen; Technische Bahnübergangs-Sicherungsanlagen“ [74].

11.1.4 NavTrain

Informationsanzeigen im Smartphone oder Navigationsgerät stehen ebenfalls in keinem Widerspruch zu gesetzlichen Vorschriften. Das System „NavTrain“ kann somit aus rechtlicher Sicht uneingeschränkt Anwendung finden.

Bei der Einbindung von Ankündigungsinformationen über sich einem BÜ nähernden Sflz oder über den aktuellen Sicherungszustand einer BÜSA ergibt sich Änderungsbedarf in der Richtlinie 819 [74]. Analog zur Rotlichtüberwachung und den Fahrbahnleuchtern bedarf es in diesem Fall einer Angabe von Bestimmungen zu Schnittstellen im System.

11.1.5 Verkehrszeichenerkennung

11.1.5.1 Richtlinie 815

Andreaskreuze müssen nach Ril 815.0030 Abschnitt 5 Absatz 1 „außer an Feld- und Waldwegen [...] vollflächig rückstrahlend ausgeführt werden“ [18]. Darüber hinaus „müssen [sie] so angeordnet werden, dass sie für den Straßenverkehr auf ca. 50 m Entfernung zu erkennen sind“ [18]. Unter Beachtung dieses Sachverhalts ist davon auszugehen, dass das System im Fahrzeug eine stetige Informationsanzeige realisieren kann.

11.1.5.2 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Der Ausweitung der Verkehrszeichenerkennung im Kfz um den Aspekt der Bahnübergangssicherung stehen keine rechtlichen Fragestellungen entgegen.

Es gilt jedoch anzumerken, dass ähnlich der Anwendung von Navigationsgeräten die allgemeine Sorgfaltspflicht nicht außer Acht gelassen wird und der Straßenverkehr vom Kraftfahrzeugführer weiterhin beobachtet werden muss. Diese Information ist bereits in allen Handbüchern von Zusatzeinrichtungen enthalten.

11.1.6 Verkehrserziehung

Die Erweiterung bzw. Initiierung der Verkehrserziehung bedingt keine Anpassung rechtlicher Verordnungen und Regelwerke. In § 48 der StVO ist sie überdies ausdrücklich für Personen, welche die „Verkehrsvorschriften nicht beachte[n]“ [6] vorgesehen.

11.1.7 Rundumleuchte als Zusatzeinrichtung

11.1.7.1 Eisenbahn-Kreuzungsgesetz

Gemäß EKRg § 14 Absatz 2 [20] gehören Rundumleuchten zu den Eisenbahnanlagen. Dies steht im Einklang mit der Systemgestaltung, da die Rundumleuchten Teil der BÜSA sind.

11.1.7.2 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

Aufgrund dessen, dass die Rundumleuchte eine zusätzliche Anlage am BÜ ist und nur nach Bedarf installiert wird, muss die EBO [4] nicht angepasst werden.

11.1.7.3 Straßenverkehrs-Ordnung

Rundumleuchten können analog zu gelben und blauen Blinklichtern gem. § 38 StVO [6] als rote Blinklichter ausgelegt werden und sind demnach durch § 19 Absatz 2 der Straßenverkehrs-Ordnung abgedeckt.

11.1.7.4 Richtlinie 815

Nach Ril 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 [18] verkörpert die Installation von zusätzlichen Rundumleuchten am BÜ keinen umfassenden Umbau und induziert somit keine Anpassung der BÜ-Anlage an aktualisierte Bestimmungen.

Weiterhin können Rundumleuchten als zusätzliche Lichtzeichen gelten und sind demnach bei Bedarf einzubauen (vgl. 815.0010 Abschnitt 4 Absatz 2)

Analog zu den zusätzlichen Einrichtungen der Fahrbannteiler und Fahrbahnlichter sollte die Option der Rundumleuchte in die Darstellungen der Beispiele zum Anordnen von technischen Sicherungen (Ril 815.0032A01) aufgenommen werden.

Als „Anlagen zur Ankündigung der Eisenbahnfahrzeuge“ [18] werden sie gemäß Ril 815.0040 Abschnitt 5 Absatz 4 in der Verkehrsschau bei Vorhandensein inspiziert.

11.1.7.5 Richtlinie 819

Rundumleuchten sind zusätzliche Funktionseinheiten, welche in die BÜSA integriert werden müssen. Zwar besteht keine sicherheitsrelevante Aufgabe, dennoch muss die Komponente in die Richtlinie 819.12 [74] aufgenommen werden. Es müssen Bestimmungen zu Schnittstellen, Erdung und Blitzschutz, Stromversorgung, Verkabelung sowie Standort und Abmessungen aufgeführt werden.

Zudem müssen zusätzliche Teile der SPU erstellt werden.

11.1.7.6 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Alle anderen untersuchten Vorschriften stehen im Einklang zum Einsatz der Rundumleuchte als Zusatzeinrichtung am BÜ.

Als Ergebnis lässt sich zusammenfassen, dass die Richtlinien 815 [18] und 819.12 [74] angepasst werden müssen.

11.1.8 Rundumleuchte als Ersatzeinrichtung

11.1.8.1 Eisenbahn-Kreuzungsgesetz

Gemäß EKrG § 14 Absatz 2 [20] gehören Rundumleuchten zu den Eisenbahnanlagen. Dies steht im Einklang zur Systemgestaltung, da die Rundumleuchten Teil der BÜSA sind.

11.1.8.2 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

Die EBO [4] muss grundlegend geändert werden, insofern die Rundumleuchte die Lichtzeichen am BÜ ersetzt. Insbesondere § 11 Absatz 6 ist dahingehend zu erweitern, dass die Rundumleuchte als technische Sicherung hinzugefügt wird. Dies steht den allgemeinen Ansätzen entgegen, dass neue Bahnübergänge nur noch mit Lichtzeichen auszurüsten sind. Ebenso ist die neue Sicherung mittels Rundumleuchte in Absatz 7 einzupflegen. Hierzu gehört eine Definition von möglichen Einsatzbedingungen.

11.1.8.3 Straßenverkehrs-Ordnung

Für den Einsatz der Rundumleuchten gelten bzgl. der StVO die gleichen Anmerkungen wie beim Einsatz der Rundumleuchte als Zusatzeinrichtung (siehe Kapitel 11.1.7.3).

11.1.8.4 Richtlinie 815

Nach Ril 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 ist die Installation von Rundumleuchten als Ersatz für Lichtzeichen ein umfassender Umbau und induziert eine Anpassung der BÜ-Anlage an aktualisierte Bestimmungen.

Weiterhin bedarf es infolge der neuen Anlagenausführung einer Überarbeitung der Richtlinie 815.0032. Die neue Funktionseinheit muss in diverse Abschnitte hinzugefügt werden. Anhang A.9 stellt die zu bearbeitenden Textabschnitte vor.

11.1.8.5 Richtlinie 819

Die neue Komponente der BÜSA muss insbesondere in die Richtlinie 819.1204 „*Komponenten von Bahnübergangssicherungsanlagen*“ [74] aufgenommen werden. Dies betrifft die Aufnahme der neuen Funktionseinheit in:

- Sammlung Planungsunterlagen,
- Erdung und Blitzschutz,
- Straßensignale.

Vor allem der letztgenannte Abschnitt bedarf einer grundlegenden Überarbeitung, da anstelle von zwei aufzustellenden Lichtzeichen je Fahrtrichtung eine Rundumleuchte eingesetzt wird.

Zudem müssen die Rundumleuchten als Ersatz der Überwachungssignale in die Ril 819.12 integriert werden.

11.1.8.6 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Alle anderen untersuchten Vorschriften stehen im Einklang zum Einsatz der Rundumleuchte als Ersatzeinrichtung am BÜ.

Aufgrund dessen, dass bei Nutzung der Rundumleuchte als Ersatz von Lichtzeichen und Überwachungssignalen, erhebliche Änderungen in den Vorschriften

- Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung,
- Richtlinie 815 sowie
- Richtlinie 819.12

notwendig werden, ist von einer Anwendung dieser Maßnahme abzuraten.

11.1.9 Kabellose Achszähler

11.1.9.1 Richtlinie 815

Der Einbau von kabellosen Achszählern bei bestehenden BÜSA stellt nach Richtlinie 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 [18] keinen umfassenden Umbau dar. Dadurch muss bei Einzelmaßnahmen keine „*zeitgleiche Anpassung an alle anderen Regelungen dieser Richtlinie erfolgen*“ [18].

11.1.9.2 Richtlinie 819

In die Richtlinie 819.1204 Abschnitt 14 [74] muss aufgrund des Entfalls von Kabeln zwischen Achszählern und Schalthaus eine zusätzliche Information eingefügt werden, dass eine Ausführung mittels Ethernetschnittstelle ebenfalls möglich ist.

11.1.9.3 Ergebnis der rechtlichen Prüfung

Die untersuchten Vorschriften stehen überwiegend im Einklang mit dem Einsatz von kabellosen Achszählern. Lediglich die Richtlinie 819.12 [74] muss erweitert werden. Hierzu ist ein Hinweis zum kabellosen Einsatz einzufügen.

11.2 Rechtliche Rahmenbedingungen von Maßnahmen zur technischen Gefahrenraumfreimeldung

11.2.1 Lasersystem

Die Anwendung von Lasersystemen zur technischen Gefahrenraumfreimeldung steht in keinem Widerspruch zu den inspizierten Regelwerken. Allerdings ist die Umrüstung von Bahnübergängen gem. Ril 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 [18] ein umfassender Umbau. Aus diesem Grund bedarf es in diesem Fall einer Anpassung an aktualisierte Bestimmungen. Weiterhin benötigt diese Innovation nach Ril 819.1210 Abschnitt 1 Absatz 6 [74] eine durch das Eisenbahn-Bundesamt legitimierte Zulassung. Hierfür muss die technische Lösung den Anforderungen des Lastenhefts genügen. Eine detaillierte Sondierung des Lastenhefts erfolgte im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht.

11.2.2 Intelligente Videoüberwachung

Die intelligente Videoüberwachung mittels Wärmebildkameras befindet sich ebenfalls im Einklang mit rechtlichen Rahmenbedingungen. Auch dieses System bedingt nach Ril 815.0000 Abschnitt 4 Absatz 3 [18] eine Anpassung an aktualisierte Bestimmungen und bedarf einer Zulassung (vgl. Ril 819.1210 Abschnitt 1 Absatz 6 [74]) unter Vorgaben des Lastenhefts.

11.3 Ergebnis der Untersuchung zu rechtlichen Rahmenbedingungen

Die Überprüfung der rechtlichen Vereinbarkeit der identifizierten Optimierungsmaßnahmen zeigt ein differenziertes Bild. Zum einen existieren Maßnahmen und Technologien, welche vollumfänglich im Einklang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen stehen bzw. diese sogar unterstreichen. Zum anderen wurden Maßnahmen dokumentiert, welche eine erhebliche Anpassung von Vorschriften und Gesetzen bedingen. Abbildung 70 veranschaulicht die Ergebnisse des Kapitels 11.

im Einklang mit rechtlichen Vorschriften

- NavTrain
- Verkehrszeichenerkennung
- Verkehrserziehung
- Lasersystem
- intelligente Videoüberwachung

geringfügige Erweiterung von Richtlinien

- Fahrbahnteiler
- Fahrbahnlichter
- Rundumleuchte als Zusatzeinrichtung
- kabellose Achszähler

Änderung von gesetzlichen Vorschriften

- Rotlichtüberwachung
- Rundumleuchte als Ersatzeinrichtung

Abbildung 70: Ergebnis der Untersuchung zu rechtlichen Rahmenbedingungen

Unter Betrachtung der Ergebnisse des vorangegangenen Kapitels soll eine erneute Bewertung der Beziehung von Aufwand und Nutzen der differenten Optimierungsmaßnahmen erfolgen. Hierbei wird das Kriterium „Änderungsbedarf des Regelwerks“ mit einem zusätzlichen Faktor kategorisiert (siehe Tabelle 16).

Ausprägung des Bewertungskriteriums	Bedeutung	Faktor der Ausprägung
enorm	Änderung von Gesetzen und Verordnungen	0
hoch	Erweiterung von Richtlinien	1
mittel	geringfügige Anpassung Richtlinien	2
unbedeutend	keine Anpassungen	3

Tabelle 16: Ausprägung des Kriteriums „Änderungsbedarf des Regelwerks“

Somit kann eine genauere Bewertung hinsichtlich der Machbarkeit erfolgen. Insbesondere Maßnahmen, welche nicht im Einklang mit den gesetzlichen Verordnungen stehen, werden nun ausgesprochen schlecht bewertet. Dieses Vorgehen steht im Einklang zur Prämisse, dass Anpassungen von Verordnungen und Gesetzen enorm aufwendig und so gut wie ausgeschlossen sind, was den Grundgedanken dieses Forschungsprojekts wiedergibt. Die überarbeitete NWA für technisch und nichttechnisch gesicherte Bahnübergänge befindet sich im Anhang A.10.

Die Rotlichtüberwachung sowie die Rundumleuchte als Ersatzmaßnahme erreichen konsequenterweise nun eine wesentlich schlechtere Bewertung (34 bzw. 33 Punkte) und sind damit nicht weiter empfehlenswert. Die Rundumleuchte als Zusatzeinrichtung und kabellose Achszähler wurden ebenfalls in der Bewertung heruntergestuft, was sie mit nur noch 73 % der erzielbaren Wertung als nicht geeignet definiert.

Infolge der Konformität der identifizierten Maßnahmen zur technischen Gefahrenraumfreimeldeanlage mit den rechtlichen Vorschriften, ist keine Revision der Nutzwertanalyse für technische Gefahrenraumfreimeldeanlagen erforderlich. Die beiden genannten Maßnahmen sind mit einem Ergebnis von 75 % der maximal zu erreichenden Punktzahl weiterhin bedingt geeignet.

12 Empfehlungskatalog für Optimierungspotential an BÜ

Im Forschungsvorhaben konnten diverse sinnvolle und zweckdienliche Maßnahmen zur Steigerung der Sicherheit am Bahnübergang identifiziert werden. Hierzu wurden differenziertere Komponenten der BÜ-Sicherung im Bereich Nichtbundeseigener Bahnen (NE-Bereich) im In- und Ausland sowie innovative Technologien auf ihr Potential zur Sicherheitserhöhung bzw. Kostensenkung am Bahnübergang eruiert. Die ausgezeichneten Maßnahmen, wie sie Abbildung 68 zeigt, wurden durch mehrere durchgeführte Nutzwertanalysen bestimmt. Nach Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen für alle deklarierten Maßnahmen (siehe Kapitel 11) kann abschließend der in Abbildung 71 dargestellte Empfehlungskatalog determiniert werden.

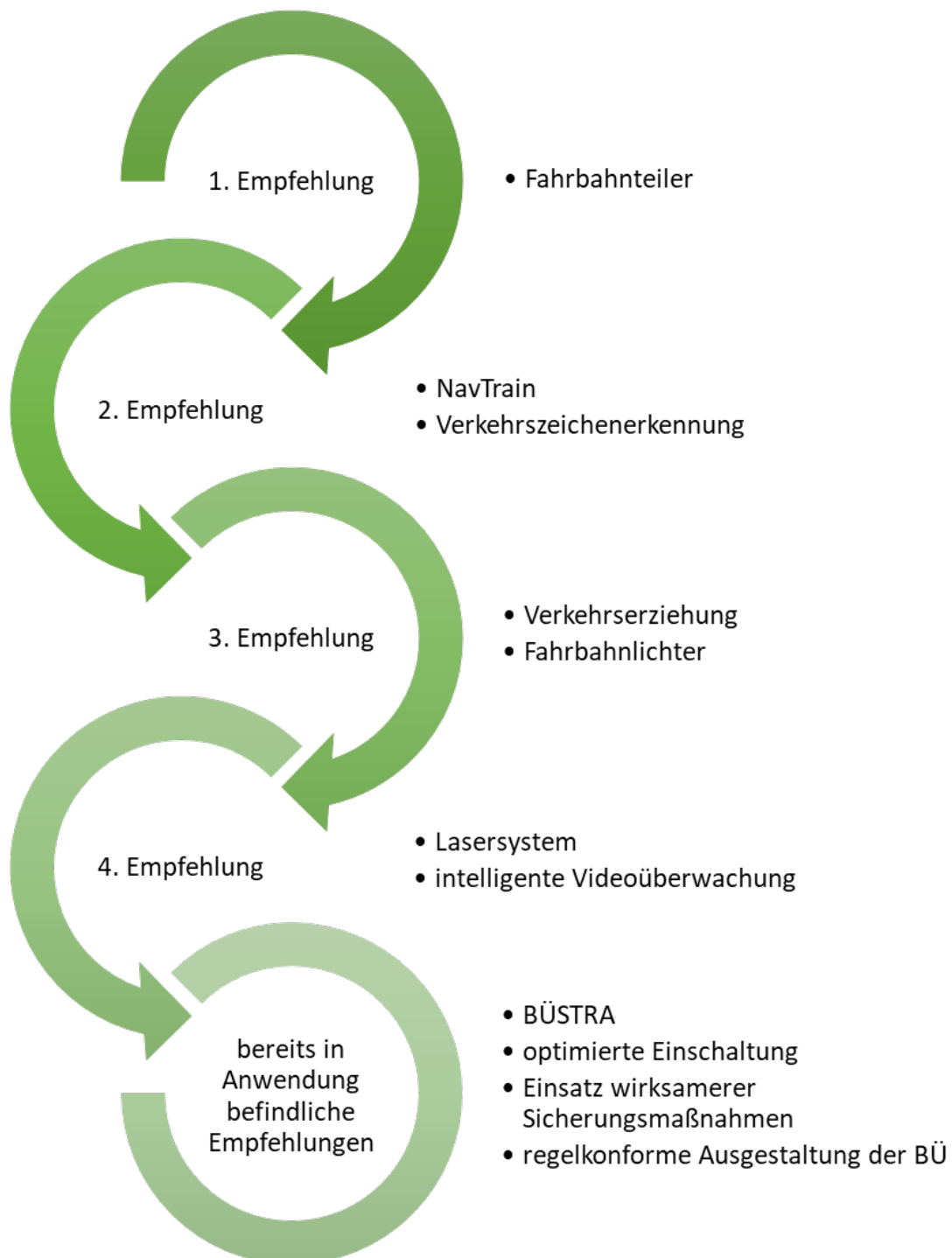


Abbildung 71: Empfehlungskatalog für Optimierungsmaßnahmen der Bahnübergangssicherung

12.1 Erste Empfehlung

Fahrbahnteiler in Form von Leitschwellen bilden eine unkomplizierte physische Barriere zur Vermeidung des Umfahrens von Halbschranken. Da Bahnübergänge mit Lichtzeichen und Halbschranken eine zum Anlagenbestand hohe Unfallhäufigkeit ($1,0 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$) aufweisen, ist diese Maßnahme zudem äußerst effizient. Ausgenommen von einer vorstellbaren geringfügigen Erweiterung der Richtlinie 815 [18], steht diese Maßnahme in seiner Gesamtheit in Einklang mit den gültigen Bestimmungen.

12.2 Zweite Empfehlung

Als zweite zu empfehlende Optimierungsmaßnahmen gilt die Informationsanzeige für den SVT. Unabhängig vom System und Ausgabemedium bieten diese Maßnahmen („NavTrain“ und Verkehrszeichenerkennung) ein breites Einsatzgebiet, da sie stets die Aufmerksamkeit des SVT auf den BÜ kanalisieren. Durch die doppelte Wahrnehmung der Gefahrenstelle Bahnübergang kann ein unbeabsichtigtes Fehlverhalten, wie z. B. Übersehen des BÜ, eliminiert werden. Gesetzliche Restriktionen gibt es bei beiden Maßnahmen nicht. Auch sind sie gleichermaßen für die Sicherheitserhöhung an allen Bahnübergängen der EdB geeignet.

Ein technisches System zur Verkehrszeichenerkennung ist bereits in vielen Kraftfahrzeugen serienmäßig implementiert. Bestehende Lösungen müssten lediglich dahingehend erweitert werden, dass das Verkehrszeichen 201 bzw. die Zeichen 156, 159 und 162 von der Fahrzeugsensorik (Kamerasystem) identifiziert werden.

Beim System „NavTrain“ kann jeder SVT via Smartphone über die Annäherung an einen Bahnübergang informiert werden. Zugangsvoraussetzungen, wie

- die notwendige Applikation,
- ein geeignetes Endgerät,
- eine Positionsbestimmung sowie
- eine bestehende Internetverbindung,

schränken den Einsatz des Systems jedoch ein. Zukunftsfähig ausgeweitet werden kann „NavTrain“ durch den systemspezifischen Abgriff und die Anzeige des Sicherungszustands technisch gesicherter Bahnübergänge. Hierfür sind allerdings noch tiefgründige Studien bzgl. der Sicherheit, Zuverlässigkeit und Ausfall Offenbarung notwendig.

12.3 Dritte Empfehlung

Als dritte Empfehlungen können sowohl die Verkehrserziehung als auch die Fahrbahnlichter genannt werden.

Die Verkehrserziehung ist gewiss mit einem signifikanten Aufwand verbunden, erreicht aber alle Straßenverkehrsteilnehmer und verhindert damit absichtliches und unabsichtliches Fehlverhalten am BÜ, welches die häufigste Unfallursache am BÜ darstellt (vgl. Anhang A.1). Der Vorteil der Verkehrserziehung besteht darin, dass sie für die verschiedenen Benutzergruppen individuell gestaltet werden kann. So können Schulkinder spielerisch an das korrekte Verhalten eines Fußgängers bzw. Fahrradfahrers am Bahnübergang herangeführt werden, während Fahrschüler die genaue Vorgehensweise bei BÜ-Querungen mit Kraftfahrzeugen trainieren. Auch für langjährige Kraftfahrzeugführer ist die Wiederholung der besonderen Gefahrensituation und des richtigen Verhaltens am BÜ wichtig. Wie bereits in Kapitel 5.1 ausgewiesen wurde, ist entsprechend statistischer Erhebungen ein korrektes Wissen über die Bedeutung des Andreaskreuzes oder eines blinkenden Lichtzeichens in großer Zahl nicht vorhanden. Analog zur Kampagne „Rettungsgasse rettet Leben“ können mit Informationstafeln und Videosequenzen die Kraftfahrzeugführer über die richtigen Verhaltensweisen an den unter-

schiedlichen Sicherungsarten von BÜ informiert werden. Insbesondere an Bahnübergängen als statistisch erfasste Unfallschwerpunkte sollten solche Aushänge zur Verhinderung des Fehlverhaltens angebracht werden. Diese sollten sich jedoch in einem gewissen Abstand zur BÜ-Anlage befinden, da sie sonst als weitere Gefahrenquelle agieren.

Als weitere Empfehlung können Fahrbahnlichter dokumentiert werden. Sogenannte „Lane-Lights“ stellen zusätzliche Sicherungseinrichtungen an technisch gesicherten Bahnübergängen dar und sollen Rotlichtüberfahrungen verhindern. Zudem wird durch die in die Fahrbahn eingelassenen Lichter ein Übersehen des aktivierten BÜ stärker verhindert. Vor Einführung des Systems muss jedoch die Richtlinie 819.12 [74] um die zusätzliche Funktionseinheit erweitert und die Richtlinie 815 [18] geringfügig angepasst werden.

12.4 Vierte Empfehlung

Ebenfalls grundsätzlich empfehlenswert sind divergente Techniken zur technischen Gefahrenraumfreimeldung. Hintergrund der Einführung von neuartigen technischen Gefahrenraumfreimeldeanlagen ist der, dass damit die Durchdringung mit hochwertig schutzbietenden Bahnübergangssicherungsanlagen mit Vollabschluss erhöht werden kann. Sowohl das Lasersystem als auch die intelligente Videoüberwachung stehen prinzipiell im Einklang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen. Allerdings musste bisher bei dieser Beurteilung das zugehörige Lastenheft ausgespart werden.

12.5 Weitere bereits in Anwendung befindliche Empfehlungen

Neben den identifizierten Optimierungsmaßnahmen, finden Risikominderungsmaßnahmen am BÜ gegenwärtig bereits eine verbreitete Anwendung.

Der Einsatz von vorgeschalteten Lichtzeichen und Abhängigkeiten zu benachbarten Lichtsignalanlagen (LSA) kann Räumungsprobleme bei angrenzenden Kreuzungen des Straßenverkehrs vermeiden. Mit einem Gefährdungsminderungsfaktor von 10^{-3} (vgl. [9]) sollte diese Maßnahme weitere Verbreitung an geeigneten Bahnübergängen finden. Dies wird überdies in der Richtlinie 815.0032 Abschnitt 1 Absatz 18 gefordert: *„Besteht die Gefahr, dass durch eine benachbarte Straßenkreuzung oder -einmündung mit Lichtsignalanlage die Verkehrsabwicklung am BÜ durch Rückstau von Kfz beeinträchtigt wird, ist eine Abhängigkeit zwischen der BÜ-Sicherung und der Lichtsignalanlage nach den ‚Richtlinien über Abhängigkeiten zwischen der technischen Sicherung von Bahnübergängen und der Verkehrsregelung an benachbarten Straßenkreuzungen und -einmündungen (BÜSTRA)‘ (vgl. Ril 815.0051) herzustellen.“* [18]

Um möglichst kurze Schließzeiten des technisch gesicherten BÜ und damit eine einhergehende Verringerung von absichtlichem Fehlverhalten der SVT (Umfahren von Halbschranken, „Rotlichtüberfahrung“) zu bewirken, ist der Einsatz der Überwachungsart ÜS_{OE} (Überwachungssignal mit optimierter Einschaltstrecke) prädestiniert.

Weiterhin bieten risikooptimierte Bahnübergangssicherungsanlagen die Möglichkeit, eine größere Anzahl an Bahnübergängen mit einer technischen Sicherung auszustatten. Ein Low-Cost-BÜ-Konzept, wie es in Kapitel 7.2.1 vorgestellt wurde, stellt sich aufgrund des hohen Kostenaufwands für die Stromversorgung und des Verkabelungsaufwands sowie der weitgreifenden Anpassungen rechtlicher Verordnungen als nicht zweckmäßig heraus. Zudem müssen für die Rückfallebene (technische Störung der Anlage) Vorgaben für die nichttechnische Sicherung (Freihaltung der Sichtflächen) beachtet werden. Für den Einsatz von risikooptimierten BÜSA bedarf es demnach noch weiterer Studien.

Die bauliche Gestaltung des BÜ und seiner Umgebung hat so zu erfolgen, dass alle Straßenverkehrsteilnehmer in ihren normativen Maßen den BÜ problemlos befahren können. Dies führt ebenfalls zu einer Verringerung der Unfallzahlen. Nicht regelgerechte Kuppen- und Wannenausrundungen können zu einem Liegenbleiben eines Kfz, insbesondere von Lkw und Schwerlastverkehren, führen und so Unfälle hervorrufen. Gleiches gilt für Kurvenproblematiken bei nicht konformer Beachtung der Schleppkurven insbesondere von Lkw. Die regelkon-

forme Ausgestaltung muss zudem gem. Ril 815.0040 Abschnitt 5 Absatz 4 [18] bei Verkehrsschauen gewissenhaft überprüft und bei identifizierten Defiziten beauftragt werden. Eine Umgestaltung des BÜ nach Vorgaben des aktuell gültigen Regelwerks ist hierbei auch trotz bestehendem Bestandsschutz zweckdienlich.

13 Zusammenfassung

Ausgangspunkt für die Arbeiten im Forschungsprojekt „*Analyse Optimierungspotential Bahnübergangssicherung*“ bildet die vergleichsweise hohe Unfallhäufigkeit an Bahnübergängen im Verkehrssystem Eisenbahn. Im Sinne der Unfallvermeidung wurden daher in der vorliegenden Studie potentielle Verbesserungsmaßnahmen identifiziert und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bewertet. Die grundlegende Basis für die durchgeführte Analyse bildet zunächst die Systemdefinitionen der verschiedenen, bei Eisenbahnen des Bundes eingesetzten Bahnübergangssicherungsanlagen. Zudem sollte das aktuell vorhandenen und damit akzeptierte Risiko an BÜ als Grundlagenkriterium herangezogen werden.

Umfangreiche Datenanalysen stellten sich jedoch als nicht zielführend heraus, da keine für den vorliegenden Zweck hinreichend detaillierten Statistiken geführt werden. Zwar lassen sich gewisse Trends und Ableitungen identifizieren, konkrete Kalkulationen bezüglich des Risikos an Bahnübergängen können mit diesen Daten jedoch nicht durchgeführt werden. Maßgebend für das Risiko ist die Häufigkeit eines Zusammenpralls, welche es zu verringern gilt. Hierzu können die Einflussfaktoren Aussetzung, Gefährdung und Unabwendbarkeit assimiliert werden. Insbesondere die Gewerke Sicherungs- und Elektrotechnik sowie Bautechnik der Straße existieren Einflussgrößen, welche Optimierungspotential bieten.

Weiterhin wurden im Ausland und bei NE-Bahnen angewandte Techniken und Maßnahmen sowie innovative Technologien hinsichtlich ihrer Adaptierbarkeit für EdB untersucht. Basis dieser Betrachtungen bilden:

- menschliche Verhaltensanalysen am Bahnübergang,
- Ablaufmodell der Nutzung eines BÜ,
- technische und wirtschaftliche Einflussgrößen.

Insgesamt wurden 28 potentielle Maßnahmen und Technologien hinsichtlich des grundsätzlichen Potentials, der anwendbaren Sicherungsarten sowie der vorstellbaren Sicherheitserhöhung inspiziert. Mehr als zwei Drittel dieser wurden in der Nutzwertanalyse weiterführend betrachtet. Dabei erfolgte eine Charakterisierung der Maßnahmen mittels acht Bewertungskriterien in unterschiedlichen Wichtungen mittels einer Vergleichsmatrix. Diese Bewertungskriterien zeigt Tabelle 14. Die NWA als Ganzes wurde in folgende vier Teilbereiche untergliedert:

- nichttechnisch gesichert,
- BÜ mit Lichtzeichen,
- BÜ mit Halbschranken sowie
- technische Gefahrenraumfreimeldeanlagen an BÜ mit Vollabschluss.

Für jeden Teilbereich erfolgt eine Auswahl an Innovationen, die in der NWA betrachtet werden und für die jeweilige Technik sinnvoll sind.

Abschließend erfolgte für die als geeignet deklarierten Optimierungsmaßnahmen eine Prüfung auf ihre Regelkonformität zu aktuell gültigen Vorschriften inklusive einer wiederholten Betrachtung der Bewertung von Aufwand und Nutzen.

Als Ergebnis konnte ein Empfehlungskatalog für Optimierungsmaßnahmen der Bahnübergangssicherung bei EdB identifiziert werden. Für die diversen, in Deutschland eingesetzten Sicherungsarten ergeben sich unterschiedliche Maßnahmen. Die als erste Empfehlung gesetzten Fahrbahnteiler bewirken ausschließlich bei Bahnübergängen mit Halbschranken einen Sicherheitsgewinn, indem sie eine recht einfach zu installierende physische Barriere zur Vermeidung einer seitlichen Umfahrung von geschlossenen Halbschranken bilden.

Als zweite Maßnahmenempfehlung zur Sicherheitserhöhung am BÜ gilt die zusätzliche Informationsanzeige für den Straßenverkehrsteilnehmer. Diesbezüglich konnten zwei verschiede-

ne Systeme ermittelt werden. Beide Systeme verfügen über ein breites Einsatzspektrum. Unbeabsichtigtes Fehlverhalten der SVT lässt sich somit bei allen Bahnübergängen weitestgehend eliminieren, da die Wahrscheinlichkeit für ein Übersehen des BÜ durch die doppelte Wahrnehmung der Gefahrenstelle Bahnübergang erheblich reduziert werden kann.

Pädagogische Ansatzpunkte können in erster Linie unabsichtliches, aber auch absichtliches, Fehlverhalten der SVT reduzieren. Obwohl mit einem signifikanten Aufwand verbunden, bietet die Verkehrserziehung den Vorteil, dass sie für verschiedene Benutzergruppen individuell gestaltet werden kann.

Als weitere dritte Empfehlung wurden Fahrbahnlichter festgehalten. Die in die Fahrbahn eingelassenen Lichter, welche bereits im Bereich des Rollfelds von Flughäfen ihre unentwegte Belastbarkeit gezeigt haben, bieten die Möglichkeit einer weiteren optischen Wiedergabe des Sicherungszustands des BÜ für den SVT. Es wird erwartet, dass durch die psychologische Wirkung (erhöhte Aufmerksamkeit), die Wahrscheinlichkeit des regelwidrigen Überfahrens der Haltelinie an technisch gesicherten Bahnübergängen deutlich sinkt und damit die Sicherheit am BÜ erhöht werden kann.

Des Weiteren bieten angepasste Gefahrenraumfreimeldeanlagen Potential zur Sicherheitserhöhung. Neben einer allgemeinen Kostenreduktion kann bei einfachen Verkehrsanforderungen mithilfe risikooptimierter Systeme zur technischen Gefahrenraumfreimeldung die Applikation von Vollabschlüssen zunehmen. Hierzu bedarf es allerdings noch weiterer grundlegender Untersuchungen zu den akzeptierbaren Sicherheitsanforderungen an die technischen Systemfunktionen. Maßnahmen, wie das Lasersystem oder die intelligente Videoüberwachung mittels Wärmebildkameras gehören zu den potentiell geeigneten Objektdetektionssystemen.

Als letzte Ergebnisse im Empfehlungskatalog sind bereits in Anwendung befindliche Maßnahmen aufgeführt. Diese Risikoreduktionsmaßnahmen sollten eine verbreiterte Anwendung finden, da sie ohne großen Aufwand in Entwicklung und Einführung bereits aktuell die Sicherheit am BÜ erhöhen. Hierzu zählen:

- der Einsatz vorgeschalteter Lichtzeichen und Abhängigkeiten zu benachbarten LSA,
- die optimierte Einschaltung,
- der Einsatz wirksamerer Sicherungsmaßnahmen sowie
- die Ausgestaltung des BÜ nach aktuell gültigem Regelwerk.

Dementsprechend stellen die angeführten Ergebnisse dieses Forschungsprojekts eine fundierte Grundlage für die stetige Verbesserung der Sicherheit an Bahnübergängen bei Eisenbahnen des Bundes bereit.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Definition
A	Aussetzung
ADAC	Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V.
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
BEU	Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung
BkatV	Bußgeldkatalog-Verordnung
BÜ	Bahnübergang
BÜP	Bahnübergangsposten
BÜSA	Bahnübergangssicherungsanlage
CENELEC	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
CSI	Common Safety Indicators – Gemeinsame Sicherheitsindikatoren
DB	Deutsche Bahn AG
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
DIN	Deutsche Industrienorm
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EdB	Eisenbahnen des Bundes
EIGV	Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung
EKrG	Eisenbahnkreuzungsgesetz
EN	Europäische Norm
ERAIL	European Railway Accident Information Links
ESO	Eisenbahn-Signalordnung
ETCS	European Train Control System
EUV	Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung
Fü	Fernüberwachung
G	Gefährdung
GFR	Gefahrenraumfreimeldeanlage
GNSS	Globales Navigations satellitensystem
GPS	Global Positioning System
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Rail(way)
H	Häufigkeit
HBS Teil L	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Teil L Landstraßen
HBS Teil S	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Teil S Stadtstraßen
Hp	Hauptsignaldeckung
Kfz	Kraftfahrzeug
LED	Light-emitting Diode – Leuchtdiode
Lkw	Lastkraftwagen
LPS	Local Positioning System
LSA	Lichtsignalanlage
LST	Leit- und Sicherungstechnik
Lz	Lichtzeichen
LzH	Lichtzeichen mit Halbschranken
LzV	Lichtzeichen mit Schranken
NE-Bahnen	nichtbundeseigene Eisenbahnen
NE-Bereich	Bereich nichtbundeseigener Eisenbahnen
Növog	Niederösterreichische Verkehrsorganisationsgesellschaft m.b.H.

NWA	Nutzwertanalyse
Pkw	Personenkraftwagen
R	Risiko
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
RASt	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen
RCAS	Railway Collision Avoidance System
Ril	Richtlinie
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
RMS	Richtlinien für die Markierung von Straßen
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
S	Schadensausmaß
Sfz	Schienenfahrzeug
SIL	Safety Integrity Level – Sicherheitsintegritätsstufe
SPU	Sammlung Planungsunterlagen
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
SVT	Straßenverkehrsteilnehmer
TH-BÜP	Technisches Hilfsmittel Bahnübergangsposten
U	Unabwendbarkeit
ÜS	Überwachungssignal
ÜS _{OE}	Überwachungssignal mit optimierter Einschaltstrecke
UVB	Unfallversicherung Bund und Bahn
UWB	Ultra-wideband – Ultrabreitband
VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V.
VEB	Volkseigener Betrieb
VwV-StVO	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrsordnung
WSSB	Werk für Signal- und Sicherungstechnik Berlin

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Personenschäden im Schienenverkehr 2004 – 2015 [1]	10
Abbildung 2:	Prozessablaufdiagramm	12
Abbildung 3:	Bahnübergang mit Lichtzeichen	14
Abbildung 4:	Bahnübergang mit Blinklicht und Halbschranken	15
Abbildung 5:	Bahnübergang mit Lichtzeichen und Schranken (mit technischer Gefahrenraumfreimeldung)	15
Abbildung 6:	Funktionseinheiten der BÜSA	18
Abbildung 7:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch Übersicht	19
Abbildung 8:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch hörbare Signale der Schienenfahrzeuge	20
Abbildung 9:	Postensicherung	21
Abbildung 10:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen mit Überwachungssignal	21
Abbildung 11:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen und Halbschranken mit Fernüberwachung	22
Abbildung 12:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen und Halbschranken mit Überwachungssignal mit optimierter Einschaltstrecke	23
Abbildung 13:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch Lichtzeichen und Schranken mit Hauptsignaldeckung	24
Abbildung 14:	Funktionaler Aufbau Sicherung durch Schranken (Anrufschanke)	25
Abbildung 15:	Anzahl getöteter und verletzter Personen je BÜ-Unfall nach [1]	30
Abbildung 16:	Anzahl getöteter und verletzter Personen je BÜ-Unfall nach [10]	30
Abbildung 17:	Erforderliche kognitive Teilschritte bei BÜ-Querung [14]	31
Abbildung 18:	Ablaufmodell der Nutzung eines BÜ [9]	34
Abbildung 19:	Kostenanteile beim Bau einer BÜSA [15]	36
Abbildung 20:	Einflussfaktoren auf das Risiko am Bahnübergang nach [9]	37
Abbildung 21:	Freizuhaltende Sichtflächen am aktiven BÜ	40
Abbildung 22:	Fahrbahnteiler [17]	41
Abbildung 23:	Mittelinsel am BÜ mit LzH	41
Abbildung 24:	Prinzipskizze angrenzender Kreuzungsbereich bei Fahrbahnteiler	43
Abbildung 25:	Negativbeispiel für Beschilderung vor dem BÜ	44
Abbildung 26:	Funktionaler Aufbau BÜSTRA	45
Abbildung 27:	Funktionaler Aufbau BÜSTRA bei Einschaltung durch Schienenfahrzeug	45
Abbildung 28:	Prinzipskizze Rotlichtüberwachung am BÜ [21]	49
Abbildung 29:	Kamerasystem der Rotlichtüberwachung [21]	50
Abbildung 30:	Prinzipskizze Rotlichtüberwachung am BÜ	51
Abbildung 31:	Prinzipskizze Funktechnologie zur Ansteuerung von BÜSA [25]	54
Abbildung 32:	Vereinfachte Systemarchitektur „Fahrzeug-Warnsystem für Bahnübergänge“ [28]	57
Abbildung 33:	360°-Leuchte am BÜ in Japan [31]	61
Abbildung 34:	Prinzipskizze Rundumleuchte bei einmündender Straße am BÜ	62
Abbildung 35:	Einordnung der BÜ-Anlagentypen [33]	64
Abbildung 36:	Wechselverkehrszeichen bei Störung [34]	65
Abbildung 37:	Micro-Anlage im Pilotversuch [33]	65
Abbildung 38:	Wechselverkehrszeichen vor BÜ [36]	68
Abbildung 39:	Prinzipskizze Fahrbahnlichter	70
Abbildung 40:	Fahrbahnlichter vor dem BÜ [37]	71
Abbildung 41:	Fahrbahnteiler am BÜ [22]	72
Abbildung 42:	Klappbares Hindernis am BÜ [38]	74
Abbildung 43:	Prinzipskizze NavTrain [39]	75

Abbildung 44: Besondere BÜ-Markierung in Österreich [22]	77
Abbildung 45: Halbschranken einer Hs 64-Bahnübergangssicherungsanlage [41]	80
Abbildung 46: Schleppkurve bei einem Kurvenradius von 12,5 m [43]	82
Abbildung 47: PKW-Wrack als Exponat eines Praxis-Schulungstages [46]	83
Abbildung 48: Beispiel einer golden rule der „Keeping You Safe“ Kampagne [45].....	84
Abbildung 49: Leuchte des „PeriLight“-Prototyps [47]	87
Abbildung 50: Wirkungsweise der akustischen Sensorik [48].....	89
Abbildung 51: Anordnung der Markierungsblöcke in der Länge [52]	91
Abbildung 52: Markierungsblock an erster Bake vor BÜ [52]	92
Abbildung 53: Mobile Sicherungsanlage [54]	93
Abbildung 54: Mobile Sicherungsanlage mit Nachwarnung [55]	94
Abbildung 55: Systemlösung für nichttechnisch gesicherte BÜ [56].....	95
Abbildung 56: Laserscanner zur Gefahrenraumüberwachung [57]	96
Abbildung 57: Wärmebildkamera am BÜ [58].....	98
Abbildung 58: RCAS Fahrzeugkomponente bei den Harzer Schmalspurbahnen [60]	100
Abbildung 59: Kommunikation zwischen Straße und Schiene [66].....	103
Abbildung 60: Verkehrszeichenerkennung im Armaturenbrett [68]	104
Abbildung 61: Verkehrszeichen nach StVO an BÜ [70]	105
Abbildung 62: Eintragung und Berechnung in der Vergleichsmatrix	109
Abbildung 63: Ergebnis der NWA für nichttechnisch gesicherte BÜ	117
Abbildung 64: Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Lz	125
Abbildung 65: Ergebnis der NWA für technisch gesicherte BÜ mit Halbschranken.....	128
Abbildung 66: Ergebnis der NWA für GFR.....	131
Abbildung 67: Ergebnis der NWA	133
Abbildung 68: Hierarchische Darstellung der identifizierten Optimierungsmaßnahmen	134
Abbildung 69: Untersuchte Vorschriften.....	135
Abbildung 70: Ergebnis der Untersuchung zu rechtlichen Rahmenbedingungen.....	142
Abbildung 71: Empfehlungskatalog für Optimierungsmaßnahmen der Bahnübergangssicherung	145

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Überwachungsarten technisch gesicherter Bahnübergänge	16
Tabelle 2:	Kombinationen der Sicherheits-, Einschalt- und Überwachungsarten nach [5]	17
Tabelle 3:	Veränderungen absoluter Kriterien nach [1], [10], [11] im Zeitraum 2010 – 2015	29
Tabelle 4:	Veränderungen relativer Kriterien nach [1], [10] im Zeitraum 2010 – 2015.	29
Tabelle 5:	Kategorisierung des Aufwands und Nutzens.....	38
Tabelle 6:	Vor- und Nachteile von Rotlichtüberwachungsanlagen.....	52
Tabelle 7:	Typenübersicht der BÜ-Anlagen nach [33]	63
Tabelle 8:	Einsatzbedingungen für eine Micro-Anlage nach [35]	66
Tabelle 9:	Varianten der Fahrbahnmarkierungen.....	77
Tabelle 10:	Zusammenfassung der Ergebnisse Kapitel 3	86
Tabelle 11:	Zusammenfassung der Ergebnisse Kapitel 8	106
Tabelle 12:	Bewertungskriterien	107
Tabelle 13:	Kategorien der Wichtung.....	107
Tabelle 14:	Wichtung der Bewertungskriterien.....	108
Tabelle 15:	Ausprägung des Kriteriums des Kostenaufwands.....	110
Tabelle 16:	Ausprägung des Kriteriums „Änderungsbedarf des Regelwerks“	142

Literaturverzeichnis

- [1] Statistisches Bundesamt: Verkehr: Eisenbahnverkehr Betriebsdaten des Schienenverkehrs. September 2015
- [2] Safer LC: Deliverable D1.1 – Analysis of level crossing safety in Europe and beyond. Version 04, Oktober 2017
- [3] DIN EN 50126: Bahnanwendungen; Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). September 2006
- [4] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 26. Juli 2017 (BGBl. I S. 3054)
- [5] Schöne, Eric J.: Bahnübergänge in: Fendrich, Lothar, Fengler, Wolfgang (Hrsg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur. 2. Auflage, Berlin: 2013
- [6] Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367), zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 22. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1635)
- [7] Zusammenstellung der Bestimmungen der Eisenbahn-Signalordnung 1959 (ESO 1959), einschließlich der gemäß ESO (4) genehmigten Signale mit vorübergehender Gültigkeit und der gemäß ESO (5) erlassenen Anweisungen zur Durchführung der ESO, gültig für das Netz der Eisenbahnen des Bundes (EdB). Dezember 2013
- [8] Schöne, Eric, Bagola, Robert: Wahrnehmbarkeit akustischer Signale der Bahnfahrzeuge an Bahnübergängen. In: EI – Eisenbahningenieur (2013), Nr. 10/2013, S. 38 – 43
- [9] Schöne, Eric J.: Ein risikobasiertes Verfahren zur Sicherheitsbeurteilung von Bahnübergängen. Dresden: 2012
- [10] ERAIL database Common Safety Indicators data reported by National Safety Authorities, Country: Germany. Abgerufen am 12.01.2018
- [11] Auswertung Unfalldatenbank der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU). Abfrage vom 08.03.2018
- [12] Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung vom 5. Juli 2007 (BGBl. I S. 1305, 1319)
- [13] DB Netz AG (Hrsg.): Bahnübergänge im Spiegel der Statistik – Bahnübergangsstatistik 2013. Frankfurt/Main: 2013
- [14] Grippenkoven, Jan: Wahrnehmung und Verhalten am Bahnübergang. In: deine bahn (2017), Nr. 2/2017, S. 10 – 15
- [15] Malcharek, Marian, Cygon, Piotr: Trends bei der Entwicklung von Bahnübergangssicherungsanlagen aus polnischer Sicht. In: Signal + Draht (2004), Nr.4/2004, S. 29 – 32
- [16] Schöne, Eric, Buder, Jens: Einfluss der Ortskenntnis auf das Verhalten an Bahnübergängen. In: EI – Eisenbahningenieur (2011), Nr. 6/2011, S. 38 – 42
- [17] <https://www.strassen.nrw.de/files/oe/motorradsicherheit/nordhelle2.jpg>, abgerufen am 13.06.2018
- [18] DB Netz AG (Hrsg.): Richtlinie 815 Bahnübergänge planen und instand halten, gültig ab 01.11.2008. Frankfurt/Main: 2008
- [19] Schöne, Eric J.: Bahnübergänge: Zwischen Restrisiko und Sicherheitslücke. In: Eisenbahntechnische Rundschau (2016), Nr. März 2016, S. 12 – 17
- [20] Eisenbahnkreuzungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. März 1971 (BGBl. I S. 337), das zuletzt durch Artikel 462 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist

- [21] EBE Solutions GmbH: isis Red Rail. <http://www.ebe-solutions.at/de/ebe-rail/isis-red-rail>, abgerufen am 19.02.2018
- [22] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, ÖBB Infrastruktur AG: Entwicklung von Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlverhalten an Eisenbahnkreuzungen mit Hilfe der Verkehrspsychologie. Wien: 2013
- [23] Verordnung über die Erteilung einer Verwarnung, Regelsätze für Geldbußen und die Anordnung eines Fahrverbotes wegen Ordnungswidrigkeiten im Straßenverkehr (Bußgeldkatalog-Verordnung - BKatV) vom 14. März 2013 (BGBl. I S. 498), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 6. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3549; 2018 I 53)
- [24] Straßenverkehrsgesetz (StVG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 17. August 2017 (BGBl. I S. 3202)
- [25] Növog: BÜ-Sicherung über Funk. In: EI – Eisenbahningenieur (2018), Nr. 1/2018, S. 63
- [26] European Space Agency: LeCross – Improving Safety at Railway Level Crossings. <https://business.esa.int/projects/lecross>, abgerufen am 05.06.2018
- [27] Datamotive: Train Early Detection System (TEDS). <https://www.datamotive.ca/>, abgerufen am 04.07.2018
- [28] Öörni, Risto: Reliability of an in-vehicle warning system for railway level crossings a user-oriented analysis. In: IET Intelligent Transport Systems (2014), Nr. 8/2014, S. 9 – 20
- [29] Ingeniería y Control Ferroviario: Products. <http://www.icf.com.es/wp-content/uploads/2017/09/ICF-Products-EN.pdf>, abgerufen am 11.07.2018)
- [30] Begirale Railway: Begicrossing. <http://begiralerailway.com/en/begirale-railway/begicrossing/>, abgerufen am 05.07.2018
- [31] Hiromoto, K.; Uenishi, R.: Development of level crossing safety at West Japan Railway Company. In: Global Railway Review (2018), Nr. 6/2016, S. 64 – 66
- [32] DB Netz AG (bearbeitet durch: TU Dresden): Risikoanalyse Elektronische Bahnübergangssicherungstechnik. Version 2.6, Dresden: 2013
- [33] Leemann, Robert: Sicherung von Bahnübergängen – neue Ansätze in einer klassischen Disziplin. In: Signal + Draht (2008), Nr. 5/2008, S. 25 – 29
- [34] Schweizer, André: Blitzleuchte und Warnanzeige statt einsames Andreaskreuz. In: BLS départ (2006), Nr. 2, S. 13 – 15
- [35] Verband öffentlicher Verkehr, Schweizerische Eidgenossenschaft (Hrsg.): Hintergrundinfo zur Kommunikation für Low-Cost-Anlagen MICRO zur Sicherung von Bahnübergängen. Bern: 2009
- [36] EBE Solutions GmbH: isis Wechselverkehrszeichen. <http://www.ebe-solutions.at/de/ebe-rail/isis-wechselverkehrszeichen>, abgerufen am 19.02.2018
- [37] EBE Solutions GmbH: isis LaneLights. <http://www.ebe-solutions.at/de/ebe-rail/isis-lane-lights>, abgerufen am 19.02.2018
- [38] Rail fort the Valley. <http://www.railforthevalley.com/latest-news/zweissystem/a-railway-crossing-that-means-business/>, abgerufen am 28.03.2018
- [39] Thales Austria GmbH: NavTrain – Mind the Train. https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/navtrain_de_print.pdf, abgerufen am 30.05.2018

- [40] DB Netz AG (Herausgeber): Geoinformationen zu Bahnübergängen des Schienenverkehrsnetzes. <http://data.deutschebahn.com/dataset/geo-bahnuebergang>, abgerufen am 18.07.2018
- [41] VEB Werk für Signal- und Sicherungstechnik Berlin: Halbschranken- und Haltlichtanlagen. Berlin
- [42] Günther, Franziska: Auswirkungen der Zulassung von Lang-Lkw auf die Sicherheit an Bahnübergängen. Masterarbeit Technische Universität Dresden, Dresden: 2015
- [43] Buder, Jens: Auswirkung der Zulassung von Lang-Lkw auf Bahnübergänge. 61. Eisenbahntechnische Fachtagung, 20.01.2017
- [44] Ohne Verfasser: Sicher drüber: Neustart der Kampagne nach 15 Jahren. In: deine bahn (2018), Nr. 3/2018, S. 54 – 55
- [45] Rail Industry Safety and Standards Board (Hrsg.): Railway Level Crossings, Keeping you Safe! Information Sheet. Version 1.00b, 2012
- [46] Deutsche Bahn AG (Hrsg.): Geblickt? Sicher drüber! https://www.deutschebahn.com/de/nachhaltigkeit/verantwortung_gesellschaft/unfallpraevention/sicher_drueber-1182090, abgerufen am 19.07.2018
- [47] Grippenkov, Jan, Lemmer, Thomas: PeriLight – effektive Blicklenkung am Bahnübergang. In: EI – Eisenbahningenieur (2016), Nr. 1/2016, S. 48 – 51
- [48] Rosenberger, Martin, Hall, Andrew: Distributed Acoustic Sensing als Basistechnologie für Anwendungen im Bahnbereich. In: Signal + Draht (2016), Nr. 9/2016, S. 73 - 84
- [49] Schubert, Max, Bauer, Erik: Fiber Optic Sensing im Eisenbahnsektor. In: Signal + Draht (2015), Nr. 9/2015, S. 42 – 46
- [50] Hartung, Mandy: Identifizierung alternativer Möglichkeiten zur Raumüberwachung bei der Gleisbaustellensicherung auf Basis des aktuellen Stands der Technik. Hauptseminararbeit Technische Universität Dresden, Dresden: 2017.
- [51] Sommergruber, Manfred, Grundnig, Gerhard: Innovative Zugdetektion für hochverfügbare und ökonomische BÜSA. In: Signal + Draht (2017), Nr. 12/2017, S. 13 – 21
- [52] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, ÖBB Infrastruktur AG: Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt „RÜTTLEX“, Entwicklung von Rüttelstreifen zur Vermeidung von Fehlverhalten an Eisenbahnkreuzungen. Wien: 2016.
- [53] UPZ-Gruppe: TH BÜP. <http://www.upz-gruppe.de/upz-produkte/th-buep.html>, abgerufen am 25.02.2018
- [54] UPZ-Gruppe: Produktkatalog. <http://www.upz-gruppe.de/fileadmin/media/doc/th-buep-upz.pdf>, abgerufen am 25.04.2018
- [55] Zöllner GmbH: LEXOS – Technisches Hilfsmittel zur Nachwarnung BÜP. <http://www.zoellner.de/infrastruktur/lexos-technisches-hilfsmittel-zur-nachwarnung-buep/>, abgerufen am 25.04.2018
- [56] Hartung, Mandy: Analyse einer neuen Systemlösung an nicht technisch gesicherten Bahnübergängen zur Kollisionsvermeidung. Bachelorarbeit Fachhochschule Erfurt, Erfurt: 2016.
- [57] SICK AG: Gefahrraumfreimeldung an Bahnübergängen. <https://www.sick.com/de/de/branchen/verkehr/schiene/loesungen-zur-verkehrssicherheit-im-schienenbereich/gefahrraumfreimeldung-an-bahnuebergaengen/c/p329734>, abgerufen am 22.02.2018
- [58] Flir Systems Inc.: Öffentlicher Nahverkehr, Unfälle und Infrastrukturschäden vermeiden. <http://www.flir.de/traffic/display/?id=67430>, abgerufen am 27.03.2018

- [59] Pelz, Markus: Kollisionsvermeidung mittels fahrzeugautarker Ortung unter Verwendung Bild gebender Verfahren und GNSS. Positionierung und Navigation für intelligente Transportsysteme (POSNAV), 06. – 07.11.2007
- [60] VDI Verlag GmbH: Infrastrukturloses Warnsystem wäre einsatzbereit. <https://www.vdinachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Infrastrukturloses-Warnsystem-waere-einsatzbereit>, abgerufen am 25.04.2018
- [61] Maier-Borst, Haluka: Ultrabreitband-Navigation: Bis auf den Zentimeter genau. http://www.deutschlandfunk.de/ultrabreitband-navigation-bis-auf-den-zentimeter-genau.676.de.html?dram:article_id=314156, abgerufen am 27.06.2018
- [62] Infsoft GmbH: Ultra-Wideband-Technologie. <https://www.ultrawideband.de/de/technologie.php>, abgerufen am 27.06.2018
- [63] Infsoft GmbH: FAQ. <https://www.ultrawideband.de/de/faq-die-wichtigsten-fragen-zu-uwband-lokalisierung.php>, abgerufen am 27.06.2018
- [64] Infsoft GmbH: Indoor Positionsbestimmung mit Ultra-wideband. https://www.infsoft.de/technologie/sensorik/ultrawideband/utm_source/website/utm_medium/link/utm_campaign/uwb, abgerufen am 27.06.2018
- [65] Solcon-Systemtechnik GmbH: UWB (Ultra Wide band). <http://www.solcon-systemtechnik.de/loesungen/ortung-und-rfid/ortungs-technologien-uwb-rtls-lps-rfid-gps/>, abgerufen am 27.06.2018
- [66] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.: Wenn die Schiene mit der Straße spricht. http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-19351/#/gallery/24367, abgerufen am 07.03.2018
- [67] DB Systel GmbH: Mehr Sicherheit auf allen Wegen. <https://digitalspirit.dbsystel.de/mehr-sicherheit-auf-allen-wegen/> abgerufen am 19.04.2018
- [68] Seat Deutschland GmbH: Produktkatalog: Der neue Seat Leon. 2017
- [69] Prawitz, Sven: Fahrerassistenzsysteme: Volkswagen optimiert Verkehrszeichenerkennung. <https://www.automobil-industrie.vogel.de/volkswagen-optimiert-verkehrszeichenerkennung-a-568301/>, abgerufen am 02.05.2018
- [70] Deutscher Verkehrssicherheitsrat: Verkehrszeichen der StVO. <https://www.dvr.de/publikationen/downloads/verkehrszeichen.html>, abgerufen am 02.05.2018
- [71] Franzen, Pinders, Schreiber, Kuhlenkötter: Assistenzsystem für Rangierlokomotiven. In: Eisenbahn Ingenieur Kompendium (2018), S. 121 – 136
- [72] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“ (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL. Ausgabe 2012. Köln: 2013
- [73] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“ (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RAS. Ausgabe 2006. Köln: 2009
- [74] DB Netz AG (Hrsg.): Richtlinie 819.12 LST-Anlagen planen; Technische Bahnübergangs-Sicherungsanlagen. gültig ab 01.03.2004. Frankfurt/Main: 2004
- [75] Thales Austria GmbH: NavTrain – Mind the Train. https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/navtrain_de_print.pdf, abgerufen am 30.05.2018

[76] Vermerk zur Datenerfassung bei Bahnübergangsunfällen vom 31.01.2011, Professur für Verkehrssicherungstechnik im Rahmen des Forschungsprojekts „Erstellung eines einheitlichen Regelwerksentwurfs als Grundlage für die Planung und Instandhaltung von Bahnübergängen“, BMVBS-Projekt-Nr. 96.0943/2009/