

Sicherheit an Bahnübergängen

Bericht zur Phase 1 – Auslegeordnung und Risiken
Überarbeitete Fassung 20.01.2022



Projektteam

Charles Fermaud, EBP
Helgi Hafsteinsson, EBP
Markus Deublein, BFU

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Schweiz
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Druck: 27. Januar 2022
2022-01-20_Bericht_Phase1_V2.0.docx
Projektnummer: 220332.00

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Arbeiten zur Phase 1, die unter dem Titel einer Auslegeordnung steht. Es handelt sich um eine überarbeitete Fassung der Berichtsversion vom 12.03.2021.

Die Überarbeitung betrifft das Kapitel 7 «Risikomodell» sowie den Anhang A4 «Beschreibung des Risikomodells».

Die im 2021 durchgeführte Validierung des Risikomodells anhand einer grösseren Stichprobe hat Anpassungsbedarf aufgezeigt, sodass das Kapitel 7 und der Anhang A4 angepasst wurden.

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
A	Ausmass, Schadensausmass
AK	Andreaskreuz
BUE	Bahnübergang
BSA	Blinklichtsignalanlage
FäG	Fussgängerähnliche Geräte
FG	Fussgänger
Gk	Grenzkosten
H	Häufigkeit
HSCHA	Halbschrankenanlage
LSA	Lichtsignalanlage
LW	Lastwagen
MKR	Monetarisiertes kollektives Risiko
OAE	Opferäquivalente
PW	Personenwagen
SCHA	Schrankenanlage
StrB	Signalisierung Strassenbahn (Signal 1.18)
UAP	Unfallaufnahmeprotokoll für polizeilich registrierte Strassenverkehrsunfälle
VRA	Verkehrsregelungsanlage

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
1.1	Ausgangslage	7
1.2	Zielsetzung und Aufgabe	8
1.3	Beteiligte und Vorgehen in der Phase 1	8
1.4	Grundlagen	9
2.	Überblick zur Methodik	9
3.	Entwicklung des Mengengerüsts	10
4.	Ereignisse an den Bahnübergängen	12
4.1	Unfallhäufigkeit und Schwere	12
4.1.1	Absolute Unfallhäufigkeit	12
4.1.2	Unfallhäufigkeit pro Bahnübergang	14
4.1.3	Unfallschwere	15
4.2	Vertiefte Analyse der Unfalldaten	16
4.2.1	Unfallschwerpunkte	16
4.2.2	Ortslage	16
4.2.3	Unfallstelle (Konstellation Schiene / Strasse)	18
4.2.4	Unfalltyp	19
4.2.5	Verkehrsaufkommen und Staubbildung	19
4.2.6	Beteiligte Strassenverkehrsteilnehmer	20
4.2.7	Unfallabläufe	21
4.2.8	Geschwindigkeit der Züge	23
4.2.9	Personenschäden in Zügen	23
4.3	Unfallursachen	24
4.4	Gefährdungen und Störungen	25
5.	Benutzerverhalten	27
5.1	Erklärungsmodelle	27
5.2	Beobachtungen und Feststellungen zum Verhalten	28
6.	Risikoanalyse	31
6.1	Risikobegriff	31
6.2	Ergebnisse für das Netz	32
7.	Risikomodell	33
7.1	Einleitung	33

7.2	Modell	34
7.3	Parameter des Risikomodells	35
8.	Massnahmenspektrum	36
9.	Folgerungen	37
9.1	Folgerungen aus den Ereignisdaten	37
9.2	Folgerungen aus der Literaturrecherche	38
9.3	Folgerungen bezüglich Risikomodell	41
9.4	Folgerungen bezüglich Massnahmen	41

Anhang

A1	Grundlagen
A1.1	Vorschriften und Regelungen
A1.2	Daten
A1.3	Literatur
A2	Literaturrecherche
A3	Risikoanalyse
A3.1	Unfallhäufigkeit
A3.2	Schadensausmass
A3.3	Risikoermittlung
A4	Beschreibung des Risikomodells
A4.1	Evaluation der Einflussfaktoren für das Risikomodell
A4.2	Basisparameter
A4.3	Verhaltensbeeinflussende Parameter
A4.4	Abgleich mit der Erfahrung
A4.5	Fallbeispiele
A5	Auslegeordnung möglicher Massnahmen

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Sanierungsprogramme für Bahnübergänge (BUe), die in den vergangenen Jahren in der Schweiz umgesetzt wurden, haben die Unfallzahlen und Risiken massgeblich reduziert.

Auch wenn die messbare Zahl der Unfälle und Risiken stark gesunken ist, können verschiedene Entwicklungen beobachtet werden, welche die verantwortlichen Netzbetreiber und Bahnunternehmen beschäftigen (nicht abschliessend):

- Bahn- und strassenseitige Verkehrszunahme
- Eine grosse Zahl von Regelverletzungen auf Seite der Strassenverkehrsteilnehmer
- Ereignisse, die zwar nicht zu Unfällen führen, aber erhebliche Betriebsstörungen und Sachbeschädigungen zur Folge haben
- Der Einsatz leichter Triebzüge, sodass gegenüber lokbespannten Zügen auch die Reisenden im Zug verstärkt gefährdet sind
- Die Schwierigkeit konkrete Verbesserungen umzusetzen, da der Handlungsspielraum lokal sehr eingeschränkt ist

Einen Schlüssel bildet das Verhalten der Bahnübergangsbenutzer und die Beweggründe für deren Verhalten. Soll eine nachhaltige/langfristige Verbesserung erreicht werden, so liegen hier zentrale Ansatzpunkte. Sie betreffen einerseits die generelle Einstellung und das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden. Andererseits betrifft es auch die konkrete lokale Ebene: Bahnübergänge sollten so gestaltet sein, dass korrektes regelkonformes Verhalten intuitiv hervorgerufen wird und die Konsequenzen aus einem fehlerhaften Verhalten – egal ob absichtlich oder unabsichtlich – möglichst reduziert werden.

Verbesserungspotenziale lassen sich daher durch ein sehr breites Spektrum an Lösungsansätzen erzielen: in einer optimierten Gestaltung und Signalisierung der BUe, um das Verhalten der Benutzer zu beeinflussen, im Knowhow der Benutzer, in der Durchsetzung von Regeln oder auch längerfristig in den neuen Möglichkeiten durch die Digitalisierung und Automatisierung des Bahn- und Strassenverkehrs. Dabei könnten künftig auch systemübergreifende Ansätze stärker eine Rolle spielen.

Vor diesem Hintergrund hat die Arbeitsgruppe Bahnübergänge des VöV das vorliegende Forschungsvorhaben initiiert, um Möglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit an BUe systematisch zu untersuchen und Verbesserungsmassnahmen zuhanden der Bahnbranche auszuarbeiten.

Das Projekt ist in zwei Phasen unterteilt:

- Phase 1: Auslegeordnung zu Unfällen und Risiken, Ursachen und Handlungsspielraum
- Phase 2: Beurteilung und Empfehlung möglicher Massnahmen zuhanden der Bahnunternehmen

Der vorliegende Zwischenbericht bezieht sich auf die Phase 1.

1.2 Zielsetzung und Aufgabe

Allgemein und übergeordnet

- Erhöhen der Sicherheit an BUe. Ein wesentliches Ziel ist es, die Fehlhandlungen der Verkehrsteilnehmenden als zentrale Ursache der Unfälle, zu reduzieren

Zielsetzung und Aufgabe für die Phase 1

- Erstellen einer Auslegeordnung zu den Gefahren und Risiken an BUe unter Nutzung unterschiedlicher Datenquellen. Dazu gehören insbesondere die Erkenntnisse aus Projekten und Forschungsarbeiten in der Schweiz und international.
- Analyse der Unfallursachen und insbesondere der Beweggründe und Beeinflussbarkeit des Verhaltens der BUe-Benutzer. Analyse der Risikoeinflussfaktoren.
- Konzeption eines Risikomodells, das die wesentlichen Risikoeinflussfaktoren berücksichtigt. Das Modell dient dazu, Risiken konkreter BUe einzuschätzen und übergeordnete oder lokale Massnahmen beurteilen zu können.
- In Vorbereitung der Phase 2 sind national und international diskutierte Massnahmen – auch Ideen – im Sinne einer ersten Auslegeordnung aufzulisten.

1.3 Beteiligte und Vorgehen in der Phase 1

Der VöV ist der Auftraggeber. Das Projekt wird gesteuert und begleitet durch die Kerngruppe der Arbeitsgruppe Sicherheit Bahnübergänge des VöV. Die Kerngruppe repräsentiert verschiedene Stakeholder. Die inhaltliche Bearbeitung erfolgt durch EBP unter Mitwirkung der BFU.

Beteiligte in alphabetischer Folge

- Roland Aebi, SBB
- Dr. Markus Deublein, BFU
- Charles Fermaud, EBP
- Helgi Hafsteinsson, EBP
- Stephan Haltiner, ASTRA
- Claude Hess, BLS
- Thomas Graf, AB
- Pascal Ruchti, FHNW, Begleitung aus einem psychologischen Blickwinkel
- Stefan Schöllhorn, SOB
- André Schweizer, RBS, Vorsitzender der Kerngruppe
- Urs Walser, VöV

In einer Beobachterrolle der Aufsichtsbehörde und nicht Mitglied der Kerngruppe

- Daniel Jenzer, BAV

Die Kerngruppe hat sich viermal getroffen mit folgenden inhaltlichen Schwerpunkten

- 17.09.2020: Startsitung mit Aufgabenstellung, Grundlagen und Vorgehen
- 19.11.2020: Analyse der Unfalldaten, Ursachen, Einflussfaktoren
- 13.11.2021: Einflussfaktoren und Risikomodell, potenzielles Massnahmenspektrum
- 19.03.2021: Folgerungen zur Phase 1 und Entwurf des Zwischenberichts

1.4 Grundlagen

Zur Sicherheit von Bahnübergängen liegen sowohl bezüglich Bestands- und Unfalldaten als auch zu Projektarbeiten und Forschung umfangreiche Grundlagen vor:

- Vorschriften und Regelungen auf Seite Strassenverkehr und Eisenbahn (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)
- Inventarliste BUe des BAV (Bestandsdaten zur Entwicklung der Mengengerüste in der Schweiz 2010 bis 2019)
- Unfalldaten
 - Ereignisdaten des BAV, 2010 bis 2019 (Gefährdungen, Störungen, Unfälle)
 - Unfalldaten des ASTRA DWH-VU, 2010 bis 2019
 - Untersuchungsberichte der SUST, 2003 bis 2019
- Erfahrungen und Beobachtungen der Bahnunternehmen
- Unterlagen zu Projekten (Konzepte und umsetzungsnahe Forschungsarbeiten)
- Nationale und internationale Forschungsliteratur und Artikel: Der Fokus liegt auf Untersuchungen zum Verhalten der BUe-Benützer (Human Factors), auf eingesetzten Risikomodellen (Risikoanalysen, Einflussfaktoren) und Untersuchungen zu Massnahmen.

Die Liste der verwendeten Grundlagen findet sich im Anhang A1

2. Überblick zur Methodik

Die einzelnen Arbeitsschritte der Phase 1 sind in Abbildung 1 im Überblick dargestellt. Die jeweiligen Kapitel des Berichtes sind vermerkt.

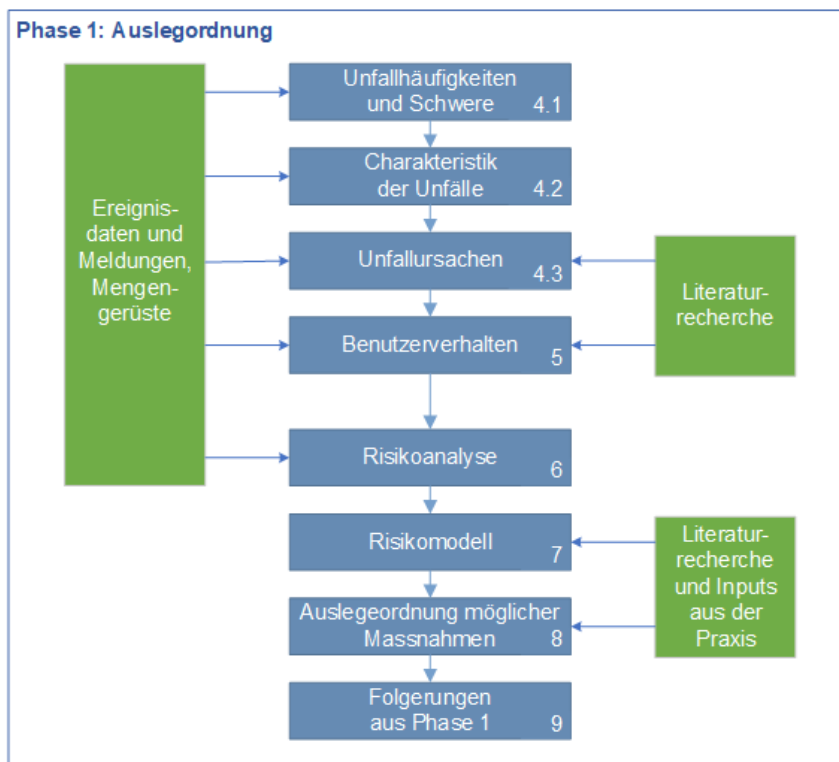


Abbildung 1: Überblick, Hinweis auf die Kapitel im Bericht

Anmerkungen zu den Schritten

- Aus den Unfalldaten von BAV und ASTRA werden die *Unfallhäufigkeiten und die Schwere* in Abhängigkeit der BUE-Typen ermittelt.
- Die vertiefte Analyse der Unfalldaten zeigt die Zusammenhänge und *Charakteristika der Unfälle* bei den verschiedenen BUE-Typen auf.
- Die differenzierte Analyse der *Unfallursachen* kann sich nicht alleine auf statistische Grundlagen stützen, weshalb auch Hinweise aus der Literatur verwendet werden.
- Die hauptsächliche Quelle, um das *Benutzerverhalten* zu beschreiben und die Eigenheiten zu erfassen, bildet eine Literaturrecherche.
- Mit der *Risikoanalyse* wird eine Basis für das Risikomodell geschaffen, um auch seltene schwere Ereignisse, die in der Beobachtungsperiode nicht auftraten, zu berücksichtigen.
- Das *Risikomodell* stützt sich auf wesentliche Einflussgrößen, die das Risiko an einem BUE massgeblich bestimmen. Es bildet eine Grundlage zur Einschätzung der Wirksamkeit von Massnahmen.
- Die *Auslegeordnung möglicher Massnahmen* stützt sich auf Literaturrecherche und weiteren Inputs auch aus der Arbeitsgruppe. Sie dient dazu, die Optionen im Hinblick auf die Phase 2 zu erfassen. Dies geschieht noch ohne Wertung der Zweckmässigkeit der Massnahmen.
- Die *Folgerungen* bilden eine Zusammenfassung mit Thesen zu den relevanten Aspekten.

3. Entwicklung des Mengengerüsts

Für die Analyse der Unfälle und Risiken der BUE wird eine Typisierung vorgenommen, welche die wichtigsten Eigenheiten aus Sicherheitssicht berücksichtigt und bei denen die Bestände seit 2010 dokumentiert sind. Die BUE-Typen stützen sich auf die Art der Signalisierung.

Grundlegende Sicherung	Typisierung für Risikoanalyse	Detailbezeichnungen
Passive Sicherung	Signal Strassenbahn (StrB)	1.18
	Andreaskreuz (AK)	AK
Aktive Sicherung	Lichtsignalanlage (LSA/VRA)	LSA-2F, LSA-3F
		VRA-2F, VRA-3F
		VRA-2F-SCH, VRA-3F-SCH
		VRA-GBI
	Blinklichtsignalanlage (BSA)	BSA
		BSA-1
		BSA-BL
		BSA-BL-1
		BSA-DL-1
	Halbschrankenanlage (HSCHA)	BS HSCHA
		BS HSCHA-1
		HSCHA
		HSCHA FSCH
	Schrankenanlage (SCHA)	SCHA
		SCHA-BL
		SCHA-LS-2F, SCHA-LS-3F

Tabelle 1: Typisierung für die Risikoanalyse

In Tabelle 1 aufgeführt sind alle Detailbezeichnungen der Signalisierungen, bei denen zwischen 2010 und 2019 mindestens ein Ereignis aufgetreten ist.

Nicht enthalten in der Typisierung und entsprechend in der Unfall- und Risikoanalyse nicht betrachtet werden die folgenden Signalisierungen (Bestände im 2019):

- Bedarfsschranken (280)
- Bahnübergänge ohne Signalisierung, bezeichnet als «keine / übrige» (68)
- Signal «Allgemeine Gefahr», bei Industriegleisen (1)

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung des Mengengerüsts der BUE seit 2010.

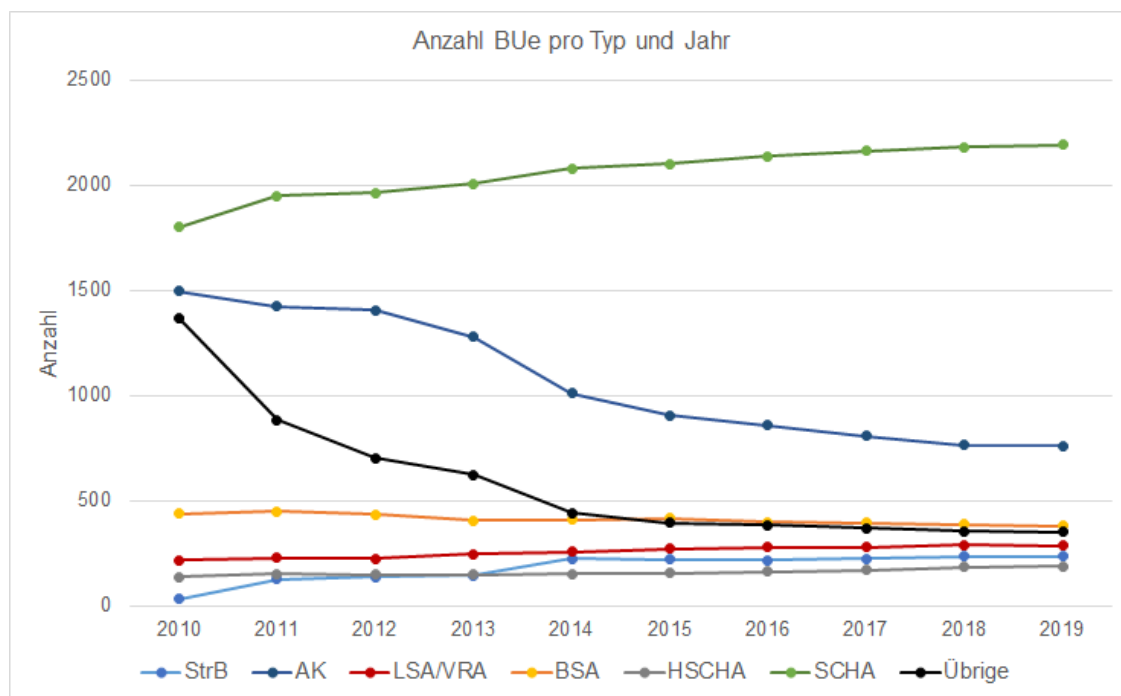


Abbildung 2: Entwicklung des Mengengerüsts der BUE

Die Bestandveränderungen zwischen 2010 und 2019 sind in Tabelle 2 dargestellt. Aus den Daten nicht ersichtlich ist, welche Verschiebungen unter den BUE-Typen stattgefunden haben – beispielsweise, was aus einem Typ AK geworden ist (aufgehoben oder in einen anderen BUE-Typ überführt).

BUE-Typen	Bestand 2019	Veränderung 2010 bis 2019
Andreaskreuz (AK)	759	-49%
Blinklichtsignalanlage (BSA)	379	-13%
Lichtsignal- und Verkehrsregelungsanlage (LSA/VRA)	287	33%
Signal Strassenbahn (StrB)	236	615%
Halbschrankenanlage (HSCHA)	187	38%
Schrankenanlage (SCHA)	2191	22%
Keine/übrige, Bedarfsschrankenanlagen, etc.	349	-74%
Total	4388	-20%

Tabelle 2: Veränderung im Bestand 2010 --> 2019

Bemerkungen zur Tabelle 2

- Heute weitgehend nicht mehr vorhanden ist der undefinierte Typ «keine / übrige» (Rückgang von 1368 auf 68).
- In den letzten 10 Jahren erfolgte eine starke Zunahme der Anzahl BUE des Typs StrB, was auf eine systematische Änderung hinweist (z.B. gezielt verbesserte bzw. vollständigere Signalisierung und Erfassung).

Soweit entsprechende Daten vorliegen, kann auf einem groben Detaillierungsgrad ein Vergleich mit Nachbarländern durchgeführt werden. Der Vergleich bezieht sich auf die grössten nationalen Netzbetreiber und das Jahr 2018.

Bahnen	Anzahl BUE	Netzlänge (in km)	BUE-Dichte (BUE/km)	Anteil AK
DB Netze, Fahrweg	13'813	33'440	0.41	30%
OEBB Infrastruktur	3'205	4'864	0.66	50%
SNCF Réseau	15'258	27'594	0.55	32%
SBB Infrastruktur	1'066	3'228	0.33	2%
Schweiz, alle Netzbetreiber	4'388*	5'215**	0.84	17%

Tabelle 3: Eckwerte in den Nachbarländern (Stand 2018).

* BAV, 2019; ** BFS, 2015

Bei der DB und OEBB basiert der Anteil AK auf den Werten für nicht technisch gesicherte BUE. Weiter differenzierte Daten sind nicht ohne weiteres erhältlich.

Der Vergleich zeigt, dass in der Schweiz die BUE-Dichte und insbesondere der Anteil der nicht technisch gesicherten BUE deutlich tiefer ist als in den Nachbarländern.

4. Ereignisse an den Bahnübergängen

4.1 Unfallhäufigkeit und Schwere

4.1.1 Absolute Unfallhäufigkeit

Für die Darstellung der Entwicklung der Unfallzahlen dient die Ereignisdatenbank BAV mit Ereignissen von 2010 bis 2019 als Basis. In dieser Zeitspanne werden insgesamt 969 Unfälle erfasst.

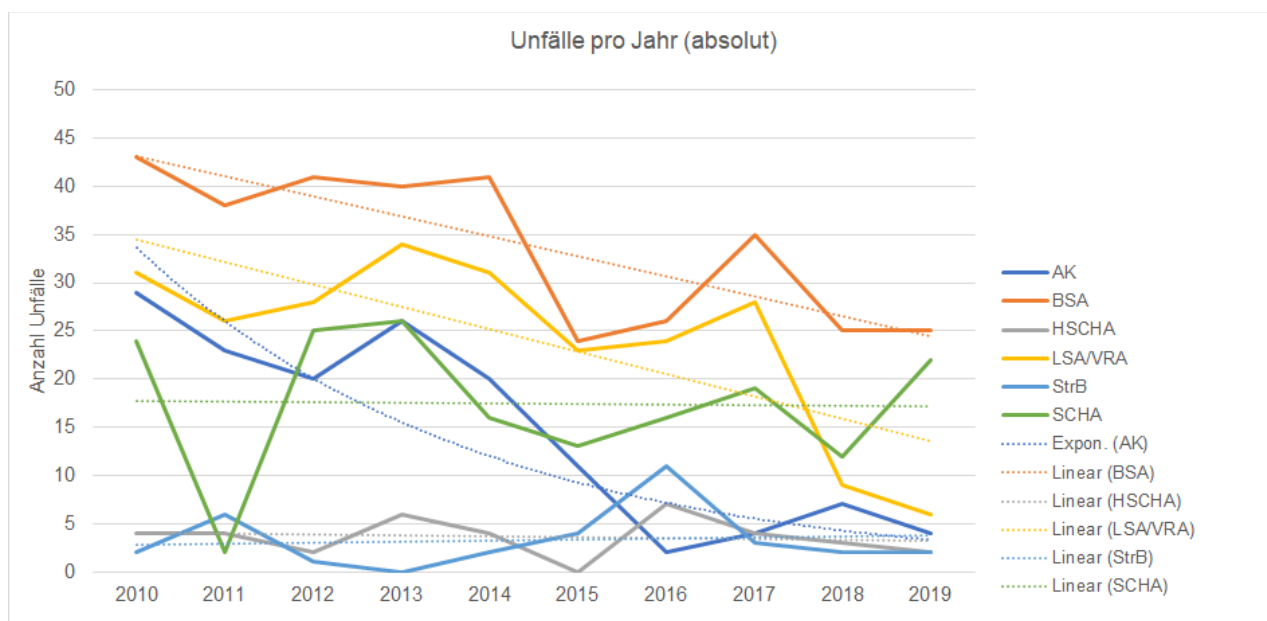


Abbildung 3: Anzahl Unfälle pro Jahr. Basis: Datenbank BAV

Im Allgemeinen beschreiben die linearen Trends die Entwicklung zutreffend. Beim BUE-Typ AK entspricht der starke Rückgang und das Verharren auf tiefen Niveau ab 2016 eher ein exponentieller Trend.

Anhand der Trendlinien ergeben sich folgende Veränderungen 2010 bis 2019:

BUE-Typ	Unfälle pro Jahr (auf Basis der Trendfunktion)		Veränderung 2010 bis 2019
	2010	2019	
Andreaskreuz (AK)	33.6	3.3	-90%
Blinklichtsignalanlage (BSA)	43.1	24.5	-43%
Halbschrankenanlage (HSCHA)	4.1	4.0	-2%
Lichtsignal- und Verkehrsregelungsanlage (LSA/VRA)	34.4	13.6	-61%
Signal Strassenbahn (StrB)	2.6	1.7	-35%
Schrankenanlage (SCHA)	17.8	17.2	-3%
Total	135.7	64.3	-53%

Tabelle 4: Veränderung der absoluten Unfallzahlen pro Jahr. Basis: Datenbank BAV

Anmerkungen und Interpretation

- Zu beachten ist, dass in den absoluten Zahlen die Veränderung des Mengengerüsts und des Verkehrs auf beiden Verkehrsträgern enthalten ist.
- Die Reduktionen entstehen trotz teilweise vergrößertem Mengengerüst (HSCHA, LSA/VRA, StrB, SCHA) und erhöhtem Verkehrsaufkommen auf beiden Verkehrsträgern.
- Beim Typ AK und BSA hat sich das Mengengerüst im gleichen Zeitraum um 49% bzw. 13% reduziert. Die Reduktion der Unfallzahlen ist jedoch überproportional höher. Erklärungsansätze dazu siehe Kapitel 4.1.2.

4.1.2 Unfallhäufigkeit pro Bahnübergang

Die zuvor festgestellte Beeinflussung der Unfallzahlen durch das Mengengerüst wird behoben, indem die Unfallzahlen auf einen einzelnen BUE bezogen werden. Konkret wird die Unfallzahl pro Jahr durch die Zahl der BUE im entsprechenden Jahr geteilt, sodass eine Unfallhäufigkeit pro BUE und Jahr entsteht.

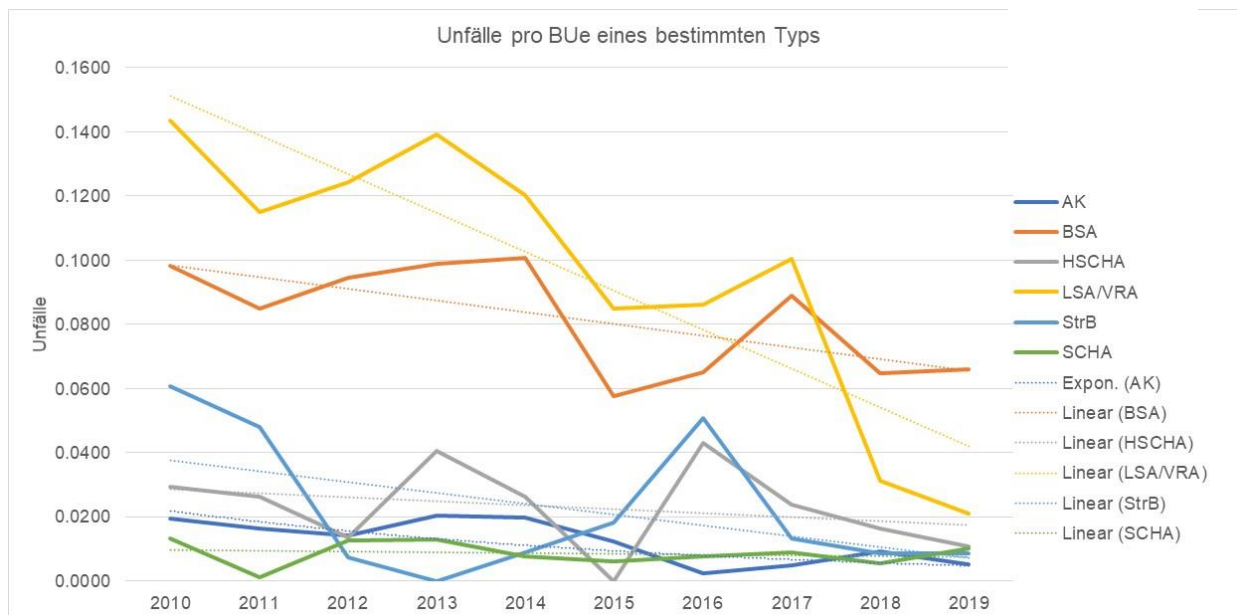


Abbildung 4: Unfälle bezogen auf einen durchschnittlichen BUE eines bestimmten Typs (Anzahl Unfälle / Anzahl BUE im jeweils betrachteten Jahr). Basis: Datenbank BAV

Veränderungen der Unfallhäufigkeit pro BUE und Jahr. Die Anfangswerte 2010 und die Endwerte 2019 basieren auf den Trendlinien.

BUE-Typ	Unfälle pro BUE (auf Basis der Trendfunktion)		Veränderung 2010 bis 2019
	2010	2019	
Andreaskreuz (AK)	0.022	0.005	-78%
Blinklichtsignalanlage (BSA)	0.098	0.065	-34%
Halbschrankenanlage (HSCHA)	0.029	0.018	-38%
Lichtsignal- und Verkehrsregelungsanlage (LSA/VRA)	0.151	0.041	-73%
Signal Strassenbahn (StrB)	0.038	0.007	-82%
Schrankenanlage (SCHA)	0.010	0.008	-19%

Tabelle 5: Reduktion der Unfälle pro Jahr an einem durchschnittlichen BUE des jeweiligen Typs (Werte gemäss Trendlinien). Basis: Datenbank BAV

Anmerkungen und Interpretation

- Die Werte machen deutlich, dass die Unfallwahrscheinlichkeit an einem durchschnittlichen BUE eines Typs in den letzten 10 Jahren meist deutlich zurückgegangen ist.
- Eine stichhaltige Begründung für diese Entwicklung ist nicht ableitbar; Ansätze für eine Erklärung können sein:
 - Bei der Sanierung von AK und BUE wurden zielgerichtet die risikoreichen BUE beseitigt oder in einen höherwertigen BUE-Typ überführt. Die verbleibenden BUE mit AK und BSA weisen dadurch eine überproportional kleine Unfallzahl auf.

- Ein AK weist gegenüber anderen BUE-Typen vergleichsweise wenig Verkehr auf. Wird ein solcher BUE mit einer Schranke versehen, so wird es ein Typ SCHA mit sehr wenig Verkehr und in der Folge mit einer unterdurchschnittlichen Unfallhäufigkeit. Durch solche Verschiebungen kann sich die Unfallzahl pro BUE beim Typ SCHA reduzieren.
 - Es wird daher vermutet, dass ein Teil der Reduktionen durch Verschiebungen im Mengengerüst entsteht.
 - Darüber hinaus besteht die Annahme, dass die objektive Sicherheit der BUE und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer sich entgegen der subjektive Einschätzung (vgl. Kapitel 4.4) insgesamt verbessert hat.
- Ein Quervergleich der Häufigkeiten unter den BUE-Typen sollte nicht angestellt werden, da für den Einsatz der Typen unterschiedliche Rahmenbedingungen und Vorschriften gelten. Beispielsweise sind die Einsatzbedingungen für AK sehr restriktiv (z.B. maximales Verkehrsaufkommen), was sich auf die Unfallhäufigkeit auswirkt. Es kann also keineswegs geschlossen werden, dass ein Typ AK aufgrund der kleineren Unfallhäufigkeit sicherer sei als ein Typ BSA.

4.1.3 Unfallschwere

Die Unfallschwere wird in Opferäquivalenten (OAE) gemessen. Diese repräsentieren die Personenschäden:

- Ein Todesopfer = 1 OAE
- Eine schwerverletzte Person = 0.1 OAE
- Eine leichtverletzte Person = 0.01 OAE

Für die Monetarisierung werden Grenzkosten von CHF 6.5 Mio. für ein Todesopfer bzw. OAE verwendet (vgl. Kap. 6.1). Bei zahlreichen Unfällen entstehen keine Personenschäden. Um trotzdem ein Schadensausmass zu berücksichtigen, werden beim monetarisierten Schaden auch Sachschäden mitgezählt.

In den dargestellten statistischen Werten wird in Tabelle 6 nicht unterschieden, ob es sich um Strassenverkehrsteilnehmer oder Personen in Zügen handelt.

BUE-Typ	Mittelwert pro Unfall in OAE	Mittelwert pro Unfall monetarisiert in CHF
Andreaskreuz (AK)	0.113	759'164
Blinklichtsignalanlage (BSA)	0.023	163'847
Halbschrankenanlage (HSCHA)	0.093	604'198
Lichtsignal- und Verkehrsregelungsanlage (LSA/VRA)	0.026	228'966
Signal Strassenbahn (StrB)	0.004	32'891
Schrankenanlage (SCHA)	0.071	511'461

Tabelle 6: Opferäquivalente pro Unfall sowie monetarisierte Schaden (Personen- und Sachschäden).
Basis: Datenbank BAV

Anmerkungen und Interpretation

- Das hohe mittlere Schadensausmass beim BUE-Typ AK wird durch den hohen Anteil von Radfahrern und Mofas sowie Fussgängern geprägt.
- Beim BUE-Typ HSCHA wird der Mittelwert durch zwei Unfälle mit Todesopfern geprägt, die auf groben Verstössen basieren.
- Der BUE-Typ StrB enthält nur sehr wenige Unfälle, sodass die Aussagekraft der kleinen Zahl gering ist.

4.2 Vertiefen Analyse der Unfalldaten

4.2.1 Unfallschwerpunkte

In der untersuchten Zeitperiode 2010 bis 2019 hat es zahlreiche Bahnübergänge, an denen mehrere Unfälle aufgetreten sind (vgl. Abbildung 5).

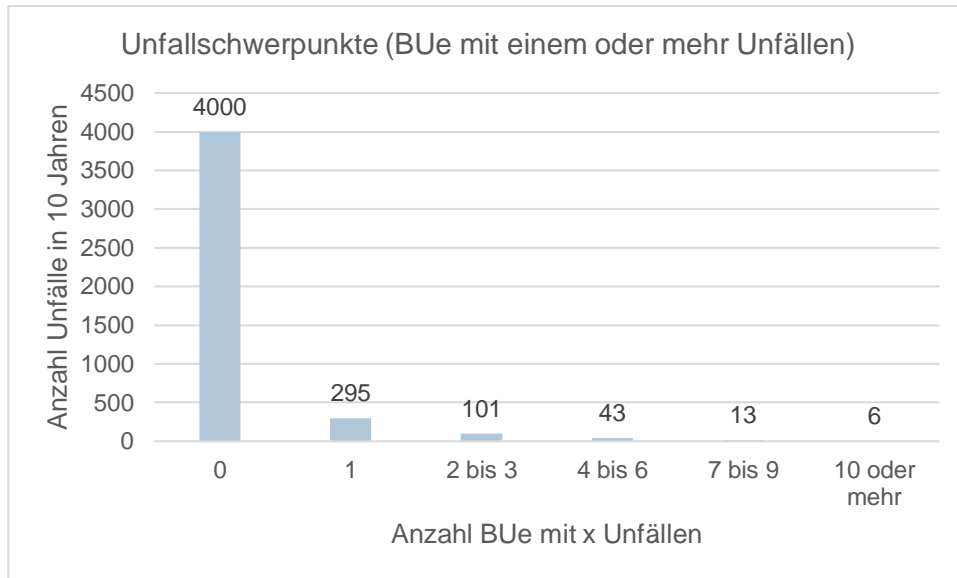


Abbildung 5: Anzahl Unfälle an konkreten BUe (Datenbank BAV, 2010 bis 2019). Basis: Datenbank BAV

Bei 6 BUe wurde durchschnittlich jährlich mindestens ein Unfall beobachtet. Dies ist um einen Faktor 50 bis 100 höher als der Wert für einen durchschnittlichen BUe. Die Verteilung weist darauf hin, dass eine erhebliche Streuung zwischen den BUe vorliegt.

Bei 1 bis 2 Unfällen ist es möglich, dass dies nicht auf entsprechend ungünstige Einflussfaktoren zurückzuführen ist, sondern alleine der Zufall entscheidet. Mit zunehmender Zahl sind jedoch systematische Einflüsse zu vermuten.

4.2.2 Ortslage

Die Auswertung in Abbildung 6 basiert auf 692 Unfällen, für welche Daten des BAV und des ASTRA übereinstimmend vorliegen.

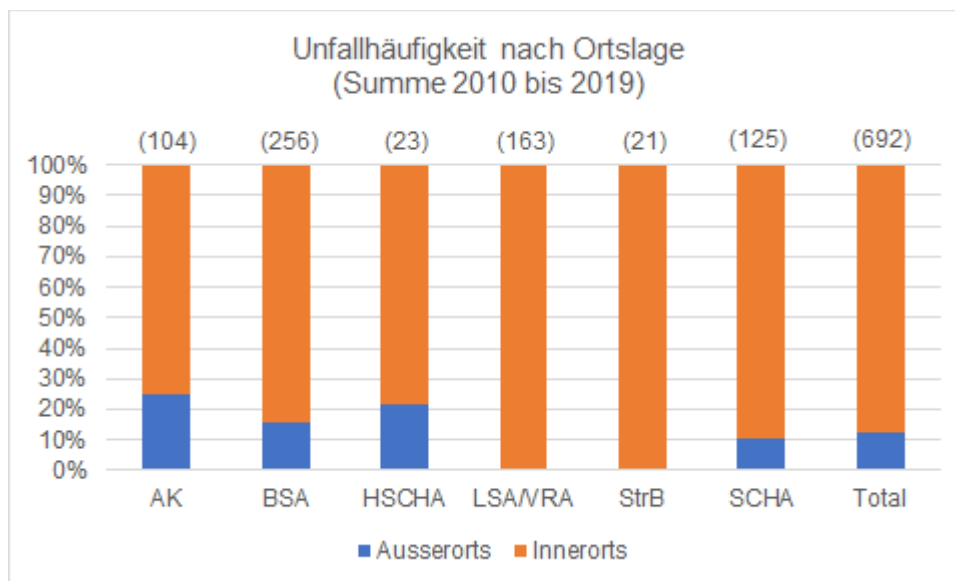


Abbildung 6: Unfallhäufigkeit nach Ortslage (in Klammer die absolute Zahl). Basis: Datenbank BAV/ASTRA

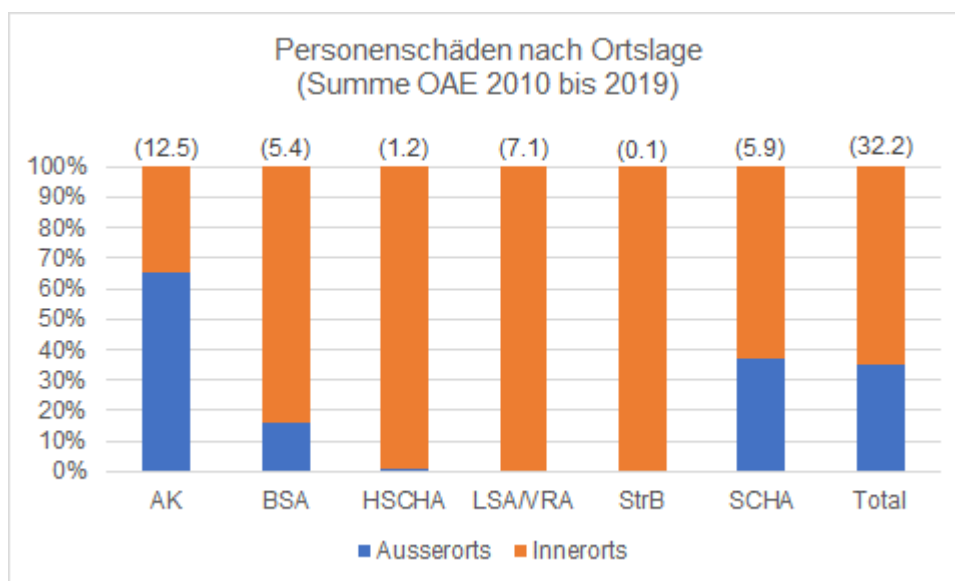


Abbildung 7: Personenschäden nach Ortslage (in Klammer die absolute Zahl). Basis: Datenbank BAV/ASTRA

Anmerkungen und Interpretation

- Rund 88% der Unfälle an BUE ereignen sich innerorts, 12% ausserorts.
- Auf der Basis der summierten Personenschäden ergibt sich die Verteilung innerorts zu ausserorts von 35% zu 65%. Das mittlere Schadensausmass ist ausserorts demzufolge höher.
- Auffallend bei diesem Vergleich sind die BUE-Typen AK und SCHA, welche den Ausserortsanteil am Total massgeblich beeinflussen.
- Anmerkung zu AK
 - Die hohe Zahl der Personenschäden beim BUE-Typ AK wird geprägt durch die Periode 2010 bis 2014 (91% der Personenschäden). In die Periode 2015 bis 2019 fallen noch 9%.
 - Mit dem umgesetzten Sanierungsprogramm hat sich einerseits die Zahl der BUE stark reduziert. Andererseits besteht die Vermutung, dass sich auch die Charakteristik eines

durchschnittlichen BUE, die einen Einfluss auf das Schadensausmass hat, verändert hat (z.B. weniger BUE ausserorts mit hoher Streckengeschwindigkeit).

- Aus den Daten sind keine verlässlichen Hinweise erkennbar, ob das Verhältnis ausserorts/innerorts beim Typ AK auch heute noch der Abbildung 7 entspricht.

— Anmerkungen zu SCHA

- Der Ausserortsanteil basiert im Wesentlichen auf zwei tödlichen Unfällen. Bei einem der Unfälle wurde eine tödlich verletzte Person im Bereich des BUE aufgefunden (unklarer Hergang). Der Ausserortsanteil ist entsprechend unscharf.

4.2.3 Unfallstelle (Konstellation Schiene / Strasse)

Die Auswertung in Abbildung 8 basiert auf 692 Unfällen, für welche Daten des BAV und des ASTRA übereinstimmend vorliegen.

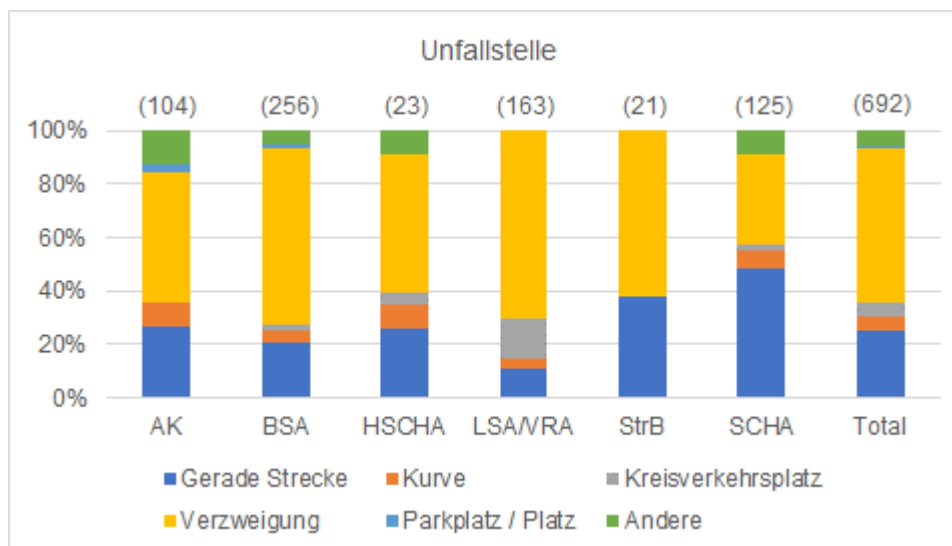


Abbildung 8: Unfallstelle (in Klammer die absolute Zahl). Basis: Datenbank BAV/ASTRA

Anmerkungen und Interpretation

- Überdurchschnittliche Anteile mit Verzweigung finden sich bei BSA, LSA/VRA und StrB. Dies deckt sich mit qualitativen Einschätzungen und ist plausibel. Es weist darauf hin, dass Verzweigungssituationen erhöhte Anforderungen stellen und eher zu Fehlern führen.
- Auch hier gilt die Anmerkung, dass die Verteilung der Zahl der BUE auf die Kriterien der Unfallstelle nicht bekannt ist, sodass nicht klar ersichtlich ist, in welchem Mass die Konstellation die Unfallhäufigkeit tatsächlich beeinflusst.

In Ergänzung zur Auswertung der Daten von BAV / ASTRA wurden Unfälle am BUE-Typ BSA auf der Basis von 31 SUST-Berichten bezüglich der Unfallstelle vertieft betrachtet:

- Parallelführung Strasse / Schiene oder spitzwinklige Kreuzung: 58%
- Rechtwinklige Anordnung: 32%
- Andere: 10%

Ein typischer Unfallablauf bei der Parallelführung von Schiene und Strasse mit Abbiegen über den BUE ist die Situation, bei der ein Zug von hinten naht und vom Strassenverkehrsteilnehmer nicht gesehen wird.

4.2.4 Unfalltyp

Der Unfalltyp gemäss Unfallaufnahmeprotokoll (UAP) hängt mit der Unfallstelle zusammen und liefert weitere Hinweise zum Ablauf. Die Definitionen der Unfalltypen ist ausgerichtet auf den Strassenverkehr und ist für BUe wie folgt zu interpretieren:

- Abbiegen: nach links oder rechts über einen BUe abbiegen (abbiegen und BUe queren)
- Einbiegen: aus einer meist vortrittsbelasteten Strasse über einen BUe in eine andere Strasse einbiegen (BUe queren und einbiegen)
- Überqueren der Fahrbahn: Kollision bei Geradeausfahrt über den BUe
- «Übrige» enthalten weitere Unfälle wie Fussgängerunfall, Schleuder oder Selbstunfall, Überholunfall, Frontalkollision, etc.

Die Auswertung in Abbildung 9 basiert auf 692 Unfällen, für welche Daten des BAV und des ASTRA übereinstimmend vorliegen.

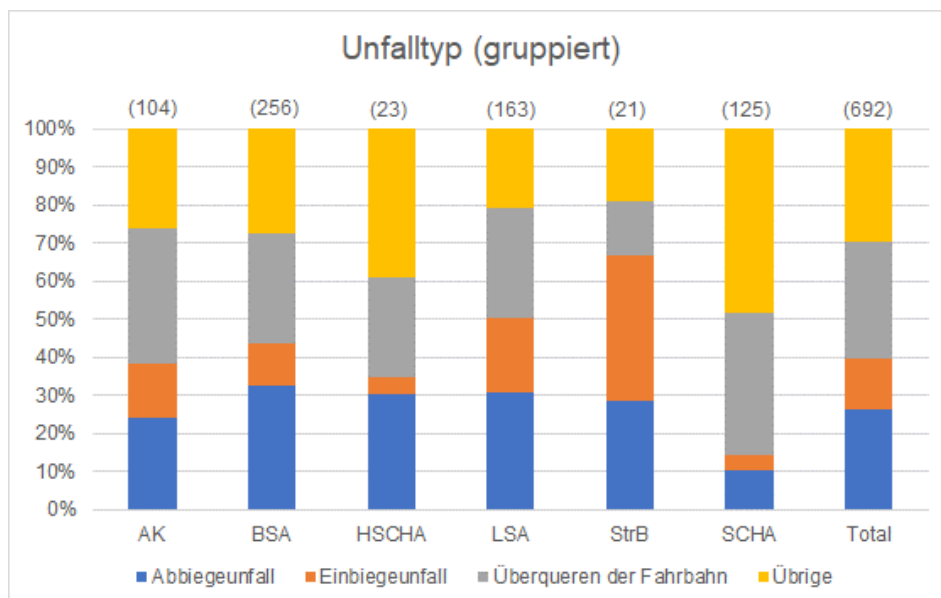


Abbildung 9: Unfalltypen (in Klammer die absolute Zahl). Basis: Datenbank BAV/ASTRA

Anmerkungen und Interpretation

- Die Unfalltypen zeigen die besondere Problematik der Abbiegeunfälle bei BSA, HSCHA (Viertelschranken), LSA und StrB.
- Im Vergleich zu den Abbiegeunfällen sind die Einbiegeunfälle um rund einen Faktor 2 weniger häufig.
- Bei Vollschraken haben Abbiege- und Einbiegeunfälle eine kleine Bedeutung.

4.2.5 Verkehrsaufkommen und Staubildung

Die Auswertung in Abbildung 10 basiert auf 692 Unfällen, für welche Daten des BAV und des ASTRA übereinstimmend vorliegen.

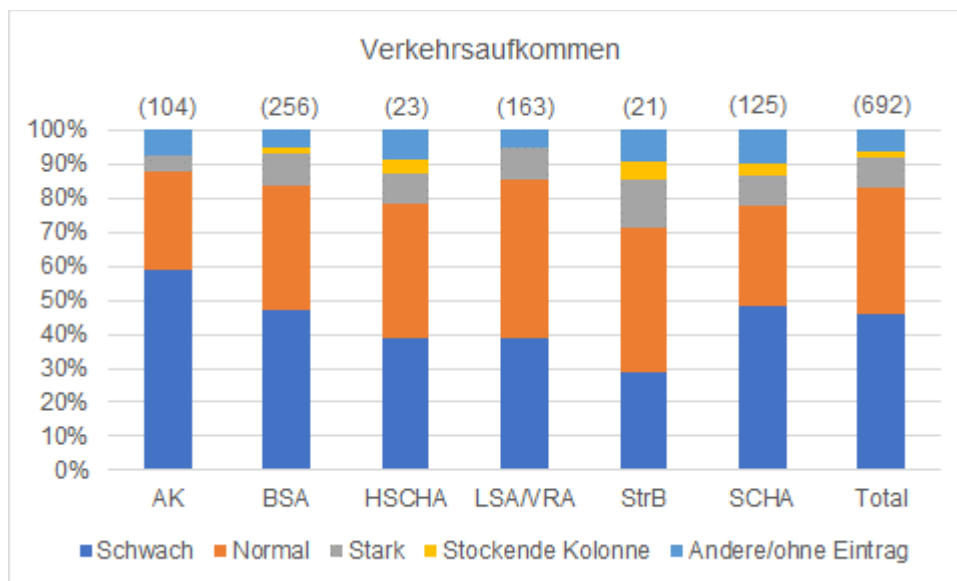


Abbildung 10: Verkehrsaufkommen im Moment des Unfalls (in Klammer die absolute Zahl). Basis: Datenbank BAV/ASTRA

Anmerkungen und Interpretation

- Die Zuordnung dürfte einige Unschärfe enthalten. So ist es nicht nachvollziehbar, wie ein «stark» beim Typ AK im Vergleich zu einem «stark» beim Typ SCHA zu interpretieren ist.
- Unabhängig davon interessiert das Kriterium «stockende Kolonne», da Staubildung ein Einflussfaktor speziell bei Vollschraken darstellt. Der Anteil ist mit 4% gering.
- Untersuchungen aus Deutschland [31] weisen darauf hin, dass dieser Anteil durchaus höher sein könnte (Anteil Unfälle mit «Räumungsprobleme hinter dem BUE»: 19% (allerdings bei einer kleinen Stichprobe von n = 64))

4.2.6 Beteiligte Strassenverkehrsteilnehmer

Die Auswertung in Abbildung 11 basiert auf 692 Unfällen, für welche Daten des BAV und des ASTRA übereinstimmend vorliegen.

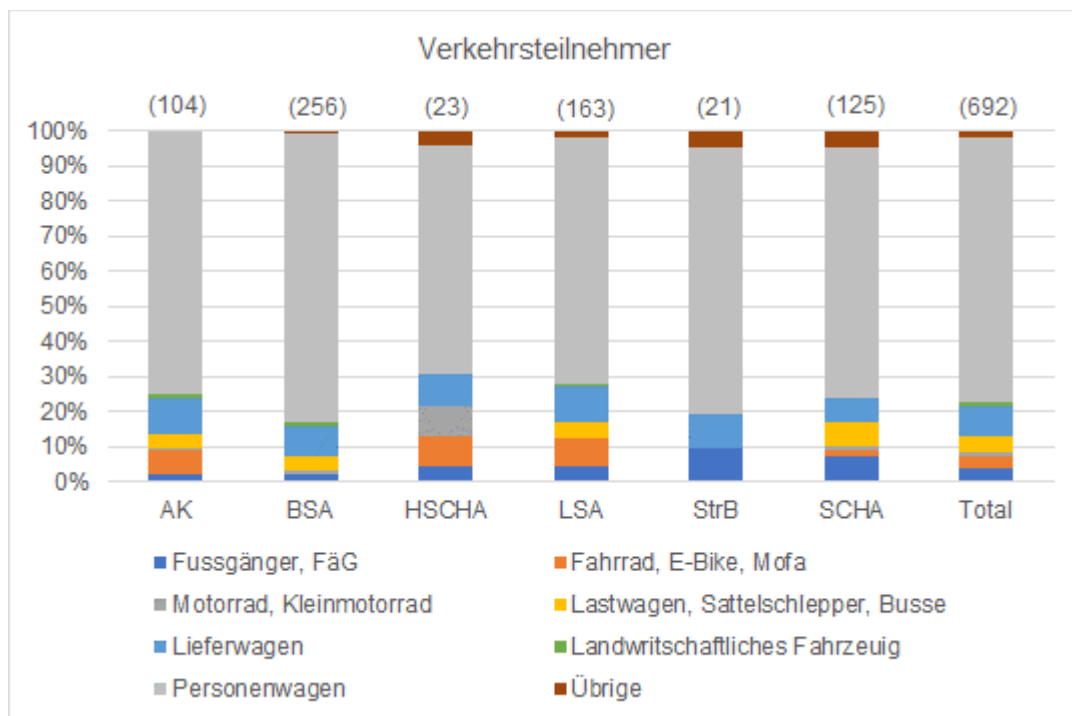


Abbildung 11: Unfälle nach Verkehrsteilnahme (in Klammer die absolute Zahl). Basis: Datenbank BAV/ASTRA

Anmerkungen und Interpretation

- Der Anteil der Fussgänger beträgt durchschnittlich 4%. Bei SCHA und StrB¹ liegt er über dem Durchschnitt (7% bzw. 10%) und bei AK und BSA darunter (2%). Die Unterschiede sind nachvollziehbar und erklärbar.
- Der Anteil Schwerverkehr (Lastwagen, Sattelschlepper) liegt durchschnittlich bei 4.0%. Bei SCHA liegt er über dem Durchschnitt (5.6%), wobei es beim Typ SCHA nur 7 Unfälle sind.
- Von Interesse ist die Frage, ob der Schwerverkehr überproportional an den Unfällen beteiligt ist. Der Anteil des Schwerverkehrs an der Fahrleistung des motorisierten Strassenverkehrs beträgt rund 3.3% (Quelle BFS). Auf dieser Basis ist der Anteil Schwerverkehr an den Unfällen durchschnittlich, beim Typ SCHA allenfalls etwas erhöht.
- Werden auch Lieferwagen mit eingerechnet, so beträgt der Anteil dieser Fahrzeuggruppe an den Unfällen 13% bei einem Anteil an der Fahrleistung von rund 10% (etwas überdurchschnittliche Unfallbeteiligung der Lieferwagen).

4.2.7 Unfallabläufe

Die Analyse geht auf interessierende Fragestellungen ein, soweit in den Unfalldaten Informationen dazu vorhanden sind und diese mit vertretbarem Aufwand erfasst und ausgewertet werden können. Für viele interessierende Themen ist letztlich die Lektüre der Unfallbeschreibungen erforderlich, die in der Unfalldatenbank des BAV oft nur bruchstückhaft vorhanden ist.

Unfallabläufe an BUe mit Vollschränken (SCHA)

Die Analyse basiert auf der Ereignisdatenbank BAV und umfasst 153 Unfälle. Um vertiefte Informationen zu erhalten, müssen die Unfallbeschreibungen herangezogen werden. Da diese oft unpräzise und lückenhaft sind, können aufgrund der Beschreibung nur 93 der 153 Unfälle zugeordnet und ausgewertet werden (60%).

¹ Allerdings nur 2 Ereignisse.

Vertieft betrachtet werden folgende Unfallabläufe:

- Einschliessen zwischen Schranken
- Umgehen von Schranken oder Durchschlüpfen
- Der Kollision Schienenfahrzeug – Zug geht ein Strassenverkehrsunfall voraus, bei dem das verunfallte Fahrzeug auf dem BUE zum Stehen kommt

Andere konkret benannte Umstände umfassen rund 10% bis 15% der 153 Unfälle (Schranke durchbrechen, stehen bleiben, Staubildung, etc.). Die restlichen rund 25% können aufgrund der unklaren oder sehr knappen Beschreibung nicht zugeordnet werden.

Unfallabläufe bei Vollschraken	Anzahl Unfälle				
	PW	LW ¹	FG	Zweirad	Total
Einschliessen zwischen Schranken	53	9	3	2	67 (71%)
Vorausgehender Unfall (Fz auf Gleis)	10	2	0	3	15 (16%)
Umgehen/Durchschlüpfen	0	0	11	1	12 (13%)
Total	63	11	14	6	93 (100%)

Tabelle 7: Art der Unfälle bei Vollschraken. ¹Umfasst Lastwagen, Busse, Lieferwagen, Traktoren.
Basis: Datenbank BAV

Anmerkungen und Interpretation

- Der Anteil Lastwagen liegt beim Einschliessen zwischen Schranken im Rahmen des Anteils ihrer Fahrleistung. Die Werte weisen nicht auf einen klar überdurchschnittlichen Unfallanteil hin.
- Umgehen und Durchschlüpfen ist ein Fussgängerthema. Dieses verschärft sich, wenn auch das hohe Schadensausmass bei diesen Unfällen mit einbezogen wird (hohe Anzahl tödlicher Unfälle).

Weitere Erkenntnisse zum Einschliessen zwischen den Schranken

- Beim Einschliessen zwischen den Schranken ist das mittlere Schadensausmass bei den PW vergleichsweise klein (0.012 OAE), da die Personen das Fahrzeuge meist verlassen haben. Bei Unfällen mit Lastwagen beträgt es 0.019 OAE.

Abläufe an BUE mit Halbschranke (HSCHA)

Die Analyse basiert auf der Ereignisdatenbank BAV und umfasst Unfälle an Halbschraken und Viertelschraken. Die differenzierten Angaben können nicht direkt ausgewertet werden und sind den kurzen Unfallbeschreibungen entnommen.

- Halbschraken, 13 Unfälle:
 - Von den 13 Unfällen betreffen 2 das Umgehen der Schranke. Beide endeten tödlich (Personenwagen, Fussgänger).
 - Bei 3 von 13 Unfällen sind es Fahrzeuge, die an einer Einmündung beim Halt vor dem Einbiegen mit dem Heck ins Profil des Gleises ragen.
 - Bei den weiteren Unfällen sind verschiedene singuläre Abläufe enthalten
- Viertelschraken, 18 Unfälle
 - Bei 11 der 18 Unfälle handelt es sich um ein Abbiegen /bzw. Befahren auf der Seite ohne Schranke. Aus dem Blickwinkel des Strassenverkehrsteilnehmers handelt es sich um Unfälle an Blinksignalanlagen (für die entsprechende Fahrtrichtung gibt es nur Blinklichtsignale)

Charakteristik bei BUe mit Blinklichtsignalanlage

Als Informationsquelle dienen die Unfalluntersuchungsberichte der SUST (31 Unfälle von 2003 bis 2019), aus denen die Konstellation von Schiene und Strasse ersichtlich ist:

- Parallelführung Strasse / Schiene oder spitzwinklige Kreuzung: 58%
- Rechtwinklige Anordnung: 32%
- Andere: 10%

Die Unfallberichte beschreiben oft die bekannte kritische Situation bei der Parallelführung von Schiene und Strasse mit Abbiegen über den BUe, bei dem der Zug von hinten naht und vom Strassenverkehrsteilnehmer nicht gesehen wird.

4.2.8 Geschwindigkeit der Züge

Ein Zusammen zwischen Unfallhäufigkeit und Geschwindigkeit der Züge lässt sich mangels Daten nicht herstellen. Auf Basis der SUST-Untersuchungsberichte kann der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Schadensausmass aufgezeigt werden (vgl. Abbildung 12).

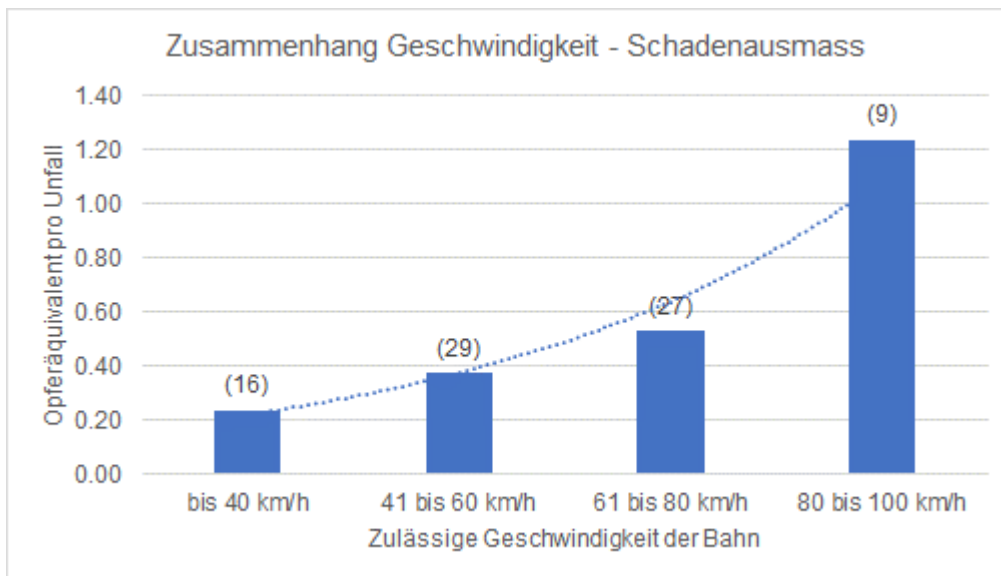


Abbildung 12: Schadensausmass (Opferäquivalente) in Abhängigkeit der zulässigen Zuggeschwindigkeit (in Klammer die Zahl der Unfälle). Basis: Untersuchungsberichte SUST

Anmerkungen und Interpretation

- Auf die Darstellung der Geschwindigkeitsklasse über 100 km/h wird verzichtet, da sie nur 2 Unfälle enthält.
- Ob der Anstieg tatsächlich einen exponentiellen Charakter hat oder nur linear ist, ist aufgrund der kleineren Unfallzahl in der Klasse 80 bis 100 km/h sowie dem Einfluss einzelner schwerere Ereignisse nicht klar feststellbar (aus physikalischer Sicht ist ein nicht linearer Zusammenhang anzunehmen).

4.2.9 Personenschäden in Zügen

Die Aufteilung auf die betroffenen Personen ergibt in der Summe (Basis: 193 Unfälle mit Personenschaden):

- Opferäquivalente Reisende und Fahrpersonal: 6%

- Opferäquivalente Strassenverkehrsteilnehmer: 94%

Die Aufteilung auf Betroffene wurde für Deutschland im Jahr 2004 [38] ebenfalls vorgenommen und entspricht (Basis: 247 Unfälle mit Personenschaden):

- Opferäquivalente Reisende und Fahrpersonal: 3%
- Opferäquivalente im Strassenverkehrsteilnehmer: 97%

4.3 Unfallursachen

Die Analyse der Unfallursachen stützt sich auf die beiden Unfalldatenbanken des BAV und des ASTRA. Beide beziehen sich auf den gleichen Zeitraum 2010 bis 2019.

Die Unfallursachen gemäss der Datenbank des BAV sind in Tabelle 8 dargestellt.

Ursache	Anzahl	Anteil
Fehlhandlungen Bahn	3	0.3%
Fehlhandlungen gegen Vorschriften oder Signale des Strassenverkehrs	952	98.3%
Technischer Defekt Sicherungsanlage / Bahnanlage	1	0.1%
Vorereignis Dritter (z.B. Strassenverkehrsunfall im Bereich des BUe)	9	0.9%
Übrige Fehlhandlungen	3	0.3%
Total	968	100%

Tabelle 8: Ursachen. Basis: Datenbank BAV

Die Fehlhandlungen beim Strassenverkehr werden in der Unfalldatenbank des BAV nicht weiter differenziert.

Für die Auswertung der Unfallursachen gemäss der Unfalldatenbank ASTRA, können im Zeitraum 2010 bis 2019 693 Unfälle identifiziert werden, die in beiden Datenbanken des BAV und des ASTRA vorhanden sind und deren Inhalte miteinander verknüpft werden können (Abbildung 13).

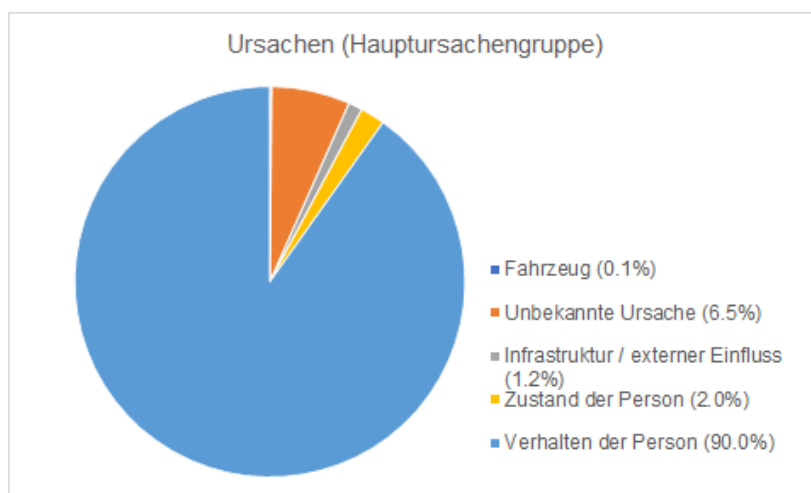


Abbildung 13: Hauptursachengruppe. Basis: Datenbank BAV/ASTRA

Der Anteil der Unfälle, der auf das Verhalten und den Zustand der BUe-Benützer zurückzuführen ist, beträgt 92%. Von Interesse ist daher die weitere Aufteilung der Hauptursachen «Verhalten von Personen» sowie «Zustand von Personen» (vgl. Abbildung 14).

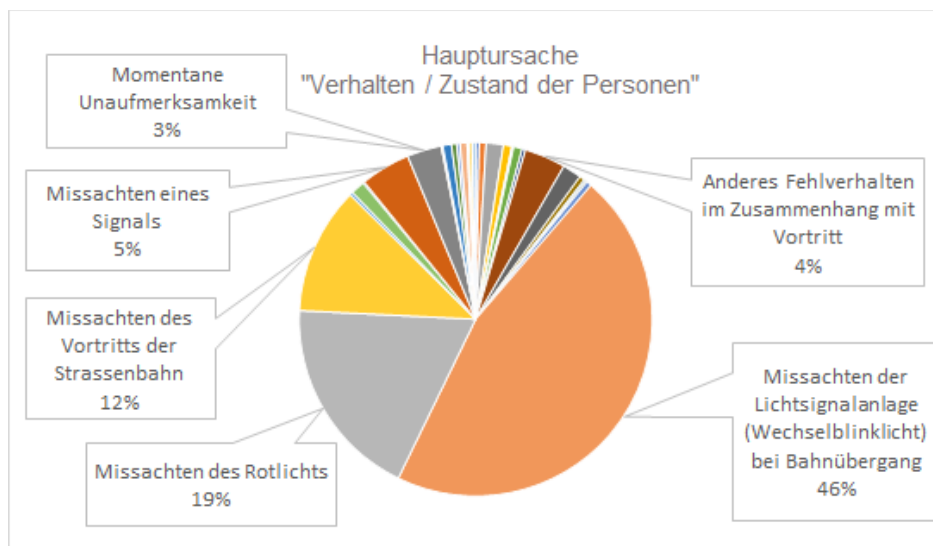


Abbildung 14: Aufteilung der Hauptursachen Verhalten und Zustand von Personen. Basis: Datenbank BAV/ASTRA mit 638 Unfälle 2010 bis 2019)

Anmerkungen und Interpretation

- Die Hauptursachen Missachten des Vortritts der Strassenbahn, Missachten des Rotlichts und Missachten der Lichtsignalanlage beziehen sich direkt auf die BUe-Typen Strassenbahn (StrB), Blinklichtsignal (BSA) und Lichtsignal (LSA). Die Werte korrespondieren in etwa mit den entsprechenden Unfallzahlen gemäss Datenbank BAV.
- Die in Abbildung 14 nicht näher bezeichneten Hauptursachen umfassen insgesamt 38 unterschiedliche Typen von Fehlverhalten. Ein Muster ist nicht erkennbar.
- Unter den 38 Einzelursachen finden sich auch folgende: Einwirkungen von Alkohol und Betäubungsmittel (14), Ablenkung durch Bedienung des Telefons (1), mangelhafte Manipulation, Fahrpraxis (2), mangelnde Vertrautheit mit Strecke (3).
- Als Fazit ist festzuhalten, dass die Unfalldaten keine Hinweise für die Gründe eines Missachtens bzw. Fehlverhaltens liefern. Sie beschränken sich auf die unmittelbaren Ursachen für den Unfall. Dies ist primär darauf zurückzuführen, dass die Ursachen den ersten Einschätzungen der Polizei vor Ort entsprechen und primär zur Klärung des Verschuldens dienen.

4.4 Gefährdungen und Störungen

Gefährdungen und Störungen werden ebenfalls in der Datenbank des BAV erfasst. Sie betreffen Ereignisse wie das Beschädigen von Schranken und weiteren Anlageteilen oder ein Queren kurz vor dem Zug, sodass eine scharfe Bremsung notwendig ist.

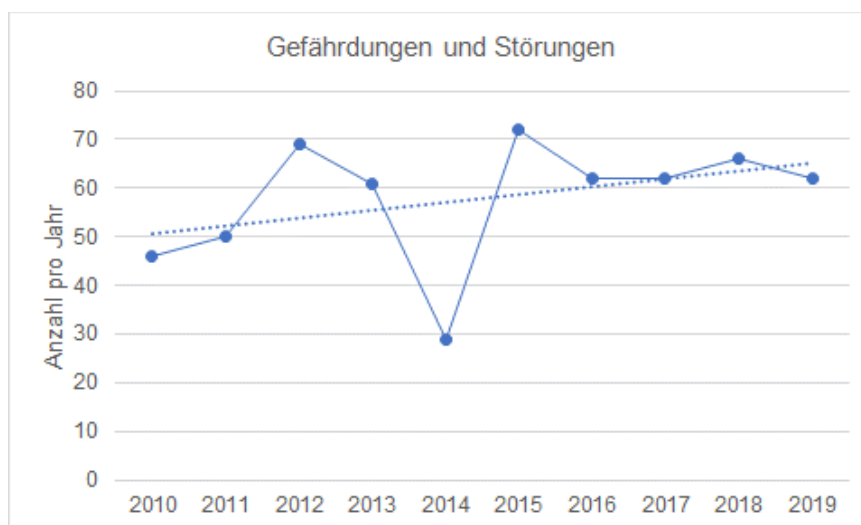


Abbildung 15: Entwicklung der gemeldeten Gefährdungen und Störungen. Basis: Datenbank BAV

Anmerkungen und Interpretation

- In der betrachteten Periode ergibt sich ein leicht steigender Trend².
- Rund 96% der Meldungen betreffen BUe mit Schranken. Das Mengengerüst der beiden BUe-Typen hat in der Zeitperiode um etwa den gleichen Betrag zugenommen.
- Gefährdungen sind zu 98% durch Strassenverkehrsteilnehmer verursacht, 2% betreffen Ursachen bei der Bahn.

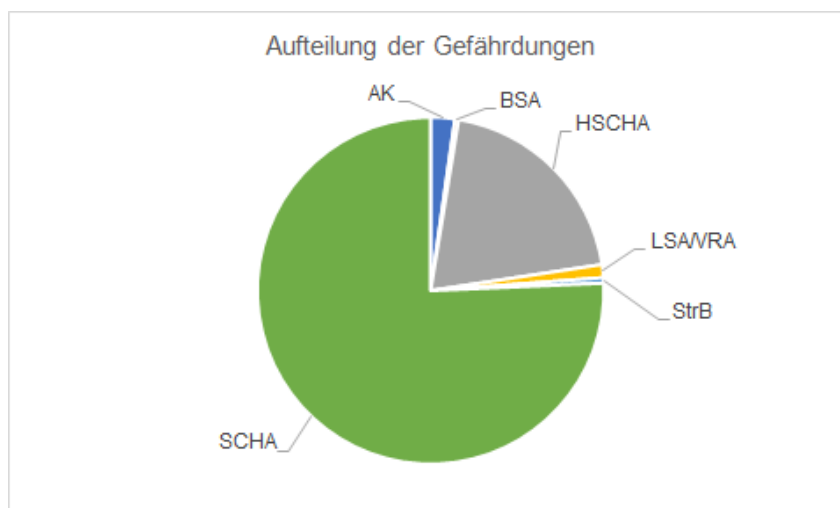


Abbildung 16: Betroffen BUe-Typen. Basis: Datenbank BAV

Anmerkungen und Interpretation

- Aufgrund der Textbeschreibungen handelt es sich bei BUe ohne Schranken meist um scharfe Bremsungen der Züge, weil ein Fahrzeug kurz vor dem Zug den BUe passiert.
- Bei den BUe mit Schranken sind es Beschädigungen der Barrieren; bei Vollschraken betreffen 10 bis 15 der Ereignisse das Einschliessen von Fahrzeugen.

² Für den Ausreisser im 2014 findet sich in den Daten keine Erklärung.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde eine Umfrage bei ausgewählten Bahnen durchgeführt, um den Umfang und die Systematik der Erfassung von Störungen und Gefährdungen einschätzen zu können. Die Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Erhebung erfolgt bahnspezifisch nach eigenen Kriterien. Systematische Zeitreihen liegen kaum vor.
- Die Zahl der jährlich erfassten Gefährdungen ist sehr unterschiedlich und lässt sich nicht alleine mit der Grösse der Bahnen erklären (unterschiedliche Praxis und Meldekultur).
- Anhand der Stichprobe ist anzunehmen, dass die Zahl der relevanten Gefährdungen mindestens um eine Grössenordnung häufiger ist als diejenige der Unfälle.
- Die Gefährdungen zeigen die konkreten Probleme an den BUE (Benutzerverhalten als zentrales Thema), welche insbesondere eine Störung des Bahnbetriebs bewirken.

Die Erkenntnisse aus der Umfrage sowie weitere mündliche Mitteilungen von Bahnen sowie Auszüge und Zusammenstellungen von bahninternen Meldungen zeigen, dass die in der Datenbank des BAV aufgeführten Meldungen nur einen kleineren Teil aller Gefährdungen umfassen.

Treten solche Gefährdungen und Störungen in grosser Zahl an einzelnen BUE auf, werden die Schäden auch im Vergleich zu den Unfallrisiken relevant. Die Motivation für Massnahmen wäre dann eher eine Reduktion der Störungen des Bahnbetriebs und weniger eine Reduktion der Unfallrisiken.

5. Benutzerverhalten

5.1 Erklärungsmodelle

Modelle zum Beschreiben des Verhaltens von Personen in Entscheidungssituationen sind sehr zahlreich. Auf die vorliegende oder ähnliche Fragestellung bezogen sind die folgenden Ansätze hilfreich (nicht abschliessend):

Modell der kognitiven Schritte in der Annäherung und beim Befahren der BUE (Grundlage [49])

Das Modell beschreibt die Schritte von der Annäherung an einen BUE bis zum Ausführen der Querung aus der Sicht des Strassenverkehrsteilnehmers. Die kognitiven Schritte umfassen:

- Erkennen der Infrastruktur des BUE (auf den BUE aufmerksam werden)
- Informationsverarbeitung und Verstehen (den BUE als solchen erfassen und verstehen)
- Wissensabruf (aus Wissen und Erfahrung das angemessene Verhalten ableiten)
- Handlungsintention bilden (abwägen zwischen Handlungsmöglichkeiten sowie entscheiden)
- Handlung ausführen (Fertigkeit, um die Entscheidung fehlerfrei umzusetzen)

Das Modell eignet sich für die Analyse von Schwachstellen bei der Interaktion von Menschen in technischen Systemen/Umgebungen. Den einzelnen Schritten können zudem Massnahmen sowohl auf konkreter lokaler Ebene (Erkennen, Informationsverarbeitung) als auch auf der Ebene des BUE-Benutzers (Wissen, Fertigkeit) zugeordnet werden. Der Massnahmenkatalog in Kapitel 8 ist unter Anderem anhand dieses Modells gegliedert.

Theorie des rationalen Handelns

Innerhalb des Modells der kognitiven Schritte bezieht sich die Theorie des rationalen Handelns auf die eigentliche Entscheidungsfindung. Sie besagt, dass die Handlungen des Menschen das

Ergebnis einer Abwägung zwischen Alternativen ist und die Entscheidung auf diejenige fällt, die subjektiv den höchsten Nutzen ergibt.

Die Theorie lässt sich auf die Situation an BUe und die dortige Entscheidungssituation übertragen. Konkret liefert sie einen Erklärungsansatz, ob beispielsweise eine Regelverletzung in Kauf genommen wird, um einen subjektiven Nutzen zu erzielen.

Eine solche Nutzenabwägung ist kein langwieriger Denkprozess, sondern kann situativ, automatisiert und unterbewusst ablaufen. Dabei spielen der Nutzen (subjektiver und objektiver Zeitgewinn), mögliche Nachteile (eigene Gefährdung, Gefährdung anderer, Ahndung) und weitere Faktoren eine wesentliche Rolle (persönliche Grundhaltung, Wissen, Erfahrung in solchen Situationen, soziale Kontrolle, etc.).

Konkret wurde der Ansatz für das Verhalten von Fussgängern an Lichtsignalen verwendet ([41] und weitere). Es ist eine Fragestellung, die durchaus vergleichbar mit Bahnübergängen ist.

Theory of Planned Behavior

Diese Theorie ergänzt die Theorie des rationalen Handelns bzw. liefert weitere Hintergründe für die Entscheidung. Sie enthält drei Elemente:

- Normative beliefs and subjective norms: Überzeugung und Einstellung einer Person gegenüber Normen (aus dem Einfluss von Erziehung, Familie, Gesellschaft, Erfahrung etc. gebildete eigene Überzeugung)
- Control beliefs and perceived behavioral control: innere und äussere hemmende oder fördernde subjektiv wahrgenommene Faktoren, um eine Handlung auszuführen. Selbstkontrolle.
- Behavioral intention and behavior: Absicht etwas auszuführen, ein Ziel zu erreichen, und das tatsächlich resultierende Verhalten.

Der Ansatz wurde ebenfalls für das Verhalten von Fussgängern bei der Querung der Strasse verwendet ([43], [42]).

5.2 Beobachtungen und Feststellungen zum Verhalten

Der nachfolgende Zusammenzug von Feststellungen basiert einerseits auf Forschungsarbeiten und konkreten Untersuchungen im Ausland. Bei der Übertragung auf schweizerische Verhältnisse ist dies im Auge zu behalten. Andererseits fliessen Feststellungen aus den vorangehenden Kapiteln sowie Inputs aus der Praxis ein.

Die Feststellungen betreffen die Motivation für bestimmte Verhaltensweisen, Gründe sowie begünstigende oder hemmende Faktoren. Ein zentrales Thema bildet regelwidriges Verhalten.

Wissen (Bedeutung von Blinklichtern)

- Ein grosser Teil³ der Benützer kennt die Bedeutung und korrekte Handlung bei Beginn des Blinklichts im Vergleich mit Lichtsignalen an Strassenkreuzungen nicht [34].
- Blinkende Lichter werden häufig falsch interpretiert. Ein wesentlicher Teil⁴ interpretiert das blinkende rote Licht als Warnhinweis [38]. Selbst das Durchfahren bei sich senkenden Schranken wird häufig noch als rechtens erachtet⁵. Das korrekte Wissen steigt mit zunehmender Nutzungsfrequenz.

³ In der entsprechenden Studie rund 50%

⁴ In der entsprechenden Studie für Deutschland 40%

⁵ In der entsprechenden Studie für Deutschland 8%

- Das Blinklicht vermittelt die Information «Anhalten», die noch offene Schranke signalisiert «der Zug kommt noch nicht». Die widersprüchlichen Signale schwächen die generelle Akzeptanz von Blinklichtern [38].

Erfahrung, Praxis

- Ein wesentlicher Teil der Autofahrer und Fussgänger überquert BUE selten bis nie oder nur einige Male pro Monat. Bezogen auf Deutschland betrifft dies 58% der Autofahrer und 81% der Fussgänger. Dies ist ein Hinweis auf eine geringe Praxiserfahrung bei einem wesentlichen Teil der Verkehrsteilnehmer. Verkehrsteilnehmer die häufiger BUE queren kennen die Regeln tendenziell besser [38].

Ablenkung und Überforderung

- Die Gestaltung der Annäherung und übermässige Informationsdichte reduzieren die Erkennbarkeit des BUE [34].
- Strassenkreuzungen in der Nähe der BUE erfordern mehr Entscheidungen in kurzer Zeit, was zu Fehlern führt [34].
- Kreuzungen und Einmündungen sind besonders heikel, wenn der BUE-Benutzer keinen Vortritt hat und die Aufmerksamkeit auf den andern Verkehr lenken muss [31]. Die Aussage kann auch aus den Unfalldaten gelesen werden (siehe Unfalltyp, Kapitel 4.2.4).

Verhalten in bestimmten Situationen

- Aufschliessen auf den BUE bei Staubbildung
 - Der Anteil dieser Situation als Ursache eines Unfalls variiert zwischen wenigen % (Kapitel 4.2.7) und 19% (Räumungsprobleme hinter Bahnübergang) in [34].
 - Systematische Befragungen zum Verhalten in dieser Situation liegen nicht vor. Indizien weisen darauf hin, dass es durchaus bekannt ist, nicht aufzuschliessen, dass aber in der konkreten Situation nicht danach gelebt wird. Gründe können sein: unreflektiertes Nachfahren, das Gefühl von hinten bedrängt zu werden, keine Lücke offen lassen wollen, zahlreiche weitere Informationen, welche die Aufmerksamkeit absorbieren, etc.
- Vertrauen in die Sicherungsanlagen
 - In der Umfrage in [34] – bezogen auf Deutschland – wurde festgestellt, dass vergleichsweise viele Strassenverkehrsteilnehmer, den Signalen und Sicherungseinrichtungen am BUE nicht vollständig trauen. Konkret haben nur 26% der Aussage «Wenn an einem BUE die Schranken oben sind, bin ich völlig sicher, dass kein Zug kommt», voll zugestimmt (52% mit weitgehender Zustimmung).

Einschätzung der Gefahr

- Konkrete Umfragen zur Einschätzung der Gefahr zeigen, dass diese von einem wesentlichen Teil der Verkehrsteilnehmer unterschätzt wird. Beispielsweise wird das Umfahren von geschlossenen Halbschranken von einem Drittel der Befragten nicht als «extrem gefährlich» taxiert (bezieht sich auf Deutschland [38]).
- Die Kombination von Unterschätzen der benötigten Zeit für die Querung und Überschätzen der Zeitdauer, bis ein Zug kommt oder sich die Barriere senkt, führt dazu, dass der BUE-Benutzer glaubt eine Regelverletzung trotzdem sicher begehen zu können [34].
- Personen in zusammengehörenden Gruppen verhalten sich risikoaffiner als Einzelpersonen [34].
- Tiefe Geschwindigkeit der Züge verführt stärker zu einer Regelverletzung (je tiefer die Geschwindigkeit, desto riskanteres Verhalten). Eine gute Übersichtlichkeit kann auch einen ähnlichen Effekt haben und zu riskanterem Verhalten führen (Risikokompensation durch die BUE-Benutzer) [34].

Lokalkenntnis

- Der überwiegende Anteil der Unfälle an BUE erfolgt innerorts (Kapitel 4.2.1). Es ist daher mit einem hohen Anteil lokaler BUE-Benutzern zu rechnen, die Ortskenntnis aufweisen. Ausnahmen können Durchgangsstrassen oder Zubringer beispielsweise zu Autobahnen sein, bei denen ein höherer Anteil ortsfremder Lenker vorhanden ist.
- Ortsfremde und speziell internationale BUE-Benutzer machen eher Fehler (unabsichtlich). Dies gilt insbesondere für den (internationalen) Schwerverkehr [34].
- Regelmässige BUE-Benutzer und Personen, die in der Nähe von BUE wohnen, zeigen ein risikoreicheres Verhalten am BUE. An BUE mit wenig Zugfahrten gehen regelmässige Benutzer zudem höhere Risiken ein [34].
- Bei BUE in der Nähe von Bahnhöfen schätzen die BUE-Benutzer die Wartezeit subjektiv höher ein und bei entsprechender Lokalkenntnis gehen sie eher Regelverletzungen ein. Fussgänger verhalten sich risikoreicher, wenn sie ihren Zug noch erreichen wollen ([34], [31]).

Warten am BUE

- BUE-Benutzer schätzen Wartezeiten als übermässig lang ein (subjektive Überschätzung der tatsächlichen Zeit). Daraus resultiert das Bonmot «Gewartete Zeit ist multiplizierte Zeit» [34].
- Fehlverhalten als Folge einer langen Sperrzeit nimmt nach vergleichsweise kurzer Zeit zu. In [31] sind Abhängigkeiten modelliert: bei Lichtsignalen und nicht motorisiertem Verkehr beginnt die «Missachtungsrate» ab 30 s zu steigen, bei Lichtsignalen und motorisiertem Verkehr ab 60 s und bei Schranken ab 120 s.
- Auch bei Lichtsignalen für Fussgänger hat die Wartezeit eine überproportionale Wirkung auf die «Missachtungsrate». Die Toleranzgrenze bei Fussgängern ist noch deutlich tiefer (aufgezeigt in [42]). (Anmerkung: Im Hinblick auf Fussgängerunfälle an BUE ist dieser Umstand besonders zu beachten).

Unbeabsichtigter Fehler oder bewusste Regelverletzung

- Ein wesentlicher Teil der BUE-Benutzer, die trotz Blinklicht den BUE passieren, tun dies mit Absicht und argumentieren mit dem Zeitfaktor [34].
- Zahlreiche Aussagen von Infrastrukturbetreibern in der Schweiz stützen die Feststellung zu bewussten Regelverletzungen. Die täglichen Beobachtungen und Meldungen von Vorkommnissen durch das Fahrpersonal weisen darauf hin.
- Untersuchung in den Niederlanden: Von den auf das Verhalten zurückzuführenden Ursachen (92%) umfassen 52% unabsichtliche Fehler und 40% absichtliche Handlungen. Die unabsichtlichen Fehlhandlungen verteilen sich auf Wahrnehmungsfehler (22%), andere Einflüsse inklusive Staubildung (21%), falsche Informationsverarbeitung (10%) [31].
- Untersuchung in Grossbritannien: Unabsichtliche Fehlhandlungen umfassen 46% der Ursachen, absichtliche Fehlhandlungen 24%, weitere Ursachen sind Witterungsbedingungen zu wenig berücksichtigt, Steckenbleiben, Verkehrsunfall, etc. [31].
- BUE an Strassen, die als Abkürzungen befahren werden, sind besonders kritisch bezüglich Regelverstösse [34].
- Die soziale Kontrolle als Hemmschwelle spielt eine untergeordnete Rolle [31]
- Die Entscheidung basiert in stärkerem Mass auf der eigenen Einschätzung der Gefahr als auf der Information des Lichtsignals. Die eigene Einschätzung besagt, dass keine Gefahr besteht, das Lichtsignal gebietet Halt, da eine Gefahr bevorsteht. Die eigene Einschätzung «übersteuert» die Information des Lichtsignals (bezogen auf das Fussgängerverhalten an Lichtsignalen, [42]).

- Aussage in [43]: «The fact that the pedestrians' intentions are determined by attitude rather than by subjective norms may be attributed to lack of social or legal enforcement of pedestrians' behavior».

6. Risikoanalyse

6.1 Risikobegriff

In Kapitel 4 wurde aus den Unfalldaten die Häufigkeiten (H) und Schadensausmasse (A) für die verschiedenen BUe-Typen abgeleitet. Durch Multiplikation der beiden Kennzahlen lässt sich der beobachtete Schaden gesamthaft im Netz, pro BUe-Typ oder anderen interessierenden Kriterien ermitteln.

Im Hinblick auf die Massnahmenbeurteilung wird diese statistische Betrachtung aufgeweitet und ein monetarisiertes kollektives Risiko gebildet (MKR). Es berücksichtigt weitere Aspekte.

Unvollständigkeit der Unfalldaten

- Die Auswertung der Unfalldaten stützt sich auf die Zeitperiode 2010 bis 2019. In Anbetracht der grossen Grundmenge der Daten ist davon auszugehen, dass die Unfallhäufigkeit vergleichsweise gut die aktuelle Realität abbildet.
- Die Zahl der Unfälle mit einem schweren Schaden ist aber trotz der grossen Grundmenge klein. Aus risikoanalytischer Sicht kann dies zu einer Fehleinschätzung des tatsächlich zu erwartenden Schadensausmasses führen.
- Aufgrund singulärer Ereignisse mit grossem Schaden kann das mittlere Ausmass einzelner BUe-Typen – und damit das Risiko – überschätzt werden. Oder, aufgrund fehlender Unfälle mit einem grossen Schadensausmass kann das mittlere Ausmass unterschätzt werden.
- Daher sind ergänzende Überlegungen und Anpassungen angebracht, um auch seltene schwere Ereignisse adäquat zu berücksichtigen.

Gewichtung schwerer Ereignisse (Risikoaversion)

- Mit dem Risikoaversionsfaktor werden schwere Schadensausmasse zusätzlich gewichtet.
- Ein Unfall mit einem grossen Schadensausmass besitzt eine hohe Signalwirkung in der Gesellschaft. Er wird schlimmer empfunden als mehrere kleine Unfälle mit insgesamt gleich grossem Schadensausmass. Ein solch schwerer Unfall kann auch erhebliche Konsequenzen für ein System nach sich ziehen. Letztlich haben sowohl die Systembetreiber als auch die Gesellschaft ein Interesse sehr schwere Ereignisse mit entsprechend erhöhten Anstrengungen zu vermeiden. Dieses Phänomen wird in der formalen Entscheidungstheorie gestützt und als Risikoaversion bezeichnet.
- Konkret erhalten Unfälle mit einem grossen Schadensausmass – über 1 OAE – ein überproportionales Gewicht. Als Ansatz verwenden wir die bei der SBB etablierte Funktion für die Risikoaversion Φ mit $\Phi = 0.8 * \sqrt{A}$, wobei A dem Schadensausmass entspricht. Beispiel: ein Schadensausmass $A = 2$ OAE erhält durch die Risikoaversion ein gewichtetes Ausmass von $A_g = \Phi * A = 0.8 * \sqrt{2} * 2 = 2.26$.

Monetarisierung anhand der Grenzkosten

- Es geht um die Frage, wie viel aufzuwenden ist, um ein Todesopfer zu verhindern. Sie beinhaltet die Abwägung der Verhältnismässigkeit. Im Kontext einer Nutzen-Kosten-Analyse entspricht es der Bewertung eines Todesopfers.
- Grundsätzlich wird ein einheitlicher Grenzkostenansatz verwendet. Für bewusst grobe Verstösse gegen bekannte Vorschriften ist es jedoch sinnvoll, den Ansatz zu reduzieren.

Ein vollständiges Ausblenden/nicht Berücksichtigen dieser Risiken erachten wir hingegen nicht als sinnvoll.

- Bewusst eingegangene Gefahren und grobe Verstösse sind beispielsweise das Überklettern oder Umgehen einer geschlossenen Schranke oder eine geschlossene Halbschranke zu umfahren. Nicht in dieser Kategorie sind unbewusste Fehlhandlungen, aber auch das Anhalten auf einem BUE im Stau oder das Durchfahren trotz einsetzendem Blinklicht und sich bereits bewegenden Barrieren.
- Grobe Verstösse gegen Vorschriften betreffen primär BUE mit Schranken, da geschlossene Schranken eine eindeutige Information darstellen. Bei den übrigen BUE-Typen ist eine entsprechende Unterscheidung nicht zweckmässig, da der Übergang von einer «normalen Fehlhandlung» zum «groben Verstoß» fließend und nicht erkennbar ist.
- Vorschlag für Grenzkosten
 - Grenzkosten: CHF 6.5 Mio. pro gerettetes Menschenleben
 - Grenzkosten für bewusst bis grob fahrlässig eingegangene Risiken: CHF 1.3 Mio. pro gerettetes Menschenleben (20% des normalen Wertes)
- Der Wert von CHF 6.5 Mio. entspricht dem von den Bundesämtern gemeinsam festgelegten Wert (vgl. z.B. AB-EBV oder [33]). Spielraum besteht beim Umgang mit grob fahrlässigen Risiken und bei der Berücksichtigung der Risikoaversion. Diesen nutzen wir aus.

Monetarisiertes kollektives Risiko

Damit ergibt sich das folgende monetarisierte kollektive Risiko (MKR)

$$MKR = H * A * Gk * \phi \text{ (in CHF/Jahr)}$$

Mit

- MKR: Monetarisiertes kollektives Risiko
- H: Häufigkeit pro Jahr
- A: Schadensausmass in Opferäquivalenten (OAE) pro Unfall
- Gk: Grenzkosten in CHF/OAE (Wert in Abhängigkeit davon, ob es bewusst eingegangene Risiken betrifft)
- ϕ : Risikoaversionsfaktor

6.2 Ergebnisse für das Netz

Bezogen auf das gesamte Netz ergibt sich eine erwartete Häufigkeit von 64 Unfällen pro Jahr mit einem MKR von rund CHF 30 Mio. pro Jahr. Die Herleitung der Werte findet sich im Anhang A3.

Monetarisiertes kollektives Risiko im Gesamtnetz

BUE-Typen	Häufigkeit /Jahr (H)	Mittleres Ausmass (in OAE/Unfall)	Mittleres Ausmass A (in CHF/Unfall)	Mittlerer Aversionsfaktor ϕ	MKR in CHF/Jahr
AK	3.3	0.060	391'000	1.31	1'696'200
BSA	24.5	0.036	234'760	1.35	7'760'620
HSCHA	4.0	0.063	406'480	1.40	2'281'920
LSA	13.6	0.037	239'800	1.34	4'376'480
StrB	1.7	0.033	216'400	1.38	507'280
SCHA	17.2	0.087	565'960	1.36	13'260'512
Total oder Mittelwert	64.3	0.053	342'636	1.36	29'883'012

Tabelle 9: Monetarisiertes kollektives Risiko im Gesamtnetz

Anmerkung zum Risikoaversionfaktor: Bei exakter Betrachtung ergeben sich geringfügige Unterschiede pro BUE-Typ, aber vereinfachend wird ein einheitlicher Wert verwendet.

Im Hinblick auf die Massnahmenbeurteilung stellen die Werte das gesamte Potenzial für eine Risikoreduktion dar. Beim BUE-Typ AK ist das theoretische Reduktionspotenzial beispielsweise CHF 1.7 Mio. pro Jahr.

Monetarisiertes kollektives Risiko pro BUE eines Typs

BUE-Typen	Häufigkeit/ BUE und Jahr	Mittleres Ausmass (in OAE/Unfall)	Mittleres Ausmass A (in CHF/Unfall)	Mittlerer Aversionsfaktor ϕ	MKR in CHF/Jahr
AK	0.0043	0.060	391'000	1.31	2'210
BSA	0.0646	0.036	234'760	1.35	20'463
HSCHA	0.0214	0.063	406'480	1.40	12'208
LSA	0.0474	0.037	239'800	1.34	15'253
StrB	0.0072	0.033	216'400	1.38	2'148
SCHA	0.0079	0.087	565'960	1.36	6'091
Total oder Mittelwert	0.0159	0.053	342'636	1.36	7'627

Tabelle 10: Monetarisiertes kollektives Risiko pro BUE eines Typs

Im Hinblick auf die Massnahmenbeurteilung stellen die Werte das Potenzial für eine Risikoreduktion bezogen auf einen durchschnittlichen BUE des entsprechenden Typs dar. Bei einem durchschnittlichen BUE des BUE-Typ AK ist das theoretische Reduktionspotenzial beispielsweise CHF 2'210 pro Jahr.

7. Risikomodell

7.1 Einleitung

In der Literatur finden sich verschiedene Modelle zur Abschätzung der Risiken spezifischer Bahnübergänge. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Modellen, die sich überwiegend auf statistische Grundlagen stützen und solchen, die auch Expertenschätzungen enthalten (siehe Anhang A4).

Rein quantitative ausschliesslich auf statistischen Daten basierende Ansätze sind im Allgemeinen wenig differenziert und ergeben keine aussagekräftigen lokalen Risiken. Rein qualitative Ansätze können zwar zahlreiche lokale Einflussfaktoren berücksichtigen; dies geschieht aber wenig systematisch und ein Bezug zu den effektiven Risiken an einem BUE ist kaum möglich.

Aus diesen Überlegungen – und im Hinblick auf den Zweck des Risikomodells – wird ein semi-quantitativer Ansatz gewählt. Aufbauend auf möglichst weit gehenden quantitativen Grundlagen werden auch Expertenschätzungen bei der Festlegung des Einflusses von Faktoren auf die Höhe des Risikos verwendet.

Mit dem Risikomodell werden mehrere Zwecke verfolgt:

- Aufzeigen des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Höhe des Risikos der BUE
- Realitätsnahe Darstellung der Risiken für BUE mit unterschiedlichen Eigenschaften
- Basis für die Abschätzung der Wirksamkeit und Beurteilung von Massnahmen, die am gesamten BUE-System ansetzen oder an einzelnen lokalen BUE.

7.2 Modell

Das durchschnittliche Risiko eines bestimmten BUE-Typs, bestehend aus dem Produkt der Häufigkeit und dem Schadensausmass, wird aufgrund der statistischen Grundlagen und einer Risikoanalyse ermittelt. Das Basisrisiko der BUE-Typen wurde in Kapitel 6.2 ermittelt.

Das Basisrisiko repräsentiert einen durchschnittlichen BUE des Typs. Dem entsprechend sind beim Basisrisiko die Parameter und Einflussgrössen durchschnittlich ausgeprägt (durchschnittlicher DTV, Zugdichte, etc.). In diesen Mittelwerten enthalten sind sowohl stark befahrene Normalspurstrecken als auch schwach befahrenen Schmalspurstrecken. Implizit sind auch zahlreiche Eigenheiten der BUE des entsprechenden Typs im Basisrisiko enthalten. Beispielsweise ist der DTV bei BUE mit AK auf wenige Bewegungen pro Tag eingeschränkt.

Das Risiko eines spezifischen BUE wird ausgehend vom Basisrisiko mittels Korrekturfaktoren ermittelt. Die Faktoren reduzieren oder erhöhen das mittlere Risiko aufgrund der Eigenheiten des betrachteten BUE.

$$R_x = (R_B * f_1 * \dots * f_9)$$

Mit

- R_x : Monetarisiertes kollektives Risiko des Bahnübergangs x
- R_B : Monetarisiertes Basisrisiko des BUE-Typs
- f_1 bis f_9 : Korrekturfaktoren für die Einflussgrössen 1 bis 9

Auf eine weitere Differenzierung nach unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer wird verzichtet, da das Risiko am BUE überwiegend durch den motorisierten Strassenverkehr bestimmt wird⁶.

Die Korrekturfaktoren beschreiben zahlenmässig, um wie viel sich das Risiko bei einer Veränderung des Einflussfaktors gegenüber dem Mittelwert erhöht oder senkt (Zusammenhang zwischen Einflussfaktor und Risiko).

Bei stetigen Einflussgrössen wie der Zugdichte oder dem DTV kann der Korrekturfaktor mit einer Funktion bestimmt werden.

⁶ Eine explizite Berücksichtigung und Differenzierung der Risiken für Fussgänger wurde geprüft und teilweise umgesetzt. Es hat sich jedoch in der Praxis nicht bewährt (Komplexität des Modells und Zuverlässigkeit der Ergebnisse)

Bei Eigenheiten, die vorhanden oder nicht vorhanden sind, entspricht der Korrekturfaktor einem einzelnen Wert.

Für die Bestimmung der Korrekturfaktoren sind einige Regeln einzuhalten:

- Die Faktoren müssen möglichst unabhängig voneinander sein; Eigenheiten mit gleicher Wirkung auf das Risiko sollen nur einmal berücksichtigt werden.
- Der Korrekturfaktor soll den tatsächlichen Einfluss auf das Risiko darstellen. Dieser Zusammenhang sollte soweit möglich mit statistischen Daten begründet sein. Dies ist in der Praxis oft nicht gewährleistet, weshalb eine realitätsnahe Einschätzung anzustreben ist.
- Der Mittelwert eines Korrekturfaktors über alle BUE muss 1 ergeben, weil das Basisrisiko einen durchschnittlichen BUE repräsentiert. Ein exakter Nachweis, dass die Bedingung eingehalten ist, wird in der Praxis nicht möglich sein, da nie alle Parameter der BUE im Netz bekannt sein werden.

7.3 Parameter des Risikomodells

Einflussfaktoren auf das Risiko an BUE finden sich auf zwei Ebenen:

- Lokale Einflussfaktoren, welche die risikorelevanten Eigenheiten der BUE beschreiben.
- Einflussfaktoren auf einer generellen Benutzerebene, ohne lokalen Bezug. Dazu gehören beispielsweise Wissen, Erfahrung, Fähigkeit der Informationsaufnahme und Verarbeitung, Fahrfertigkeit, Ortskenntnis, Fahrtzweck, etc.

Für das Risikomodell, mit dem die Höhe der Risiken konkreter BUE abgeschätzt werden soll, sind die lokalen Eigenheiten massgebend.

Auf der generellen Benutzerebene finden sich Ansatzpunkt für Massnahmen. Diese Einflussfaktoren werden daher später im Rahmen der Massnahmenbeurteilung wieder aufgegriffen.

Das Risikomodell unterscheidet Basisparameter und verhaltensbeeinflussende Parameter.

- Basisparameter betreffen den BUE-Typ und die Parameter des Verkehrs.
- Verhaltensparameter sind Eigenheiten, die das Verhalten des BUE-Benützers massgeblich beeinflussen (Erkennen und Wahrnehmen des BUE, Einflüsse, die ablenken oder das korrekte Erfassen der Situation erschweren, Entscheidung und Ausführung einer Handlung).
- Bei den Verhaltensparametern werden bewusst auch qualitative Aspekte, die eine gewisse Wertung enthalten, einbezogen und nicht nur technische Fakten.

In einer ersten Auslegeordnung wurden zahlreiche Parameter auf lokaler und genereller Nutzerebene aufgelistet und grob beurteilt, ob und wie sie im Risikomodell abgebildet werden sollen (siehe Anhang A4.1). Um das Risikomodell handhabbar zu halten, ist eine Fokussierung zwingend erforderlich. Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien angewendet:

- Die für das Risiko massgebenden Parameter sollen enthalten sein und für die Mehrzahl der BUE eine realitätsnahe plausible Einschätzung ergeben.
- Parameter, die eine Korrelation mit andern aufweisen, werden nicht verwendet.
- Qualitative Parameter werden möglichst zusammengefasst.

Übersicht und Gliederung

Gliederung		Parameter	Korrekturfaktor
Basisparameter	BUE-Typ	BUE-Typ, Basisrisiko	R_B
	Bahnbetrieb	Zugdichte	f_1
		Geschwindigkeit	f_2
	Verkehr	Verkehrsaufkommen	f_3
Verhaltensbeeinflussende Parameter	Einflussfaktoren in der Annäherung	Erkennbarkeit	f_4
		Komplexität in der Annäherung	f_5
	Einflussfaktoren am BUE	Umfeld	f_6
		Sperrzeit	f_7
	Einflussfaktoren im Räumbereich	Erschwernisse im Räumbereich	f_8
	Langsamverkehr (LV)	Klassierung des LV	f_9

Tabelle 11: Einflussfaktoren im Risikomodell

In Tabelle 12 sind die Parameter knapp beschrieben. Eine vertiefte Erläuterung sowie Begründungen und die Einschätzung der Wirkung finden sich im Anhang A4.

Gliederung	Parameter	Beschreibung
BUE-Typ	Basisrisiko	Basisrisiko in CHF/Jahr und Bahnübergang eines Typs
Bahnbetrieb	Zugdichte	Anzahl Zugbewegungen pro Tag (Reise- und Güterzüge, Rangierbewegungen)
	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit der Züge, beeinflusst die Häufigkeit und Schwere
Verkehr	Verkehrsaufkommen	Anzahl Fahrzeuge (DTV)
Einflussfaktoren in der Annäherung	Erkennbarkeit	Qualitative Einschätzung zur Erkennbarkeit (Signale, BUE-Elemente, Bahntrasse)
	Komplexität	Konfiguration von Schiene und Strasse unmittelbar vor dem BUE, Einflussfaktoren, welche die Aufmerksamkeit der Fahrzeuglenker verstärkt beanspruchen
Einflussfaktoren am BUE	Umfeld	Ausgestaltung bezüglich Führung von Fussgängern und Radverkehr Einflüsse der lokalen Umgebung wie Haltestellen- oder Bahnhofsnähe, Einkaufsaktivitäten, Schulen in unmittelbarer Nähe
	Sperrzeit	Dauer pro Schliessung
Einflussfaktoren im Räumbereich	Erschwernisse im Räumbereich	Stau am BUE (Rückstau, hohes Verkehrsaufkommen) sowie erschwertes Einbiegen in eine anschliessende Strasse
Langsamverkehr	Klassierung des LV	Auftretenshäufigkeit und spezielle Merkmale

Tabelle 12: Einflussfaktoren im Risikomodell

8. Massnahmenspektrum

Im Hinblick auf eine Massnahmenbeurteilung interessieren nicht nur die Ursachen der Unfälle als Ansatzpunkt, sondern ebenso der potenzielle Handlungsspielraum. Um diesen abzustecken, wird eine erste Auslegeordnung erstellt und die Massnahmen nach den Kriterien der kognitiven Schritte sowie den 5E gegliedert.

Als Quelle der Liste dienen in der Literatur diskutierte Massnahmen, sowie bekannte und aus der bisherigen Analyse abgeleitete Ansätze. Ebenso sind die Inputs der Arbeitsgruppe eingeflossen. Insgesamt sind auf diese Weise 95 Massnahmen mit Titel aufgelistet und klassiert. Welche dieser Massnahmen sinnvollerweise vertieft zu beurteilen sind, wird zu Beginn der Phase 2 evaluiert).

9. Folgerungen

Die Phase 1 befasst sich mit einer breit angelegten Auslegeordnung zur Sicherheit an Bahnübergängen mit einem verstärkten Fokus auf das Verhalten der BUE-Benutzer.

Die nachfolgend aufgeführten Folgerungen sind abgeleitet aus den untersuchten Fakten und ergänzt durch Überlegungen und Interpretationen, die als Thesen formuliert sind.

9.1 Folgerungen aus den Ereignisdaten

Bahnübergänge in der Schweiz

Die Zahl der Bahnübergänge ist insgesamt um 20% zurückgegangen. Rückgänge sind insbesondere bei den Typen AK und BSA zu verzeichnen, Zunahmen bei den Typen LSA/VRA, StrB, HSCHA und SCHA.

Das Mengengerüst hat sich innerhalb von 10 Jahren vergleichsweise stark verändert. Neben der Aufhebung von BUE hat eine Verschiebung zu höherwertigen Sicherungsarten stattgefunden. Die gesamte Entwicklung ist Ausdruck der unternommenen Sanierungsanstrengungen.

Entwicklung der Unfallzahlen

Es ist voranzustellen, dass die vorhandene Datenbasis – auch im Vergleich zu Untersuchungen im Ausland – umfangreich ist (Unfalldaten BAV, ASTRA, Unfalluntersuchungsberichte).

Die Zahl der Unfälle hat in den letzten 10 Jahren in der Summe und bei allen BUE-Typen abgenommen. Dies gilt trotz teilweise deutlicher Zunahme des Mengengerüsts und der Verkehrsmenge auf Strasse und Schiene. Bezogen auf die Unfallzahl pro BUE ist der Rückgang deshalb noch deutlicher.

Thesen

- Die Sanierungsanstrengungen der letzten Jahrzehnte haben Wirkung gezeigt.
- Die Zahl der Unfälle mit Personenschaden ist an BUE stärker zurückgegangen als im Strassenverkehr insgesamt.
- Aus der Unfallstatistik ergeben sich keine Indizien, dass sich das Verhalten der Verkehrsteilnehmer deutlich verschlechtert hätte.

Charakteristik der Blinklicht- und Lichtsignalanlagen

Bezüglich der Unfallhäufigkeit pro BUE bilden die Typen BSA und LSA/VRA einen Schwerpunkt.

Thesen

- Bei beiden Typen spielt die Konstellation bzw. Einbettung von Strasse und BUE eine wesentliche Rolle (Parallelführung Schiene – Strasse und Knoten vor dem BUE). Die Fehlerwahrscheinlichkeit ist dadurch erhöht, aber auch bewusste Fehlhandlungen sind leicht möglich (keine Schranke). Die beiden Typen sind besonders sensitiv bezüglich Benutzerverhalten.

- Dass der Typ StrB eine deutlich kleinere Unfallhäufigkeit aufweist, dürfte primär mit der geringeren Frequenz der Querungen zusammenhängen. Darüber hinaus ist die Geschwindigkeit bahnseitig gering.

Charakteristik der Vollschraken

Bei Vollschraken lassen sich folgende Aspekte herauschälen: Der überwiegende Teil der tödlichen Unfälle an Vollschraken betrifft Fussgänger. Beim motorisierten Strassenverkehr ereignet sich der typische Unfall durch Einschliessen.

Thesen

- Schranken sind besonders kritisch zwischen Relationen mit Fussgängerkehr, beispielsweise in der Nähe von Bahnhöfen.
- Es handelt sich überwiegend um bewusst eingegangene Fehlhandlungen, die in der Risikobewertung entsprechend reduziert zu berücksichtigen sind.
- Einschliessunfälle weisen ein vergleichsweise geringes Schadensausmass auf. Es ist anzunehmen, dass die Insassen das Fahrzeug oft verlassen und/oder das Fahrzeug etwas auf die Seite verschoben haben.
- Der Schwerverkehr ist in etwa proportional zu seinem Verkehrsanteil in Unfälle involviert (gilt auch für Einschliessunfälle)

Charakteristik bei Andreaskreuzen

Das mittlere Schadensausmass der Unfälle an mit AK gesicherten BUE ist vergleichsweise hoch. Ein Grund liegt darin, dass überproportional viele Fahrräder, Mofa und Fussgänger involviert sind.

These

- BUE mit AK sind bei der Ausgestaltung speziell aus dem Blickwinkel der Fussgänger zu beurteilen (Erkennbarkeit des BUE, Aufmerksamkeit auf die potenzielle Gefahr lenken, korrektes Verhalten «erzwingen»).

Weitere Eigenheiten

Weitere Begleitumstände und Ursachen für Unfälle sind in der Unfallstatistik erkennbar, aber netzweit betrachtet fallen sie nicht als eigentlicher Schwerpunkt auf. Beispiele: Staubbildung, Steckenbleiben auf dem BUE (Kurve, Wanne, Kuppe), Schnee und Eis, etc.

These

- Lokale Eigenheiten können im Einzelfall sehr bedeutsam sein, auch wenn sie netzweit nicht auffällig sind. Entsprechende Eigenheiten sollten bei der Beurteilung konkreter BUE berücksichtigt werden, auch wenn dazu keine belastbaren Daten vorliegen.

9.2 Folgerungen aus der Literaturrecherche

Wissenslücken und Praxis

Untersuchungen im Ausland zeigen, dass grössere Wissenslücken zur Bedeutung der Signalisierung und zum Verhalten am BUE vorhanden sind. Ebenfalls mehrfach dargestellt wird, dass ein wesentlicher Teil der Strassenverkehrsteilnehmer nie oder selten einen BUE befährt (bis zu 60%).

These

- Es ist anzunehmen, dass die Aussagen zu Wissenslücken und teilweise geringer Praxis im Befahren von BUE auch für die Schweiz zutrifft. In grösseren zusammenhängenden Regionen bestehen heute im Strassennetz nur selten noch BUE.

Unabsichtlicher Fehler oder bewusste Fehlhandlung?

Die Auswertung der Unfalldaten zeigt verschiedene Ausprägungen von Fehlverhalten der Strassenverkehrsteilnehmenden als zentrale Ursachengruppe. Über vertiefte Gründe oder die Motivation des Verhaltens lassen sich aus den Unfalldaten keine verallgemeinerbaren Erkenntnisse ableiten (beispielsweise zur interessierenden Frage «unabsichtliche oder bewusste Fehlhandlung»). Untersuchungen aus dem Ausland sind auf die Frage «unabsichtliche oder bewusste Fehlhandlung» eingegangen und zeigen einen relevanten Anteil der bewussten Fehlhandlung [31].

Thesen

- Die Abgrenzung, ob eine Fehlhandlung als unabsichtlich oder bewusst eingegangene Regelverletzung zu werten ist, ist unscharf.
- Trotzdem ist anzunehmen, dass ein wesentlicher Anteil der Fehlhandlungen und Unfälle auf bewusste Entscheide, bei der eine Regelverletzung in Kauf genommen wird, zurückzuführen ist. Der Anteil könnte bei bis zu 50% liegen (siehe Kapitel 5.2).
- Benutzer mit Ortskenntnis («Locals») nehmen häufiger Regelverletzungen in Kauf. Sie sind eine potenzielle Zielgruppe für Massnahmen.
- Massnahmen sollten möglichst auf beide Aspekte zielen bzw. sie beeinflussen.

Einschätzung der konkreten Gefahr

Der BUE-Benutzer kann wie der Fussgänger am Lichtsignal die Gefahr oft selbst erkennen. Ist ein Zug weit entfernt und langsam unterwegs oder hat ein Blinklicht gerade erst zu Blinken begonnen, so ist in der Einschätzung des BUE-Benutzers keine konkrete Gefahr vorhanden und Überqueren ist gefahrlos möglich.

These

- In der Theorie des rationalen Handelns bildet das Abwägen der Vor- und Nachteile einen wesentlichen Auslöser des Verhaltens. Wenn keine Gefahr erkannt wird, so entfällt ein potenzieller Nachteil und der Nutzen des Zeitgewinns dominiert. Es ist eine Folge einer überschätzten eigenen Beurteilungskraft, von Fehleinschätzungen und fehlendem Gefahrenbewusstsein (--> Ansatzpunkte für Massnahmen)

Fehlende Durchsetzung von Regeln

Eine weitere Hemmschwelle lässt sich wiederum aus der Theorie des rationalen Handelns ableiten. Aus Benutzersicht ist ein weiterer Nachteil bzw. eine Hemmschwelle in Bezug auf eine Regelverletzung die Überwachung und Ahndung von Regelverletzungen.

Thesen

- Die Ahndung eines Fehlverhaltens an BUE erfolgt seltener als bei einem Lichtsignal im Strassenverkehr (keine «Rotlichtkameras»). Dieser Umstand, bzw. die persönliche Erfahrung des Benutzers, dass er nie für ein Fehlverhalten am BUE belangt wurde senkt die Hemmschwelle (kein Nachteil zu erwarten).
- Die Unfälle an BUE mit einem Personenschaden sind im Vergleich zu den entsprechenden Unfällen im Strassenverkehr nahezu vernachlässigbar. Sie bilden keinen Risikoschwerpunkt und sind dem entsprechend auch nicht im Fokus der Überwachung.

Komplexität in der Annäherung auf den BUe

Schwierige Strassenkonfigurationen in der Annäherung und am BUe selbst erfordern eine hohe Aufmerksamkeit, um die Situation zu begreifen, und es sind allenfalls mehrere Entscheidungen in kurzer Folge notwendig.

Thesen

- Sicheres Verhalten der Benutzer muss indirekt über die Ausgestaltung der BUe – inklusive Umfeld – beeinflusst werden.
- Die Komplexität und Ablenkung ist nicht nur für Ortsfremde ein Erschwernis. Es betrifft auch Ortsansässige, die nach routinierten Entscheidungsabläufen handeln. Entsprechen die Handlungen der anderen Verkehrsteilnehmenden dann nicht der Erwartungshaltung, so kann aus einer vermeintlich sicher eingeschätzten Handlung rasch ein unkontrollierter Ablauf entstehen.

Vorfälle

Die Infrastrukturbetreiber beklagen eine grosse Zahl von Vorfällen – regelwidriges Verhalten mit und ohne Beschädigung von Bahnanlagen. Die Zahl nimmt subjektiv zu, was aber nicht klar belegbar ist, da entsprechende Statistiken nicht ausreichend systematisch geführt werden. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Zahl der Vorfälle und der Unfälle lässt sich nicht aufzeigen.

Thesen

- Entsprechende Vorfälle ereignen sich verstärkt in Bereichen mit tiefer Geschwindigkeit der Bahn. Die Triebfahrzeugführer sind aufmerksam und reduzieren die Geschwindigkeit, so dass es selten zum Zusammenstoss kommt.
- Eine tiefe Geschwindigkeit der Bahn provoziert jedoch zusätzlich riskantes Verhalten. Die Gefahr wird durch den Strassenverkehrsteilnehmer als gering eingeschätzt. Dies entspricht in gewisser Masse einer Risikokompensation. Das Verhalten wird in der Literatur im beschriebenen Kontext angesprochen.
- Eine weitere These liegt darin, dass Vorfälle wie das Beschädigen von Schranken verstärkt in engräumigen wenig übersichtlichen Situationen auftreten. Die Verkehrsteilnehmer sind nicht auf die konkrete Situation eingestellt (im kognitiven Modell entspricht dies dem Schritt «Erfassen des BUe») und machen Fehler, die primär zu einer Sachbeschädigung führen.
- Vorfälle der beschriebenen Art sind verstärkt aus dem Blickwinkel der «Störung des Bahnbetriebs» zu sehen als aus der Sicherheitsoptik. Es ist möglich, dass der jährliche Schaden aus solchen Störungen an einem spezifischen BUe das monetarisierte Risiko übersteigt.

Stand der Forschung

Es mangelt nicht an umfangreicher Forschungsarbeit zur Sicherheit an Bahnübergängen. Neben dem klassischen Blickwinkel der Bahn, bei dem die konkrete Ausgestaltung der BUe im Vordergrund steht, gibt es zahlreiche Arbeiten, die sich mit dem Verhalten der BUe-Benutzer befassen. Darüber hinaus bestehen insbesondere im anglikanischen Raum wohl formulierte Strategien, Leitfäden, Handbücher etc. zum Management der BUe-Sicherheit ([54], [55], [56]).

Thesen

- Forschungsarbeiten sind oft schon älter und betreffen BUe-Systeme, die sich von der Schweiz deutlich unterscheiden können. Die Aussagen müssen daher kritisch auf ihre Verwendbarkeit geprüft werden.
- Mit BUe vergleichbare Verkehrssituationen können eine Grundlage bilden, um auch das Verhalten von Personen an BUe besser zu verstehen und zu modellieren. Speziell das Verhalten von Fussgängern an Lichtsignalen kann dazu dienen und ist in zahlreichen Arbeiten weltweit untersucht worden (Entscheidungsverhalten).

9.3 Folgerungen bezüglich Risikomodell

Verschiedene Forschungs- und Projektarbeiten befassen sich unter anderem mit einer Modellierung der Risiken, um einerseits die wesentlichen Einflüsse auf das Risiko zu verstehen und abzubilden. Andererseits werden die Modelle zur Massnahmenbeurteilung verwendet. Es handelt sich sowohl um qualitative als auch um semi-quantitative oder quantitative Modelle ([24], [30], [31]).

Thesen

- Die in den Risikomodellen verwendeten Parameter betreffen oft messbare Grössen, die jedoch nur einen schwachen Bezug zum Verhalten der BUE-Benutzer aufweisen. Die das Verhalten beeinflussenden Eigenheiten der BUE sind jedoch sehr bedeutsam und sollten deshalb in einem Risikomodell enthalten sein.
- Um Parameter zu berücksichtigen, die das Verhalten stark beeinflussen, sind Expertenschätzungen notwendig. Es ist sinnvoller systematisierte Expertenschätzungen in einem semi-quantitativen Ansatz zu verwenden, als mangels fundierter Zahlen auf quantitative Aussagen zu verzichten.
- Die Risiken an konkreten BUE sind in Abhängigkeit der lokalen Eigenheiten sehr unterschiedlich hoch. Daher kann eine Massnahme je nach konkreter Situation verhältnismässig sein oder auch nicht. Dies kann mit Hilfe des Risikomodells abgeschätzt werden. Es kann aber auch eine allgemeingültige Beurteilung erfolgen, unter welchen Bedingungen eine Massnahme verhältnismässig sein kann. Das Risikomodell dient somit im konkreten Fall ebenso wie für allgemeingültige Aussagen.

9.4 Folgerungen bezüglich Massnahmen

Bei den nachfolgenden Ausführungen handelt es sich nicht um Massnahmenempfehlungen. Es sind erst generelle Folgerungen aufgrund der Auslegeordnung in der Phase 1 des Projektes. Eine vertiefte Analyse und Beurteilung von Massnahmen ist Gegenstand der Phase 2.

Handlungsspielraum

Aufgrund der Anstrengungen in den letzten Jahren ist davon auszugehen, dass der Spielraum für baulich-technische Verbesserungen an den BUE zunehmend enger wird bzw. weitere Massnahmen in diesem Bereich sehr kostspielig sind. Umfangreiche Sanierungen alleine aus Sicherheitsüberlegungen dürften kaum mehr effizient sein. Gleichzeitig führen Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung dazu, dass die Relevanz von neuartigen Massnahmen (z.B. in der Schnittstelle zu automatisiertem Fahren) künftig zunehmen kann.

Mögliche Stossrichtungen

Die Stossrichtungen lassen sich nach den kognitiven Schritten sowie den 3E gliedern (Engineering, Education, Enforcement).

- Die kognitiven Schritte gemäss Kapitel 5.1 bilden eine sehr gute Struktur, um darin die geeigneten Massnahmen anzusetzen (Wahrnehmbarkeit erhöhen, Wissen verbessern, Anforderungen und Ablenkung reduzieren, Entscheidung beeinflussen, Ausführung sicherstellen).
- Anwendung der 3E
 - Eine wesentliche Stossrichtung ist, die BUE so zu gestalten, dass ein sicheres Verhalten gefördert und nicht konformes Verhalten reduziert oder unterbunden wird («Engineering»).

- Aufklärung, Awareness und Durchsetzung von Regeln bedingt, dass das Grundwissen vorhanden ist («Education»). Aufklärungsaktionen sollten zielgerichtet erfolgen (bestimmte Personengruppen, konkrete lokale Situationen) ([34], [39]).
- In der ausgewerteten Literatur finden sich keine Angaben zu breit eingesetzter Überwachung und deren Wirksamkeit. Überwachung wird jedoch in mehreren Quellen als wesentliches Element angesprochen ([42], [43]) («Enforcement»).

Beiden Ansätzen gemeinsam ist, dass sie letztlich breit und gesamtheitlich ansetzen: auf übergeordneter Ebene beim Wissen und Aufklären ebenso wie auf lokaler Ebene beim Optimieren der BÜe.

Detailarbeit

Die adäquate Gestaltung der BÜe, sodass die Benutzer sich korrekt und sicher verhalten, ist Detailarbeit im konkreten Fall. Hinzu kommen grundsätzliche Themen wie Sichtbarkeit, Einheitlichkeit und Logik der Signalisierung (beispielsweise die unterschiedliche Ausgestaltung und Bedeutung von Blinklichtern und Lichtsignalen an Strassenkreuzungen).

Zusammenarbeit Bahn und Strasse

BÜe, die in Verzweigungen und Knoten oder in anderer anspruchsvoller Konfiguration liegen, können nicht isoliert nur als BÜe betrachtet werden. Eine intensive Zusammenarbeit mit der Strasse ist für Optimierungen wichtig (Audits, gemeinsame Lösungssuche).

Umsetzbarkeit von Massnahmen

Auch wenn Risikoschwerpunkte und Schwachstellen bekannt sind, stellt sich die Frage, welche der denkbaren Gegenmassnahmen realistischweise umsetzbar sind. Dieser Aspekt muss für die spätere vertiefte Beurteilung von Massnahmen ebenso beachtet werden.

A1 Grundlagen

A1.1 Vorschriften und Regelungen

- [1] Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV), Art. 37 und 83f, Stand 01.11.2020
- [2] Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung AB EBV, Stand 1. November 2020
- [3] R RTE 25931 (VSS 71 512)
Bahnübergang, Basisdokumentation, Ausgabe 26.07.2019
- [4] Signalisationsverordnung (SSV), Stand 01.01.2021

A1.2 Daten

- [5] Bundesamt für Verkehr BAV
Inventarliste Bahnübergänge nach Bahn 2010 bis 2019
- [6] SBB
Open Source, Stand Ende 2020
- [7] AB
Daten zu den Bahnübergängen (Excel-File)
- [8] SOB
Daten zu den Bahnübergängen (Excel-File)
- [9] Deutsche Bahn
Daten & Fakten 2018
- [10] OEBB
Zahlen, Daten, Fakten 2018
- [11] SNCF Mobilité
Memento Statistique SNCF Mobilité – Les faits marquants et les chiffres clés du groupe SNCF à travers le prisme de l'EPIC SNCF Mobilités, 2018
- [12] Bundesamt für Statistik BFS
Strassengüterverkehr mit schweren Fahrzeugen (über 3,5 t), 2019
- [13] Bundesamt für Statistik BFS
Fahrleistungen und Fahrzeugbewegungen im Personenverkehr, 2019
- [14] Bundesamt für Verkehr BAV
Unfalldatenbank für Bahnübergänge 2010 bis 2019
- [15] Amt für Strassen ASTRA
Auszug der Unfalldatenbank mit Unfällen an Bahnübergängen 2010 bis 2019
- [16] Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Untersuchungsberichte zu Bahnübergangsunfällen, 2003 bis 2019
- [17] Schweizerische Eisenbahnrevue SER
Artikel zu Unfällen an Bahnübergängen 2003 bis 2020
- [18] LKW-Unfälle an Bahnübergängen in Deutschland EBP
Presseartikel, Zeitspanne 2009 bis 2014
- [19] Bundesamt für Strassen ATRA
Fachapplikation Verkehrsunfälle (VU), Instruktionen zum Unfallaufnahmeprotokoll 2018, Version 2.2, 2019

- [20] Bundesamt für Strassen ASTRA
MISTRA, Managementinformationssystem Strasse und Strassenverkehr, Fachapplikation Verkehrsunfälle (VU), Instruktionen zum Unfallaufnahmeprotokoll (UAP), Anhang 1 Unfalltypen, Version 4.21, 6.12.2010
- [21] Bundesamt für Strassen ATRA
Fachapplikation Verkehrsunfälle (VU), Instruktionen zum Unfallaufnahmeprotokoll (UAP), Anhang 2 Ursachen und Hauptursachen, Version 1.0, 2017
- [22] Bundesamt für Strassen ATSRA
Unfallaufnahmeprotokoll, Version 2.0, 2016

A1.3 Literatur

Projekte, Forschungsarbeiten, Artikel

- [23] Deutsche Bundesbahn
Sicherheitsanforderungen an Bahnübergängen, Schlussbericht und Anhang EBP, 1986
- [24] Schweizerische Bundesbahnen SBB
Sicherheitsbeurteilung von Bahnübergängen, EBP, 1997
- [25] Bundesministerium für Verkehr
Bahnübergänge bei Geschwindigkeiten über 160 km/h
Schlussbericht (FE – Nr. 60.336/1997), EBP, 1998
- [26] Deutsche Bahn
Risikobetrachtung zum Befahren von Bahnübergängen durch Großraumtransporte, Schlussbericht vom 3. Mai 2016 (nicht öffentlich)
- [27] Schweizerische Südostbahn SOB
Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Bahnübergänge, Schlussbericht 22.11.2017 (nicht öffentlich)
- [28] Zürich Tiefenbrunnen, Videoanalyse Niveauübergang, Kurzbericht mit Videosequenzen Verkehrsteiner, 2014
- [29] Eisenbahn-Bundesamt
Analyse Optimierungspotential Bahnübergangssicherung, EBA Forschungsbericht 2019-4, Oelsner J., Buder J., April 2019
- [30] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)
Sicherheit an Bahnübergängen, Forschungsbericht Nr. 44, Hantschel S. et al., 2016
- [31] Ein risikobasiertes Verfahren zur Sicherheitsbeurteilung von Bahnübergängen
Dissertation, Schöne Eric J., 2013
- [32] Technische Hochschule Darmstadt
Beurteilung der Sicherheit an Bahnübergängen aufgrund baulicher und verkehrlicher Merkmale, Heimann W., 1983
- [33] BAV, ASTRA, BAFU
Grenzkosten als Festsetzung im Rahmen von Nutzen-Kosten-Analysen für Sicherheitsmassnahmen, Matrisk, 15.12.2016
- [34] Health and Safety Executive HSE
Level Crossings, Summary of findings and key human factors issues, Davis Associates Limited, 2005
- [35] U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration
Driver Behavior at Highway-Railroad Grade Crossings: A Literature Review from 1990-2006, October 2008

- [36] UNECE, Working Party on Rail Transport, Group of Experts on improving Safety at Level Crossings
Assessment of safety at level crossings in UNECE member countries and other selected countries and strategic framework for improving safety at level crossings, 2016
- [37] SAFER Level Crossing by integrating and optimizing road-rail infrastructure management and design (Safer-LC)
Definition of new human-centred low-cost countermeasures, Dressler A., Silla A., Kortsari A., Havârneanu G., Whalley S., Gripenkoven J., 2018
- [38] Das Kreuz mit dem Andreaskreuz – Eine Untersuchung über Konflikte an Bahnübergängen, Ellinghaus, D., Steinbrecher J.,
- [39] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, ÖBB-Infrastruktur AG, Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
Kenntnisstand und LenkerInnenausbildung in Bezug auf Eisenbahnkreuzungen Online-FS-EK, Lengger, P., 2017
- [40] Fachhochschule Nordwestschweiz
Psychologische Unfallursachen an Bahnübergängen in der Schweiz (Bericht)
Projektarbeit, Schnyder A., Ruob A., Grädel L., Hodel K., Ruchti P., 2020
- [41] Bei Rot sollst du stehen, bei Grün kannst du gehen. Eine empirische Untersuchung von Einflussfaktoren auf das Fussgängerverhalten an roten Ampeln, Masterarbeit, Willeke, C. et al. ohne Datum
- [42] Pedestrian violations crossing behavior at signal intersections: A case study in Anning District of Lanzhou Qihong Gong et al 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 688 044006
- [43] Theory of planned behavior and pedestrians intentions to violate traffic regulations
Moyano Diaz E., 2002
- [44] The theory of planned behavior
Ajzen, I. in Organizational Behavior and Human Decision Processes. 50 (2): 179–211, 1991
- [45] Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks, Aurélie Dommes, Marie-Axelle Granié, Marie-Soleil Cloutier, Cécile Coquelet, Florence Huguenin-Richard, Accident Analysis and Prevention, Elsevier, 2015
- [46] ASTRA / Forschungsprojekt SVI 2011/024
Langsamverkehrsfreundliche Lichtsignalanlagen, 2015
- [47] Kenntnisstand und LenkerInnenausbildung in Bezug auf Eisenbahnkreuzungen
Projekt im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2014, Mai 2017
- [48] Verhalten von Strassenbenützern an Eisenbahnkreuzungen und Bahnübergängen
Dinhobel (OEBC), Wiener Eisenbahnkolloquium 2017
- [49] Wahrnehmung und Verhalten am Bahnübergang,
Gripenkoven J., in Deine Bahn 2/20172017
- [50] Einfluss der Ortskenntnisse auf das Verhalten an Bahnübergängen, Schöne E., Buder J., in Eisenbahningenieur Juni 2011
- [51] Sicherheit an Bahnübergängen
Strassenseitige Gestaltung von Bahnübergängen in der Praxis: Häufige Probleme und ihre Vermeidung (Teil 1 und Teil 2), Schöne E., Bahn Fachverlag GmbH, 2009
- [52] Risikofaktoren erkennen und berücksichtigen
Bahnübergänge, Bahn Fachverlag GmbH, 2013
- [53] Bahnübergänge im Spiegel der Jahreszeiten
Bahnbetrieb, Bahn Fachverlag GmbH, 2011

- [54] Office of Rail and Road
Consultation on «Principles for managing level crossing safety» guidance
January 2021
- [55] Office for Rail and Road
Principles for managing level crossing safety, Consultation Draft (ohne Datum)
- [56] Office of Rail Regulation
Level Crossings: A guide for managers, designers and operators
Railway Safety Publication 7, December 2011

A2 Literaturrecherche

Level Crossings, Summary of findings and key human factors issues, 2005 [34]

Die umfangreiche Untersuchung befasst sich mit dem menschlichen Verhalten an Bahnübergängen (human factor issues) und basiert auf einer Literaturrecherche, Begehungen und zahlreichen Interviews. Es ist zu beachten, dass sich die Aussagen auf verschiedene Länder beziehen:

- Visuelle Ablenkung der BUE-Benützer durch Aktivitäten neben der Strasse in der Annäherung auf den BUE.
- Die Gestaltung der Annäherung und übermässige Informationsdichte reduzieren die Erkennbarkeit des BUE.
- Strassenkreuzungen in der Nähe der BUE erfordern mehr Entscheidungen in kurzer Zeit, was zu Fehlern führt.
- Regelmässige BUE-Benützer und Personen, die in der Nähe von BUE wohnen, zeigen ein risikoreicheres Verhalten am BUE. An BUE mit wenig Zugfahrten gehen regelmässige Benützer zudem höhere Risiken ein.
- Personen in Gruppen verhalten sich risikoaffiner als Einzelpersonen.
- In Stosszeiten begehen die BUE-Benützer eher Regelverletzungen.
- Nur etwas mehr als 50% der Benützer kennen die Bedeutung und korrekte Handlung bei Beginn des Blinklichts im Vergleich mit Lichtsignalen an Strassenkreuzungen.
- BUE-Benützer halten die Vorwarnzeit (warning time of the activated system) als zu lang. Sie überschätzen die erforderliche Wartezeit. 50% der BUE-Benützer, die trotz Blinklicht den BUE passieren, haben dies mit Absicht gemacht und argumentieren mit dem Zeitfaktor.
- BUE-Benützer erwarten nach 20 Sekunden eine Zugfahrt, nach 40 Sekunden beginnen sie bei BUE ohne Schranken ungeduldig zu werden und bei BUE mit Schranken sind es rund 60 Sekunden (bezieht sich auf die USA).
- Kritische Faktoren bei den Blinklichtern: Blendwirkung der Sonne, begrenzte Helligkeit der Leuchten, ungeeignete Position.
- Bei BUE in der Nähe von Bahnhöfen schätzen die BUE-Benutzer die Wartezeit subjektiv höher ein und bei entsprechender Lokalkenntnis gehen sie eher Regelverletzungen ein. Fussgänger verhalten sich risikoreicher, wenn sie ihren Zug noch erreichen wollen.
- Tiefe Geschwindigkeit der Züge verführt stärker zu einer Regelverletzung (je tiefer die Geschwindigkeit, desto riskanteres Verhalten). Einen ähnlichen Effekt kann auch eine gute Übersichtlichkeit haben. Aspekt der Risikokompensation.
- Die Kombination von Unterschätzen der benötigten Zeit für die Querung und Überschätzen der Zeitdauer, bis ein Zug kommt oder sich die Barriere senkt, führt dazu, dass der BUE-Benützer glaubt eine Regelverletzung trotzdem sicher begehen zu können.
- Ortsfremde und speziell internationale BUE-Benützer machen eher Fehler (unabsichtlich). Dies gilt insbesondere für den (internationalen) Schwerverkehr.
- BUE an Strassen, die als Abkürzungen befahren werden, sind besonders kritisch bezüglich Regelverstösse.
- Statische Informationen wie die Warnung bei Blinklichtsignalen, dass ein zweiter Zug passieren kann, haben eine geringe Wirkung, sofern die BUE-Benützer nicht den Zug bzw. die Gefahr selbst sehen können.

Anmerkungen/Fazit EBP

- Viele bekannte Feststellungen werden untermauert und geschärft. Die wesentlichen Aspekte werden angesprochen; gute Grundlage für das Risikomodell
- Hervorzuheben: Geschwindigkeit, Wartezeit, Lokalkenntnis, Motive für Regelverletzung

Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks, 2015 [45]

Paper, 10 Seiten

- Die Untersuchung basiert auf 2852 Beobachtungen, wovon 617 mit Regelverletzung (22%)
- Mehrere Einflussfaktoren für Regelverletzungen wurden untersucht und quantifiziert in der Rate für Regelverletzungen (Anteil Querungen mit einer Regelverletzung).
- Alter und Geschlecht: mit dem Alter höhere Rate, möglicherweise begründet in der geringeren Gehgeschwindigkeit, höhere Rate bei Männern
- Länge und Dauer der Querung: ab 25m bzw. 20s überproportionale Zunahme der Rate
- Verkehrsdichte, zentrale Aussage: «Pedestrian crossing behavior is based on the premise of ensuring their own safety. They tend to wait for the intervals that they think safe enough to cross street, rather than follow the instructions of traffic signal.»
- Dauer des Rotlichts: nicht linearer Anstieg, von der kürzesten Wartezeit bei 20 s bis zur längsten Wartezeit bei 80 s, Anstieg der Rate von 15% auf 55%
- Lichtsignale mit einem Countdown: Reduziert die Rate um knapp 20%. Regelverletzungen treten gehäuft am Ende des Count Downs auf, wenn klar ist, dass es grün wird und keine Autos mehr kommen.
- Massnahmendiskussion, Themen: u.A. Kampagnen, Ausbildung und insbesondere Enforcement.

Anmerkungen/Fazit EBP

- Im Vergleich zu BUe dürfte bei Fussgängern die Rate der Regelverletzung deutlich höher sein.
- Die Abhängigkeit Wartezeit – Rate für Regelverletzung ist nicht linear; zwischen kürzester und längster Wartezeit liegt eine Vervierfachung der Rate.
- Die zentrale Aussage, dass das Verhalten der Fussgänger sich auf ihre eigenen Einschätzung der Gefahr stützt und weniger auf das Signal, dürfte insbesondere für BUe des Typs BSA ebenfalls zutreffen.

The theory of planned behavior, 1991 [44]

Paper, 32 Seiten

Elemente

- Normative beliefs and subjective norms: Überzeugung und Einstellung einer Person gegenüber Normen (aus dem Einfluss von Erziehung, Familie, Gesellschaft, Erfahrung etc. gebildete eigene Überzeugung)
- Control beliefs and perceived behavioral control: innere und äussere hemmende oder fördernde subjektiv wahrgenommene Faktoren um eine Handlung auszuführen. Selbstkontrolle.
- Behavioral intention and behavior: Absicht etwas auszuführen, ein Ziel zu erreichen, und das tatsächlich resultierende Verhalten.

Anmerkungen/Fazit EBP

- Grundlegende Theorie zum Entscheidungsverhalten. Liefert Hinweise und Erklärung zu regelwidrigem Verhalten an BUe bzw. macht es erklärbarer.

Theory of planned behavior and pedestrians' intentions to violate traffic regulations, 2002 [43]

Paper, 7 Seiten

- Basierend auf der Theorie des «Planned Behavior». Statistische Überprüfung der Elemente der Theorie bei Fussgängern.
- Elemente des Modells: Verhaltensabsicht hängt ab von der Einstellung zum Verhalten, der Subjektiven Norm und der Wahrnehmung der Verhaltenskontrolle. Daraus resultiert das Verhalten. Regelwidriges Verhalten wird unterteilt in Verstoss, Fehler, Missgeschick
- Aussage: The fact that the pedestrians' intentions are determined by attitude rather than by subjective norms may be attributed to lack of social or legal enforcement of pedestrians' behavior.

Anmerkungen/Fazit EBP

- Hinweise zur Strukturierung des Verhaltens; deckt sich mit anderen Untersuchungen

Psychologische Unfallursachen an Bahnübergängen in der Schweiz, März 2020 (Arbeiten der FHNW) [40]

Analyse des Ablaufs an BUe aus Sicht Strassenverkehrsteilnehmer (kognitive Schritte)

- Erkennen des BUe --> Information verarbeiten und verstehen --> Regeln abrufen (Wissen) --> Handlungsabsicht (Entscheidung) --> Handlung richtig ausführen (Fertigkeit)
- Wesentlich ist der Einfluss von Umgebungsfaktoren auf diese Schritte
- «Erkennen»
 - BUe muss objektiv sichtbar sein
 - Problem der Wahrnehmbarkeit akustischer Signale
 - Unbeabsichtigte Fehlentscheidungen, da der BUe nicht als solcher wahrgenommen wird vs. beabsichtigte bzw. bewusste Regelverstösse
- «Information verarbeiten»
 - Auslassungsfehler, durch Ablenkung (extern und intern)
- «Wissen anwenden»
 - Wissensabruf: Wissen/Regeln/Verhalten muss bekannt sein.
 - Beschilderung und Blinklicht sind nicht überall bekannt (Anm. je seltener es vorkommt, desto weniger bekannt). Problem des Blinklichts --> ungleiche Signale Strassenkreuzung / Bahn, Blinklicht ist nicht dauerhaft rot
- «Handlungsintension»
 - Erlerntes Fehlverhalten (regemässiges Befahren eines Übergangs und selten Zugverkehr), bewusste Regelverstösse
 - Regelverstoss --> Ungeduld, rasche Zielerreichung, Zug ist bereits vorbei und die Lichter blinken immer noch --> «es muss ein Defekt vorliegen» (... dann kommt der zweite Zug)
 - Herdentrieb: Nachfahren, auch wenn der vordere einen Verstoss ausführt
 - Druck von hinten
- Ausführen
 - Abwürgen des Fahrzeugs, es kommt zu einem Rückstau (ad hoc)
- Thema Ablenkung

- Smartphone und BUe: generell gilt, dass Nebenaufgaben die Fehlerhäufigkeit erhöhen
- Ablenkung durch den Fokus auf den Verkehr im Vordergrund. Fokus auf das Fahrzeug vorne --> merken nicht, dass sie zwischen den Schranken stehen bleiben.
- Fahrerinterviews (22)
- Detaillierte Einzelfall-Analyse (BUe-Unfall in Interlaken)
- Experteninterviews

Anmerkungen/Fazit EBP

- Kognitives Modell als eine Grundlage für die Strukturierung zum Verhalten beim Befahren des BUe; auch geeignet als Strukturierung für Massnahmen (Ansatzpunkte)
- Analyse der Unfalldaten ergibt keine neuen Erkenntnisse
- Fahrerinterviews: bestätigen gewisse Lücken (Wissen) und Verhaltensweisen
- Experteninterviews: einzelne Hinweise, aber sehr heterogen, keine konsolidierte Meinung

Ein risikobasiertes Verfahren zur Sicherheitsbeurteilung von Bahnübergängen, 2013 [31]

Dissertation, 216 Seiten

Umfangreiche Auslegeordnung zu bestehenden Untersuchungen und Risikomodellen

- Niederlande, 2004 (n = 100)
 - Unbeabsichtigte Fehlhandlungen: 53%
 - Fehler bei der Wahrnehmung: 22%
 - Äussere Einflüsse (Rückstau, Fahrzeugdefekt, Glätte): 21%
 - Falsche Informationsverarbeitung: 10%
 - Absichtliche Fehlhandlungen: 40%
 - Fahrlässiges Verhalten von Bahnmitarbeitern: 6%
 - Technische Fehler: 1%
- Grossbritannien, 2000 bis 2009 (n = 161)
 - Unbeabsichtigte Fehlhandlungen: 46%
 - Absichtliche Fehlhandlungen: 24%
 - Witterungsbedingungen zu wenig berücksichtigt: 15%
 - Steckenbleiben (Kuppe/Wanne): 9%
 - Fahrzeugschaden, Verkehrsunfall: 5%
 - Bahnseitige Ursachen., 5%
 - Suizid und unklar: 15%
- Zusammenhang von Vorsperrzeit und Fehlverhalten
 - Häufigkeit einer Missachtung: ab einer Schwelle wird eine lineare Zunahme, abhängig von der Sicherungsart und Verkehrsart (Strassenverkehr, Fussgänger) postuliert.
- Soziale Kontrolle spielt keine wesentliche Rolle bei motorisiertem Strassenverkehr
- Nähe zu Bahnhöfen und Haltepunkten: Untersuchungen zeigen die Tendenz zu häufigerer Fehlhandlung (teilweise deutlich), die Ergebnisse sind jedoch zu wenig gesichert.
- Weiteres zum Verhalten
 - Fehlerwahrscheinlichkeiten im Entscheidungsbereich werden zu je etwa 50% auf absichtlich und unabsichtlich aufgeteilt (abhängig noch von der Sicherungsart)

- Unabsichtliches Verhalten: Einfluss von Kurven
- Kreuzungen und Einmündungen: besonders heikel, wenn der BUe-Benutzer keinen Vortritt hat und die Aufmerksamkeit auf den andern Verkehr lenken muss
- Faktor 5 bei der Grundgefährdung ansetzen (Erhöhen der Fehlerwahrscheinlichkeit), wenn der betreffende Verkehrsstrom Wartepflichtig ist (--> z.B. Kreuzung vor dem BUe ohne Vortritt).
- Untersuchung in Schweden: bei Parallelführung von Schiene und Strasse wurde eine 7x höhere Unfallzahl bei einer Annäherung des Zuges von hinten gegenüber einer Annäherung von vorne festgestellt.
- Sichteinschränkung hat verschiedene Effekte: negativ --> schlechtes Erkennen des BUe; positiv --> vorsichtigeres Verhalten. Gute Sicht provoziert eine Risikokompensation.

Sicherheit an Bahnübergängen (Forschungsbericht der Deutschen Versicherungswirtschaft), 2016 [30]

Forschungsbericht, 202 Seiten

- Breite Literaturrecherche zu Risikoeinflussfaktoren und Ansätzen.
- Zusammenfassende Aussage: Sicherheitsmassnahmen sollen sich am Risiko ausrichten, die Betrachtung soll die örtlichen Verhältnisse berücksichtigen, statistische Daten sollen mit Expertenschätzungen ergänzt werden, Fussgänger und Radfahrer sollen getrennt betrachtet werden, das Verfahren soll Risiken an bestehenden BUe aufzeigen und als Grundlage für die Massnahmenbeurteilung dienen
- Umfangreiche Datenanalyse zum «BUe-System» (viele Daten), aber die Unfalldatenbasis ist eher klein (Verschnitt von Infrastrukturdaten und Unfällen basiert auf 95 Unfällen). Unter Anderem werden auch Daten von Versicherungen verwendet, sie können jedoch für die Risikomodellierung nicht verwendet werden (Umfang, Detaillierung, Auswertbarkeit)
- (Semi)-Quantitatives Modell
 - Sicherungsart
 - Streckenklasse Bahn
 - Strassenklasse
 - Strassenoberfläche
 - Kreuzungswinkel
 - Anzahl Gleise
 - Fahrstreifen
 - Gehweg
 - Radverkehrsführung
 - Kurvigkeit
 - Längsneigung
 - Knotenpunkt
 - Bahnhofsnähe
 - Geschwindigkeit Bahn
- Sehr detaillierte quantitative Elemente werden mit Expertenschätzungen kombiniert
- Exemplarische Massnahmenbeurteilung durchgeführt

Anmerkungen/Fazit

- Die zusammenfassenden Erkenntnisse der Literaturrecherche stimmen «ein zu eins» mit unserem Vorgehen überein.
- Die Analyse als Grundlage des Modells ist sehr detailliert. Das Modell selbst ist dann aber ein relativ einfaches Punktesystem. Wieweit dieses mit den tatsächlichen Risiken korreliert, ist fraglich.
- Zahlreiche nützliche Hinweise für die Quantifizierung

Das Kreuz mit dem Andreaskreuz – Eine Untersuchung über Konflikte an Bahnübergängen, 2006 [38]

Forschungsbericht, 231 Seiten

Den Kern bilden Auswertungen zu Unfalldaten des Jahres 2004 in Deutschland sowie umfangreiche Befragung zum Nutzerverhalten.

- Querungshäufigkeit von Strassenverkehrsteilnehmern (n = 1241)

Häufigkeit der BUe-Benutzung	Autofahrer	Fussgänger
Täglich – bis mehrmals pro Woche	42%	19%
Einige Male pro Monat	20%	18%
Seltener oder nie	38%	63%

Unfalldaten

- Anteile der Verkehrsteilnehmer an BUe-Unfällen im Vergleich mit allen Unfällen (2004)

Häufigkeit	BUe-Unfälle (n= 247)	Alle Unfälle (n= 629'604)
Pkw	67%	63%
Lkw	8%	8%
Fussgänger	10%	6%
Fahrrad	6%	12%

- Anteile Personenschäden Seite Strassenverkehr und Bahn (2004)

Häufigkeit (n = 241)	Strassenverkehr	Personen im Zug
Todesopfer	100%	0%
Schwerverletzte	83%	17%
Leichtverletzte	47%	53%

- Kinder und Jugendliche sind tendenziell unterdurchschnittlich involviert
- Anteil der getöteten Teilnehmer des Strassenverkehrs (n = 55)
 - Pkw = 42%
 - Radfahrer = 13%
 - Fussgänger = 35%
- Die Untersuchung liefert keine differenzierten Angaben zu Unfallursachen (mangels verwertbarer Inhalte in der Unfallstatistik)

Ergebnisse aus der Umfrage mit n = 1241

- Blinklichter
 - Blinkende Lichter werden häufig falsch interpretiert. Rund 40% interpretieren das blinkende rote Licht als Warnhinweis. Das Wissen um die richtige Bedeutung steigt mit zunehmender Nutzungsfrequenz.
 - 8% erachten das Durchfahren bei sich senkenden Schranken noch als rechtens. Das korrekte Wissen steigt mit zunehmender Nutzungsfrequenz
- Umfahren von Halbschranken. Geschlossenen Halbschranken darf man in eigener Verantwortung umfahren: 6% der Autofahrer stimmen zu, 5% wissen es nicht.
- Lichtsignal und Schranke
 - Das Blinklicht vermittelt die Information «Anhalten», die noch offene Schranke signalisiert «der Zug kommt noch nicht» --> widersprüchliche Signale --> Schwächung der generellen Akzeptanz von Blinklichtern
 - Der Aussage, solange die Schranken noch offen sind, darf man auch bei Blinklicht noch queren, stimmen 14% zu.
- Einschätzung der Autofahrer zur Gefährlichkeit (Häufigkeit der Nennung als «extrem gefährlich»)
 - Halbschranke umfahren: 65% (--> 35% nicht «extrem gefährlich»)
 - Unter sich senkender Schranke durchfahren: 53%
 - Bei gerade einsetzendem Licht aber noch offenen Schranken queren: 33% (--> 67% nicht «extrem gefährlich»)
- Wenn an einem BÜ die Schranken oben sind, bin ich völlig sicher, dass kein Zug kommt:
 - Stimmt genau, Zustimmung 26%
 - Stimmt weitgehend: 52%
- Beim Überqueren eines BÜ mit Blinklicht fühle ich mich ein wenig unsicher, ob auch wirklich kein Zug kommt, wenn das Lichtsignal dunkel ist:
 - Stimmt genau: 9%
 - Stimmt weitgehend: 49%
- Aussage zur Sperrzeit: «Gewartete Zeit ist multiplizierte Zeit» --> überproportionaler Effekt
- Sich ärgern bei Wartezeit vor geschlossener Schranke: Sehr häufig 9%, häufig 25%, manchmal 31%. Der Anteil «sehr häufig» steigt mit zunehmender Nutzungsfrequenz der BÜ
- Verhalten am BÜ Schranken
 - Als Autofahrer überquere ich BÜ auch dann noch, wenn sich bereits die Schranke senkt: Häufig: 2%, manchmal: 4%, in Ausnahmen: 10%
 - Als Autofahrer umfahre ich eine Halbschranke, wenn die Wartezeit schon sehr lange dauert und offensichtlich kein Zug kommt: Häufig: 2%, manchmal: 5%, in Ausnahmen 11%
 - Von Fußgängern werden sich senkende Schranken und Halbschranken etwas häufiger missachtet
- Verhalten am BÜ mit Lichtsignalen (nur Blinklicht)
 - Einen BÜ mit nur einem Lichtsignal quere ich, wenn das Licht erst kurze Zeit leuchtet: Häufig 3%, manchmal 6%, in Ausnahmen 16%

Diskussion von Verbesserungsmöglichkeiten basierend auf Engineering, Education, Enforcement. Aussagen:

- Verwirrende Vielfalt der optischen Reize an und im Umfeld der BUE (insbesondere innerorts) --> gute Sichtbarkeit des BUE ist wichtig.
- In offenerer Situation: rechtzeitige Wahrnehmbarkeit und Begreifbarkeit --> Sichtbarkeit der Signalisierung und BUE bzw. Bahnelemente.
- Defizite durch unzureichende Pflege und Wartung der Signalisierung
- Unkenntnis oder fehlende Aufmerksamkeit --> verbessern der Sichtbarkeit von Signalen (z.B. auf gelbem Hintergrund)
- Steigerung der Kenntnis und Einhaltung relevanter Vorschriften, Aufklärung setzt die Kenntnis der Bedeutung der Regeln voraus --> Ausbildung
- Aufklärungsaktionen zielgerichtet durchführen --> bestimmte Personengruppen ansprechen, schwierig eine nachhaltige Wirkung zu erzielen
- Überwachung als zentrale Massnahme, ortsfeste Anlagen (können aber oft nicht Fussgänger und Radfahrer erfassen).

Fazit/Anmerkungen EBP

- Unfalldaten zeigen teilweise ein ähnliches Bild wie in der Schweiz
- Zahlreiche gut belegte Hinweise zu Motivation und Verhalten
- Mängel im Wissen, hohe Bereitschaft zu Regelverstössen, Misstrauen gegenüber Sicherung/Signalisierung, Fehleinschätzung oder Unwissen bezüglich den Gefahren
- Enforcement wird ausdrücklich angesprochen, ist aber offenbar noch nicht so Praxis (Stand 2006)

Einfluss der Ortskenntnis auf das Verhalten an Bahnübergängen, 2011 [50]

Artikel, 5 Seiten

- Bezieht sich vorwiegend auf nicht technisch gesicherte BUE in Deutschland.
- Ortskenntnis führt zu einem Wirkungsverlust statischer Verkehrszeichen (werden nicht mehr beachtet).
- Erkenntnisse
 - Keine signifikanten Unterschiede zwischen ortskundigen/unkundigen Fahrzeugführern
 - Der grosse Anteil der ortskundigen Fahrer an den Unfällen kommt daher, dass diese häufiger die entsprechenden BUE überqueren.
 - Ungenügendes Sichtverhalten der Verkehrsteilnehmer und Überschreiten der Geschwindigkeit korrelieren.
 - Bessere Sicht (grösseres Blickfeld) führt zu höherer Geschwindigkeit am BUE.
 - Stark die Geschwindigkeit reduzierende Massnahmen verschlechtern das Blickverhalten (Ablenkung).
 - Das Erscheinungsbild der BUE ist eine wichtige Informationsquelle für den Strassenverkehrsteilnehmer.
 - Übertragung der Erkenntnisse auf technisch gesicherte BUE ist fraglich (grundsätzlich andere Mechanismen beim Verhalten).

Anmerkungen/Fazit EBP

- Beschränkte Aussagekraft (--> AK)
- Der grosse Anteil ortskundiger Benutzer wird bei AK sehr hoch sein. Mit zunehmender Wertigkeit der Sicherung voraussichtlich abnehmend, da diese an höher klassierten Strassen mit zunehmend überregionalem Verkehr eingesetzt werden.

- Aussage zu Ortskundigkeit und statischen Signalen --> Gewöhnungseffekt

Risikofaktoren erkennen und berücksichtigen, 2013 [52]

Artikel, 6 Seiten

- 100 Unfallberichte untersucht
- Blinklichter und Lichtzeichen (ohne Schranke)
 - Kritische Faktoren
 - Annäherung aus Kurven, Seitenstrassen (Kurve --> Konzentration auf Kurvenfahrt, weniger vorausschauend)
 - Komplexe Verkehrssituationen
 - Abbiegevorgänge an Kreuzungen, Einmündungen (Fahrer konzentrieren sich auf den Strassenverkehr)
 - Massnahmen
 - Höhere Sicherungsart
 - Besonders auffällige Gestaltung (übergrosse Lichtzeichen)
- Nicht technisch gesicherte BUe
 - Sichtmöglichkeiten und -weiten sind zentral
 - Kritisch: spitzwinkliges Befahren
 - Fussgänger, Radfahrer verhalten sich anders
 - Kritisch: nachträglich angelegte Fusswege ohne eigene Sicherung, einfach umgehbare Sicherungen
- Erschwerte Räumung nach dem BUe (Fahrzeug steht auf BUe)
 - Einmündung (die andere Strasse ist vortrittsberechtigt)
 - Engstelle oder Baustelle nach dem BUe
- Schadensausmass
 - Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs ist massgebender Einflussfaktor

Anmerkungen/Fazit EBP

- Kritische Einflussfaktoren bei Blinklichtern decken sich mit andern Quellen
- Schadensausmass in Abhängigkeit der Geschwindigkeit ist nachvollziehbar

Bahnübergänge im Spiegel der Jahreszeiten, 2011 [53]

Artikel, 6 Seiten

- Jahreszeitliche Auswirkungen auf den Strassenverkehr
 - Beeinflussen Sicherheit des Bahnbetriebs direkt
- Winter
 - Schnee und Eis verringern Haftreibungsbeiwert, Bremswege
 - Erschwerte Fahrt durch den Gefahrenbereich, Gefahr des Festfahrens
 - Erkennbarkeit der Fahrbahnmarkierungen
 - Schnee Ansammlungen an den Strassenrändern verringern die Fahrbahnbreite
 - Schneehaufen durch Winterräumung als Sichtbehinderung

- Erhöhtes Verkehrsaufkommen in Schneesport Schneesportsaison
- Frühjahr
 - Wasseransammlungen durch Tauwetter (ablenken, längerer Bremsweg)
 - Beginnender Bewuchs --> Sichtbehinderungen
- Sommer
 - Schnell wachsende Nutzpflanzen --> Sichtbehinderungen
 - Landwirtschaftlicher Verkehr mit grossen und langsamen Fahrzeugen
 - Sommerliche Hauptsaison --> Verkehrsaufkommen in Ausflugsgebieten
- Herbst
 - Sichtbehinderung durch Nebel
 - Starke Niederschläge

Anmerkung/Fazit EBP

- Generelle Einflussfaktoren, kaum nutzbar für lokales Risikomodell
- Nicht erwähnt:
 - Schnee in Gefälle/Steigung --> in den BUe rutschen, Steckenbleiben
 - Schneeräumungsfahrzeuge sind besonders heikel für das Steckenbleiben

Zürich Tiefenbrunnen, Videoanalysen Niveauübergang, 25.03.2014 [28]

Präsentation, 14 Folien

- Situation
 - Schrankenanlage, eingleisige Strecke, spitzer Kreuzungswinkel, innerstädtisch, Fussgänger, Radfahrer, Autos
 - Bahnhofsnah, lange Sperrzeiten (Kreuzungen in Tiefenbrunnen), knapper Wartebereich zur Seefeldstrasse
- Beobachtungen an 4 Tagen je 13 Stunden tagsüber
 - Beobachtungen: 31 x Blinklichtsignal durch Motorfahrzeuge missachtet, 15 x Fussgänger und Radfahrer, Querungen auch bei sinkender Schranke

Anmerkung/Fazit EBP:

- Ortskenntnis ist meist zu vermuten --> man weiss, dass es lange gehen kann (Beispiel des Lieferwagens zur Anlieferung, Personen, die noch rasch hinüberrennen)
- Trambetrieb auf der Seefeldstrasse und Abbiegespur --> vor der Barriere haben knapp zwei Autos Platz, Staubildung, Stress durch Trambetrieb
- Blinklichtsignale werden nicht so als zwingend erachtet wie Lichtsignale

Sicherheit an Bahnübergängen – Strassenseitige Gestaltung der Bahnübergänge in der Praxis, Teil1 und Teil 2, Bahn Fachverlag, Mai und Juni 2009 [51]

Zwei Artikel, insgesamt 13 Seiten

- Ankündigung

- In der Praxis: Ankündigung vollständig/teilweise unterlassen, Zahl der Baken heruntergesetzt (vor, allem wenn im Vorfeld Kreuzungen und Einmündungen sind)
- Sorgfältige Auswahl der Standorte der Verkehrszeichen (Sichtbarkeit)
- Frühzeitig Ankündigung
- Korrekte Beschilderung (Vortritt Schienenverkehr vs. Vortritt Strassenverkehr)
- Häufungen und sich widersprechende Verkehrszeichen sollen vermieden werden
- Kennzeichnung und Sicherung
 - Mindestausstattung an Bahnübergängen (beidseitiges Aufstellen)
 - Sicherung der Seitenwege wird in der Praxis oft vergessen
 - Sichtbarkeit (Sichtbeziehung in der Praxis oft durch Bewuchs beeinträchtigt)
 - Konsistente Gestaltung der Sicherungseinrichtungen
 - Situation muss schnell erfassbar und begreifbar sein --> Häufung von Verkehrszeichen vermeiden
 - Wiedererkennungseffekt durch einheitliche Gestaltung gleicher Bahnübergänge
- Bauliche Gestaltung
 - Befahrbarkeit sicherstellen (Fahrbahnzustand und -breite, Eckausrundung, Entwässerung)
 - In der Praxis häufig zu geringe Fahrbahnbreite / fehlende Eckausrundungen
 - Rechtwinklige Kreuzungen der Gleise für Fahrradfahrer besser
 - Ausreichende Räumstrecke (verhindern des verkehrsbedingten Steckenbleibens) --> Bushaltestellen, Fussgängerstreifen, Knotenpunkte etc. Vermeiden
 - Vor dem Bahnübergang endende Fusswege und damit erforderlicher Seitenwechsel erhöhen die Gefährdung
 - Fehlende Fusswege und deren Sicherung sind gängiges Problem in der Praxis (Fussgänger überqueren unkoordiniert den BUE was die Aufmerksamkeit aller Verkehrsteilnehmer beansprucht)
- Bauzustände und Beseitigung
 - Probleme: Temporäre LSA, zusätzliche Verkehrsschilder oder das Entfernen der Verkehrsschilder

Anmerkung/Fazit EBP:

- Darstellung einer Best Practice bzw. der kritischen Punkte im Sinne von Schwachstellen
- Diverse risikoerhöhende Aspekte und Ansätze zu Verbesserungen

Wahrnehmung und Verhalten am Bahnübergang. Bahnfachverlag Deine Bahn, 2017 [49]

Artikel, 6 Seiten

- Modell der kognitiven Schritte aus Sicht eines BUE-Benützers. Massnahmenansätze werden auf die Schritte bezogen mit dem Ziel, dass die Schritte korrekt und zuverlässig ablaufen können.
- Schritte
 - Detektion: Bahnübergangssicherung/Zug muss gut sichtbar sein, sich abheben von der Umgebung

- Informationsverarbeitung: Ablenkungsquellen/-einflüsse, unmissverständliche Informationen
- Wissensabruf: Weiterverarbeitung der Sinneseindrücke empfindlich gegenüber Ablenkungen, korrektes Wissen muss in Langzeitgedächtnis gespeichert & abrufbar sein
- Bildung einer Handlungsintention: erlerntes Fehlverhalten oder bewusste Regelverstöße (aufgrund von Ungeduld), fehlerhafte Annahmen (nur 1 Zug passiert geschlossene Barrieren, etc.).
- Handlungsausführung: motorische Ausführung der Handlung ist fehlerhaft (abwürgen Motor, Stau, etc.)

Anmerkung/Fazit EBP:

- Mehrfach zitiertes Modell der kognitiven Schritte, angepasst an die Fragestellung der BUe
- Geeignet für die Strukturierung von Massnahmen bzw. wo sie wann ansetzen

Kenntnisstand und LenkerInnenausbildung in Bezug auf Eisenbahnkreuzungen. Verkehrsinfrastrukturforschung, 2017 [47]

Bericht, 177 Seiten

- Befragung von Fahrschulen sowie Online-Studie
- Ergebnisse aus der Online-Studie
- BUe-Praxis: 29% der Fahrzeuglenker befahren weniger als 1x pro Monat einen BUe, 31% 1 bis 4 x pro Monat.
- Personen, die häufiger einen BUe überqueren, weisen ein signifikant höheres Wissen im Hinblick auf regelkonformes Verhalten auf als Personen, die nur selten einen BUe überqueren.
- Je länger der Führerschein besitzt wird, desto weniger korrektes Wissen ist vorhanden (Zusammenhang ist schwach)
- Unsicherheiten bestehen im Hinblick auf das korrekte Verhalten in der Annäherung auf den BUe (worauf muss man achten, was darf man, was nicht)
- Die vorliegenden Ergebnisse bestätigten die Erkenntnisse, dass bei Lichtzeichenanlagen weit häufiger die Tendenz besteht, diese regelwidrig zu überqueren als bei Halbschranken und Vollschraken, unabhängig von der Wartezeit.
- Einerseits bestehen Unsicherheiten im Hinblick auf Verhaltensregeln an Eisenbahnkreuzungen, andererseits liegt teilweise die Bereitschaft vor, regelwidrig zu handeln.

Anmerkungen/Fazit EBP:

- Interessant ist der Umstand, dass Österreich eine höhere Dichte an BUe aufweist als die Schweiz, aber trotzdem 60% der Strassenverkehrsteilnehmer nicht mehr als 1 bis 4 x pro Monat einen BUe quert. Letztlich ergibt sich eine relativ kleine Praxis, die in der Schweiz noch kleiner sein dürfte.
- Zwei Faktoren: Unwissenheit und Bereitschaft zu regelwidrigem Verhalten.

Verhalten von Strassenbenützern an Eisenbahnkreuzungen und Bahnübergängen [48]

- Durch bewusstseinsschaffende Massnahmen gegen «die Macht der Gewohnheit» ankämpfen
- Überblick über Fehlverhalten an BUe erlangen und Ursachen je nach BUe-Art bekämpfen
- Empfehlung: Planung, Durchführung, Evaluierung
- Forschungsprojekt zu optimaler Anordnung von Rüttelstreifen

- Kostengünstig, einfach
- Optisch, haptisch
- Signifikante Reduzierung der Geschwindigkeit (auch langfristig)
- Geeignet für nicht technisch gesicherte BUE und ausserorts (Lärmbelastung)
- Rotlichtakzeptanz
 - Ab wann wird Wartezeit als unzumutbar wahrgenommen?
 - Bei LZA gibt es Bereitschaft auch 40-50s nach Beginn Rotlichtphase den BUE zu überqueren
 - Empfehlung: Rotlichtüberwachung zu variieren (inkl. Attrappen) + Strafe erhöhen
- Lenkerausbildung von Bedeutung

Analyse Optimierungspotential Bahnübergangssicherung, 2019 [29]

Bericht, 159 Seiten

- Fokus auf die Bahnübergangssicherung
- Risikomodell für eine quantitative Risikoanalyse postuliert, das sich aber als nicht anwendbar herausstellt
- Einige Kennzahlen aufgrund von Auswertungen
 - Getötete pro Unfall: 0.32 bis 0.57
 - Unfälle pro 1000 BUE: 4.29
- Verhalten aus verkehrspsychologischer Sicht nach dem bekannten Modell gemäss Grippenkoven: Detektion / Informationsverarbeitung / Wissensabruf / Handlungsintention / Handlung ausführen
 - Unbeabsichtigtes, erlerntes und bewusstes Fehlverhalten in den genannten Schritten
 - Bewusste Regelverstösse: Ungeduld, Unterschätzung der Gefahr, Fehlannahmen zur Zeitdifferenz zwischen Blinken und Schliessen der Barriere
- Zahlreiche Einflussfaktoren aus einer technischen Sicht aufgelistet (ohne sichtbaren Bezug zum Modell von Grippenkoven)
- Umfangreiche qualitative Massnahmendiskussion zu Optimierungsmöglichkeiten und Massnahmen
- Beispiel Rotlichtüberwachung am BUE: mit der BUE-Sicherung verbunden, Kostenschätzung 50 bis 60'000 €, Anwendung in Frankreich
- Nutzwertanalyse zu den Massnahmen auf einem qualitativen Niveau
- Anmerkungen Interpretation EBP:
 - Nutzbare Grundlage für die Auslegeordnung der Massnahmen und die Bewertung von ausgewählten Massnahmen. Teilweise mit Kostenangaben.

A3 Risikoanalyse

A3.1 Unfallhäufigkeit

Die Unfallhäufigkeit für die einzelnen BUe-Typen lässt sich ausreichend zuverlässig aus der Unfallstatistik mittels Trendbetrachtung für das Jahr 2019 ableiten (vgl. Abbildung 3).

BUe-Typ	Unfallhäufigkeit pro Jahr im Netz im 2019	Mittlere Unfallhäufigkeit pro BUe und Jahr im 2019
AK	3.3	0.0043
BSA	24.5	0.0646
HSCHA	4.0	0.0216
LSA/VRA	13.6	0.0473
StrB	1.7	0.0072
SCHA	17.2	0.0079
Gesamt	64.3	0.0159

Tabelle 13: Unfallhäufigkeit pro BUe-Typ, Werte für die Risikoanalyse

A3.2 Schadensausmass

Wie in Kapitel 6.1 erläutert, bietet die Unfallstatistik für seltene schwere Unfälle keine ausreichende Grundlage. Dieser Risikoanteil kann jedoch nicht vernachlässigt werden, weshalb er ergänzend abgeschätzt und im Gesamtrisiko berücksichtigt wird.

Den Ausgangspunkt bilden die 969 erfassten Unfälle in der Datenbank des BAV. Für die Ausmassabschätzung werden 6 Ausmassklassen gebildet und alle Unfälle gemäss Unfallstatistik den Klassen zugeordnet. Das Ausmass enthält OAE inkl. Sachschäden. Bei Todesopfern, die auf grobe Verstösse zurückzuführen sind, werden die Grenzkosten auf CHF 1.3 Mio. (auf 20%) reduziert.

Ausmassklassen	Anzahl pro Klasse (Statistik)	Verteilung in % (Statistik)	Festlegung für die Risikoanalyse	Klassenwert für das Ausmass (CHF)	Beitrag zum gesamten Ausmass (CHF)
bis 10'000 CHF	441	45.5%	44.05%	4'000	1'762
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	369	38.1%	39.27%	40'000	15'709
0.1 bis 1 Mio. CHF	114	11.8%	11.73%	400'000	46'930
1 bis 10 Mio. CHF	42	4.3%	4.65%	4'000'000	185'910
10 bis 100 Mio. CHF	3	0.3%	0.27%	20'000'000	53'608
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.03%	130'000'000	38'717
Total	969	100.0%	100.0%		342'636

Tabelle 14: Ausmassverteilung bei allen BUe-Unfällen gemäss Statistik und Verteilung für die Risikoanalyse

Das mittlere Schadensausmass über alle BUe-Typen beträgt CHF 342'636 pro Unfall.

Auf der Ebene aller Unfälle ergeben sich nur geringfügige Verschiebungen bei der Verteilung zwischen Unfallstatistik und Festlegung für die Risikoanalyse. Dies ändert sich bei den einzelnen BUe-Typen, weil dort die Zahl der Unfälle kleiner ist und somit Zufälligkeiten eine grössere Rolle spielen. Das gleiche Prozedere wie bei allen BUe in Tabelle 14 wird auf der Ebene jedes einzelnen BUe wiederholt.

AK	Anzahl pro Klasse (Statistik)	Verteilung in % (Statistik)	Festlegung für die Risikoanalyse	Klassenwert für das Ausmass (CHF)	Beitrag zum gesamten Ausmass (CHF)
bis 10'000 CHF	68	51.9%	50%	4'000	2'000
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	32	24.4%	30%	40'000	12'000
0.1 bis 1 Mio. CHF	16	12.2%	14%	400'000	56'000
1 bis 10 Mio. CHF	14	10.7%	5.70%	4'000'000	228'000
10 bis 100 Mio. CHF	1	0.8%	0.27%	20'000'000	54'000
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.03%	130'000'000	39'000
Total	131	100.0%	100.00%		391'000
BSA					
bis 10'000 CHF	168	49.7%	49%	4'000	1'960
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	125	37.0%	37%	40'000	14'800
0.1 bis 1 Mio. CHF	40	11.8%	11%	400'000	44'000
1 bis 10 Mio. CHF	4	1.2%	2.80%	4'000'000	112'000
10 bis 100 Mio. CHF	1	0.3%	0.18%	20'000'000	36'000
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.02%	130'000'000	26'000
Total	338	100.0%	100.00%		234'760
HSCHA					
bis 10'000 CHF	15	41.7%	42%	4'000	1'680
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	15	41.7%	42%	40'000	16'800
0.1 bis 1 Mio. CHF	3	8.3%	10%	400'000	40'000
1 bis 10 Mio. CHF	3	8.3%	5.60%	4'000'000	224'000
10 bis 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.36%	20'000'000	72'000
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.04%	130'000'000	52'000
Total	36	100.0%	100.00%		406'480
LSA					
bis 10'000 CHF	109	45.2%	45%	4'000	1'800
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	94	39.0%	40%	40'000	16'000
0.1 bis 1 Mio. CHF	31	12.9%	12%	400'000	48'000
1 bis 10 Mio. CHF	6	2.5%	2.80%	4'000'000	112'000
10 bis 100 Mio. CHF	1	0.4%	0.18%	20'000'000	36'000
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.02%	130'000'000	26'000
Total	241	100%	100%		239'800
StrB					
bis 10'000 CHF	20	60.6%	60%	4'000	2'400
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	12	36.4%	30%	40'000	12'000
0.1 bis 1 Mio. CHF	1	3.0%	7%	400'000	28'000
1 bis 10 Mio. CHF	0	0.0%	2.80%	4'000'000	112'000
10 bis 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.18%	20'000'000	36'000
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.02%	130'000'000	26'000
Total	33	100%	100.00%		216'400
SCHA					
bis 10'000 CHF	60	34.3%	34%	4'000	1'360
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	77	44.0%	44%	40'000	17'600
0.1 bis 1 Mio. CHF	23	13.1%	13%	400'000	52'000
1 bis 10 Mio. CHF	15	8.6%	8.50%	4'000'000	340'000
10 bis 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.45%	20'000'000	90'000
über 100 Mio. CHF	0	0.0%	0.05%	130'000'000	65'000
Total	175	100%	100.00%		565'960

Tabelle 15: Ausmassverteilung pro BUe-Typ

A3.3 Risikoermittlung

Die Häufigkeit pro Jahr und BUe-Typ ist aus der Unfallstatistik hergeleitet und die Verteilung auf die Ausmassklassen ist gemäss Tabelle 15 bekannt. Somit kann das MKR pro BUe-Typ ermittelt werden.

Alle BUE-Typen	Häufigkeit 2019	Klassenwert	MKR (ohne Ri- sikoaversion)	Risiko- aversion	MKR (mit Ri- sikoaversion)
bis 10'000 CHF	28.3230	4'000	113'292	1	113'292
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	25.2530	40'000	1'010'120	1	1'010'120
0.1 bis 1 Mio. CHF	7.5440	400'000	3'017'600	1	3'017'600
1 bis 10 Mio. CHF	2.9885	4'000'000	11'954'000	1	11'954'000
10 bis 100 Mio. CHF	0.1724	20'000'000	3'447'000	1.4	4'825'800
über 100 Mio. CHF	0.0192	130'000'000	2'489'500	3.6	8'962'200
Total oder Mittelwert	64.3000		22'031'512	1.36	29'883'012
AK					
bis 10'000 CHF	1.6500	4'000	6'600	1	6'600
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	0.9900	40'000	39'600	1	39'600
0.1 bis 1 Mio. CHF	0.4620	400'000	184'800	1	184'800
1 bis 10 Mio. CHF	0.1881	4'000'000	752'400	1	752'400
10 bis 100 Mio. CHF	0.0089	20'000'000	178'200	1.4	249'480
über 100 Mio. CHF	0.0010	130'000'000	128'700	3.6	463'320
Total oder Mittelwert	3.3000		1'290'300	1.31	1'696'200
BSA					
bis 10'000 CHF	12.0050	4'000	48'020	1	48'020
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	9.0650	40'000	362'600	1	362'600
0.1 bis 1 Mio. CHF	2.6950	400'000	1'078'000	1	1'078'000
1 bis 10 Mio. CHF	0.6860	4'000'000	2'744'000	1	2'744'000
10 bis 100 Mio. CHF	0.0441	20'000'000	882'000	1.4	1'234'800
über 100 Mio. CHF	0.0049	130'000'000	637'000	3.6	2'293'200
Total oder Mittelwert	24.5000		5'751'620	1.35	7'760'620
HSCHA					
bis 10'000 CHF	1.6800	4'000	6'720	1	6'720
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	1.6800	40'000	67'200	1	67'200
0.1 bis 1 Mio. CHF	0.4000	400'000	160'000	1	160'000
1 bis 10 Mio. CHF	0.2240	4'000'000	896'000	1	896'000
10 bis 100 Mio. CHF	0.0144	20'000'000	288'000	1.4	403'200
über 100 Mio. CHF	0.0016	130'000'000	208'000	3.6	748'800
Total oder Mittelwert	4.0000		1'625'920	1.40	2'281'920
LSA					
bis 10'000 CHF	6.1200	4'000	24'480	1	24'480
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	5.4400	40'000	217'600	1	217'600
0.1 bis 1 Mio. CHF	1.6320	400'000	652'800	1	652'800
1 bis 10 Mio. CHF	0.3808	4'000'000	1'523'200	1	1'523'200
10 bis 100 Mio. CHF	0.0245	20'000'000	489'600	1.4	685'440
über 100 Mio. CHF	0.0027	130'000'000	353'600	3.6	1'272'960
Total oder Mittelwert	13.6000		3'261'280	1.34	4'376'480
StrB					
bis 10'000 CHF	1.0200	4'000	4'080	1	4'080
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	0.5100	40'000	20'400	1	20'400
0.1 bis 1 Mio. CHF	0.1190	400'000	47'600	1	47'600
1 bis 10 Mio. CHF	0.0476	4'000'000	190'400	1	190'400
10 bis 100 Mio. CHF	0.0031	20'000'000	61'200	1.4	85'680
über 100 Mio. CHF	0.0003	130'000'000	44'200	3.6	159'120
Total oder Mittelwert	1.7000		367'880	1.38	507'280
SCHA					
bis 10'000 CHF	5.8480	4'000	23'392	1	23'392
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	7.5680	40'000	302'720	1	302'720
0.1 bis 1 Mio. CHF	2.2360	400'000	894'400	1	894'400
1 bis 10 Mio. CHF	1.4620	4'000'000	5'848'000	1	5'848'000
10 bis 100 Mio. CHF	0.0774	20'000'000	1'548'000	1.4	2'167'200
über 100 Mio. CHF	0.0086	130'000'000	1'118'000	3.6	4'024'800
Total oder Mittelwert	17.2000		9'734'512	1.36	13'260'512

Tabelle 16: Ermittlung des monetarisierten kollektiven Risiko (MKR) in CHF/Jahr

Das Ergebnis der Risikoanalyse lässt sich für die Beurteilung der Plausibilität wie folgt darstellen:

Ausmassklassen in CHF	Typisches Schadensausmass, ausgedrückt als Personenschaden	Unfallhäufigkeit 2019 (Trendwert) --> erwartete Unfälle pro Jahr
bis 10'000 CHF	Ausschliesslich Sachschaden	28.32
10'001 bis 0.1 Mio. CHF	wenige leichtverletzte Personen	25.25
0.1 bis 1 Mio. CHF	wenige schwerletzte Personen	7.54
1 bis 10 Mio. CHF	1 Todesopfer	2.99
10 bis 100 Mio. CHF	einige Todesopfer	0.17 (ca. 1 in 5 Jahren)
über 100 Mio. CHF	> 15 Todesopfer	0.02 (ca. 1 in 50 Jahren)
bis 10'000 CHF		64.3 pro Jahr

Tabelle 17: Netzweite Unfallhäufigkeit (Werte für alle BU «Häufigkeit 2019» in Tabelle 16)

A4 Beschreibung des Risikomodells

A4.1 Evaluation der Einflussfaktoren für das Risikomodell

Die Zusammenstellung basiert auf Erkenntnissen aus der Analyse und Lektüre der Unfalldaten und -beschreibungen sowie aus Literaturquellen.

Die Spalte RM zeigt an, ob der Parameter im Risikomodell berücksichtigt wird (X).

Strassenverkehr

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Personenwagen, Motorräder	<ul style="list-style-type: none"> – Massgebende Gruppe der Verkehrsteilnehmer, die in eine Kollision verwickelt ist – Verkehrsstärke --> Einfluss auf die Unfallhäufigkeit – Basisparameter im Risikomodell: «Strassenverkehr (DTV)» 	X
Schwerverkehr	<ul style="list-style-type: none"> – Einfluss auf den Ereignisablauf und die Schwere des Unfalls (auch bezüglich Personen im Zug) – Im Risikomodell nicht differenziert; die Anzahl ist im DTV enthalten 	–
Fussgänger, Fahrräder	<ul style="list-style-type: none"> – Seltener in Ereignisse verwickelt, aber meist schwere Folgen – Verhaltenskritisch, sensitiv auf Faktoren wie Sperrzeiten (Umgehen von Schranken, Regelverletzungen) – Verhaltensbeeinflussender Parameter im Risikomodell: «Langsamverkehr» 	X

Bahnbetrieb

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Gattung der Züge: Reise/Güterzüge	<ul style="list-style-type: none"> – Differenzierung ist kaum relevant (statistisch leicht höheres mittleres Schadensausmass bei Güterzügen). – Der Anteil Unfälle mit Güterzügen beträgt rund 3% (wenig Güterverkehr auf Strecken mit vielen BUe) 	–
Anzahl Züge	<ul style="list-style-type: none"> – Relevant für die Häufigkeit einer Gefährdung der Verkehrsteilnehmer – Basisparameter «Zugdichte» 	X
Geschwindigkeit der Züge	<ul style="list-style-type: none"> – Die Geschwindigkeit korreliert mit andern Einflussfaktoren (z.B. BUe-Typ) – Kollisionswahrscheinlichkeit (kleine Geschwindigkeit --> tiefere Wahrscheinlichkeit) – Einfluss auf das Verhalten der BUe-Benutzer (kleine Geschwindigkeit --> riskanteres Verhalten) – Einfluss auf das Schadensausmass im Strassenfahrzeug und im Zug – Basisparameter «Geschwindigkeit» 	X
Bahnbetriebsart Züge/Strassenbahnbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> – Unterschiedliches Geschwindigkeitsniveau und Bremsverhalten – Strassenbahn: tiefe Geschwindigkeit, kurze Bremswege – Korreliert mit der Einflussgrösse «Geschwindigkeit» 	–

Situative Bedingungen vor dem BUe, Annäherung

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Erkennbarkeit des BUe	<ul style="list-style-type: none"> – Signalisierung des BUe, andere konkurrierende Signalisierungen und Informationen, Erkennbarkeit von Gleisen und Schranken – Verhaltensparameter «Erkennbarkeit» 	X
Parallelführung Schiene/Strasse	<ul style="list-style-type: none"> – Zug und Strassenfahrzeug bewegen sich in die gleiche Richtung mit Abbiegen des Strassenfahrzeugs über den BUe --> übersehen des Zugs – Wenig Raum zwischen Strasse und Gleis, sodass es schwierig ist, eine klare Signalisierung und Schranken anzubringen – Merkmal im Verhaltensparameter «Komplexität in der Annäherung» 	x

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Kreuzungswinkel (spitzer Winkel / toter Winkel)	<ul style="list-style-type: none"> Bei AK und BSA: Zug und Strassenfahrzeug bewegen sich in die gleiche Richtung --> übersehen des Zugs Bei Schrankenanlagen: Grosse Distanz zwischen Schranken, erhöhte Gefahr des Einschliessens Merkmal im Verhaltensparameter «Komplexität in der Annäherung» 	x
BUE an oder in Kreuzung oder Kreisel	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhte Komplexität, mehrere zu beachtende Aspekte und Entscheidungen in kurzer Abfolge, Zusammenspiel mit weiteren Verkehrsteilnehmenden Korreliert mit BUE-Typ LSA und geringer Geschwindigkeit Merkmal im Verhaltensparameter «Komplexität in der Annäherung» 	x
Komplexität in der Annäherung	<ul style="list-style-type: none"> Aspekte und Kriterien: mehrere Strassen führen vor dem BUE zusammen, mehrere Fahrstreifen, Verkehrsführung, komplexe Strassensignalisierung In den Verhaltensparametern «Erkennbarkeit» und «Komplexität in der Annäherung» enthalten 	x
Gefälle vor dem BUE	<ul style="list-style-type: none"> In Kombination mit Witterung/Schnee --> in den BUE hineinrutschen Zu spezifische Eigenheit --> nicht im Risikomodell 	–
In Kurvenlage	<ul style="list-style-type: none"> Konzentration des Verkehrsteilnehmers auf den Strassenverlauf Verkehrsunfall vor dem BUE mit Stillstand auf den Gleisen Erhöhte Gefährdung allenfalls für lange Fahrzeuge in Kombination mit einer schmalen Strasse (tiefe Geschwindigkeit, Blockieren auf BUE) Keine Hinweise aus der Unfallstatistik --> nicht im Risikomodell 	–

Situative Bedingungen am BUE, Lokales Umfeld

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Innerorts/ausserorts	<ul style="list-style-type: none"> Beeinflusst den Verkehrsmix (weniger Radfahrer und Fussgänger ausserorts) Einfluss auf die Geschwindigkeit im Strassenverkehr und auch bahnseitig Korreliert mit andern Einflussgrössen (BUE-Typ, Geschwindigkeit, Erkennbarkeit, Komplexität) --> kein eigenständiger Parameter im Risikomodell 	–
Höhenlage (Schnee und Eis)	<ul style="list-style-type: none"> Unfall vor dem BUE, Hineinrutschen in den BUE, Steckenbleiben (insbesondere auch Schneeräumungsfahrzeuge) Zu spezifische Eigenheit --> nicht im Risikomodell 	–
Verkehr im unmittelbaren Umfeld des BUE	<ul style="list-style-type: none"> Fussgänger, Radfahrer, Ein-/Ausfahrten, Bushaltestelle etc. Spezifische Nutzungen: Gewerbezone mit Schwerverkehr, Schulen, Sportanlagen, Freizeitanlagen, Tourismus Verhaltensparameter «Umfeld» 	X
In / neben Bhf oder Haltestelle	<ul style="list-style-type: none"> Kann mit weiteren Einflussfaktoren korrelieren: Anzahl Gleise --> Distanz zwischen Schranken; lange Sperrzeiten (haltende und kreuzende Züge) Perron nahe am BUE: Verlassen des Perrons via BUE; Umgehen von Schranken mit der Absicht den Zug zu erreichen Merkmal im Verhaltensparameter «Umfeld» 	x
Weitere Einzelaspekte	<ul style="list-style-type: none"> Spezifische Benutzer aufgrund der Nähe zum BUE: Schulen, saisonale Nutzungen, etc. Teilweise im Verhaltensparameter «Umfeld» enthalten 	–

Situative Bedingungen am BUE, Strasse am BUE

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Starkes Dachgefälle	<ul style="list-style-type: none"> Steckenbleiben von Fahrzeugen mit geringer Bodenfreiheit (Schwertransporter, Tiefbettanhänger), überwiegend ein Thema mit Schwerverkehr Zu spezifische Eigenheit --> nicht im Risikomodell 	–
Strassenklasse	<ul style="list-style-type: none"> Indikator für verschiedene Einflussfaktoren: Strassenbreite, Verkehrsaufkommen Das Verkehrsaufkommen ist ein eigener Parameter 	–

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Führung der Fussgänger am BUE	<ul style="list-style-type: none"> - Gemeinsame oder abgegrenzte Verkehrsflächen - Logische Führung der Fussgänger, direkte gesicherte Wege - Einbindung in die Sicherung (Schraken, Blinklichter) - Sofern die Führung der Fussgänger zu einer Erhöhung der Komplexität für den Strassenverkehr führt, ist der Einfluss im Verhaltensparameter «Umfeld» enthalten 	–
Führung der Radfahrer am BUE	<ul style="list-style-type: none"> - Analog Führung der Fussgänger 	–

Situative Bedingungen am BUE, Bahnseitig

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
BUE-Typ	<ul style="list-style-type: none"> - Als zentrales Element der Strukturierung - Die einzelnen Typen korrelieren unterschiedlich mit zahlreichen Einflussfaktoren, welche die Unfallhäufigkeit und Schwere beeinflussen - Basisparameter «Basisrisiko» 	X
Anzahl Gleise	Verschiedene indirekte Einflüsse, die zusammenhängen <ul style="list-style-type: none"> - Grössere Distanz zwischen Schranken --> Potenzial des Einschliessens - Zugverkehr aus beiden Richtungen --> erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass mehr als ein Zug abgewartet werden muss --> Sperrzeit --> «riskanteres» Verhalten - Korreliert mit andern Einflussgrössen --> kein eigenständiger Parameter 	–
Sperrzeit	<ul style="list-style-type: none"> - Lange Sperrzeit kann Fehlhandlungen provozieren, bedingt Ortskenntnis und das Wissen, dass es lange dauern kann (--> Entscheidung in der Annäherung an den BUE). - Relevanter Einflussfaktor auf das Verhalten - Verhaltensparameter «Sperrzeit» 	X
Distanz zw. Schranken	<ul style="list-style-type: none"> - Hängt mit andern Einflussfaktoren zusammen - Korreliert mit andern Einflussgrössen --> kein eigenständiger Parameter 	–

Situative Bedingungen nach dem BUE, Räumbereich

Einflussgrösse	Erläuterung, Zusammenhänge, Einschätzung	RM
Komplexe Gesamtsituation unmittelbar nach dem BUE	<ul style="list-style-type: none"> - Anschliessende Verzweigung, Plätze, Zufahrten, Fussgängerstreifen, weitere Informationen/Werbung - Bindet die Aufmerksamkeit des Verkehrsteilnehmers, teilweise bereits vor dem Befahren des BUE, nimmt die Aufmerksamkeit weg vom BUE - Merkmal im Verhaltensparameter «Umfeld» 	x
Einmündung in stark befahrene Strasse, fehlender Wartebereich	<ul style="list-style-type: none"> - Bei fehlendem/knappem Warteraum --> Profilverletzung durch wartende Fahrzeuge (bei AK, BLA, HSCHA) - Aufmerksamkeit erfordert sowohl der Strassen- als auch der Bahnverkehr. Dabei spielt auch die Lage der Haltelinie eine Rolle (vor oder nach dem BUE) - Merkmal im Verhaltensparameter «Erschwernisse im Räumbereich» 	x
Staugefährdung	<ul style="list-style-type: none"> - Verkehrsaufkommen am BUE, Einmündung/Kreuzung (auch weiter entfernt vom BUE), Fahrbahnverengung, Baustelle nach dem BUE, etc. - Aufschliessen bei Kolonnenbildung und Einschliessen zwischen Schranken - Merkmal im Verhaltensparameter «Erschwernisse im Räumbereich» 	x
Enge Kurve / Abzweigung	<ul style="list-style-type: none"> - In Kombination mit schmalen Strassen und langen Fahrzeugen --> Blockieren des BUE, primär heikel bei AK, BLA, HSCHA - Teilweise im Verhaltensparameter «Umfeld» enthalten, kein expliziter Parameter im Risikomodell 	–

Verschiedene weitere Einflussfaktoren sind nicht explizit aufgeführt, weil sie aufgrund einer ersten Beurteilung nicht massgebend oder verwendbar sind.

A4.2 Basisparameter

BUe-Typ, Basisrisiko			
Beschreibung – Mit dem BUe-Typ wird das Basisrisiko festgelegt, das einen durchschnittlichen BUe dieses Typs repräsentiert. Darin enthalten sind die durchschnittlichen Eigenheiten des entsprechenden BUe-Typs.			
Anmerkungen – Im BUe-Typ sind implizit gewisse Einflussgrössen bereits enthalten bzw. der BUe-Typ korreliert teilweise mit den folgenden im Risikomodell enthaltenen Parametern: <ul style="list-style-type: none">▪ Zugdichte▪ Geschwindigkeit der Züge▪ Verkehrsaufkommen auf der Strasse			
Anwendung Klassierung/Zuordnung eines konkreten BUe			
BUe-Typen	Erläuterung		
AK, Andreaskreuz	Ausschliesslich mit einem Andreaskreuz gesichert		
StrB (Signal 1.18)	Ausschliesslich mit dem Signal «Strassenbahn» gesichert Sind zusätzlich Lichtsignale vorhanden, wird der BUe dem Typ BSA/LSA oder LSA/VRA zugeordnet		
BSA/LSA	Blinklichtsignal (Wechselblinker) und alternativ Lichtsignale mit zwei Kammern Darin enthalten sind BUe mit Lichtsignalen sofern der BUe nicht in einen Knoten integriert ist.		
LSA/VRA	Lichtsignalanlage, wenn der BUe zusammen mit einem Knoten geregelt wird Sind Schranken vorhanden, wird der BUe dem Typ SCHA zugeordnet		
VSCHA	Viertelschranke		
HSCHA	Halbschranke		
SCHA	Vollschranke		
– Beispiel: ein BUe wird bahnseitig im Strassenbahnbetrieb befahren. Strassenseitig ist as Signal 1.18 und eine Lichtsignalanlage mit Schranke vorhanden --> Klassierung für die Risikoabschätzung als SCHA			
Risikokennzahlen der BUe-Typen			
BUe-Typen	Häufigkeit/BUe und J	Ausmass mit Risikoaversion in CHF/Ereignis	MKR in CHF/Jahr
AK	0.0043	512'210	2'203
StrB (Signal 1.18)	0.0072	298'632	2'150
BSA/BLA	0.0646	316'926	20'473
LSA/VRA	0.0474	321'332	15'231
VSCHA	0.0485	316'926	15'371
HSCHA	0.0214	569'072	12'178
SCHA	0.0079	769'706	6'081

Zugdichte (f_1)	
Beschreibung – Die Zugdichte wird mit der Anzahl Züge pro Tag am BUe beschrieben. Sie enthält alle Zuggattungen.	
Anmerkungen – Die Zugdichte korreliert mit weiteren Eigenheiten wie die Anzahl Gleise (kein expliziter Parameter im Risikomodell) – Auf eine Differenzierung nach Zuggattungen wird verzichtet: Aus der Unfallstatistik ist ersichtlich, dass rund 97% der Kollisionen mit Reisezügen stattfinden. – Falls ein BUe ausschliesslich Rangierbetrieb aufweist, lässt sich dies ausreichend mit dem Parameter «Geschwindigkeit» erfassen. – Aufgrund der Erkenntnisse aus der Stichprobe wird der Einfluss Zugdichte – Unfallhäufigkeit nicht linear angenommen. Ähnlich wie bei Strassenverkehrsunfällen dürfte die Unfallhäufigkeit nicht proportional zu Verkehrsdichte ab- bzw. zunehmen. – Die angenommenen Mittelwerte für die Zugdichte stützen sich auf Stichproben der SBB, SOB, AB, BLS und RBS sowie Expertenschätzungen bei der Extrapolation auf das gesamte Netz.	
Anwendung – $f_1 = \left(\frac{Z_x}{Z_m}\right)^{0.5}$ – Mit <ul style="list-style-type: none"> ▪ Z_x = Anzahl Züge pro Tag am BUe X ▪ Z_m = mittlere Anzahl Züge des BUe-Typs Mittlere Anzahl Züge pro BUe-Typ	
BUe-Typen	Mittlere Zugdichte (Z/d)
AK	50
StrB (Signal 1.18)	90
BSA/LSA	90
LSA/VRA	90
VSCHA	90
HSCHA	90
SCHA	130

Geschwindigkeit (f_2)																	
Beschreibung – Die Geschwindigkeit der Züge entspricht der höchsten auftretenden Geschwindigkeit am BÜe. Sie beeinflusst die Kollisionshäufigkeit und das Schadensausmass																	
Anmerkungen und Überlegungen – Beeinflussung der Häufigkeit <ul style="list-style-type: none"> Bei kleinen Geschwindigkeiten wird generell angenommen, dass die Kollisionshäufigkeit sinkt, da die Schienenfahrzeuge häufig noch anhalten können. In der Literatur ist aber auch der gegenläufige Effekt beschrieben, dass BÜe-Benutzer sich riskanter verhalten, da sie die Gefahr aufgrund der kleinen Geschwindigkeit geringer einschätzen. – Beeinflussung des Schadensausmasses <ul style="list-style-type: none"> Basierend auf 81 Unfällen im Geschwindigkeitsbereich bis 100 km/h und mit vollständigen Daten lässt sich ein Zusammenhang von Geschwindigkeit und Schadensausmass A aufzeigen. Dieses steigt leicht exponentiell ($A = 0.130289e^{0.530338 \cdot v}$). – Unter Berücksichtigung der beiden Aspekte Häufigkeit und Schwere wird der Korrekturfaktor getrennt betrachtet: <ul style="list-style-type: none"> Kleinerer Einfluss auf die Häufigkeit --> proportional zu \sqrt{v} Grösserer Einfluss auf die Schwere --> direkt proportional zu v Zusammengefasst ergibt sich ein Geschwindigkeitseinfluss, der zwischen «proportional» und «quadratisch» liegt. – Die Geschwindigkeit korreliert u.A. mit der Betriebsform. Das Risikomodell verzichtet auf eine explizite Differenzierung nach Eisenbahn- und Strassenbahnbetrieb. Näherungsweise kann dies mit der Geschwindigkeit ausreichend abgedeckt werden. – Die angenommenen Mittelwerte für die Geschwindigkeit stützen sich auf Stichproben der SBB, SOB, AB, BLS und RBS sowie Expertenschätzungen bei der Extrapolation auf das gesamte Netz.																	
Anwendung – $f_{2-H} = \left(\frac{v_x}{v_m}\right)^{0.5}$ – $f_{2-A} = \left(\frac{v_x}{v_m}\right)$ – Mit <ul style="list-style-type: none"> f_{2-H} Korrekturfaktor für die Häufigkeit f_{2-A} Korrekturfaktor für das Ausmass v_x Geschwindigkeit am konkreten BÜe v_m Mittlere zulässige Geschwindigkeit des BÜe-Typs – Mittlere Geschwindigkeit v_m pro BÜe-Typ																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>BÜe-Typen</th><th>Mittlere zulässige Geschwindigkeit v_m (km/h)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AK</td><td>50</td></tr> <tr> <td>StrB (Signal 1.18)</td><td>30</td></tr> <tr> <td>BSA/BLA</td><td>50</td></tr> <tr> <td>LSA/VRA</td><td>40</td></tr> <tr> <td>VSCHA</td><td>50</td></tr> <tr> <td>HSCHA</td><td>80</td></tr> <tr> <td>SCHA</td><td>80</td></tr> </tbody> </table>		BÜe-Typen	Mittlere zulässige Geschwindigkeit v_m (km/h)	AK	50	StrB (Signal 1.18)	30	BSA/BLA	50	LSA/VRA	40	VSCHA	50	HSCHA	80	SCHA	80
BÜe-Typen	Mittlere zulässige Geschwindigkeit v_m (km/h)																
AK	50																
StrB (Signal 1.18)	30																
BSA/BLA	50																
LSA/VRA	40																
VSCHA	50																
HSCHA	80																
SCHA	80																


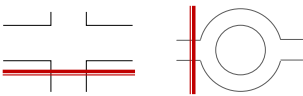

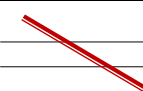
Verkehrsaufkommen (f_3)		
Beschreibung		
– Das Verkehrsaufkommen wird mit dem Durchschnittlichen Täglichen Verkehr beschrieben (DTV)		
Anmerkungen und Überlegungen		
<ul style="list-style-type: none"> – Untersuchungen zeigen, dass das Risiko mit steigendem Verkehr bezogen auf eine einzelne Fahrzeugbewegung abnimmt. Dies begründet sich u.A. darin, dass mit steigendem Verkehr die Fahrzeugbewegungen nicht mehr unabhängig voneinander sind (siehe Grundlage [30]). – Der Effekt der Staubildung auf dem BÜe bei hohem Verkehrsaufkommen wird separat berücksichtigt (Korrekturfaktor f_8). – Fehlen konkrete Angaben zur Verkehrsstärke oder ist eine Schätzung nicht möglich, so können folgende Angaben als Anhaltspunkt dienen: 		
DTV		DTV
Wanderweg		10*
Wanderweg, Spazierweg		30*
Fussverbindung innerorts		100*
Feldzugang, Scheune		3
Befahrbarer Feld-/Waldweg, Wanderweg		10
Wohnhaus, Bauernhof (1 bis 2)		30
Mehrere Wohnhäuser (2 bis 5), kleiner Gewerbebetrieb		100
Kleines Quartier (5 bis 10), grösserer Gewerbebetrieb		300
Quartier, kleinere Industrie		1000
Ortsteil, grössere Industrie, Nebenverbindung zu anderer Ortschaft		2000
Hauptstrasse, innerorts, lokal, wenig Durchgangsverkehr		3000
Hauptstrasse, innerorts, Durchgangsverkehr		**
Stark befahrene Strasse, innerorts		**
Stark befahrene Strasse ausserorts		**
Nebenverbindung ausserorts, Verbindung von Ortsteilen, keine Achse		1000
Nebenverbindung ausserorts, Verbindung von Ortschaften, Achse		2000
* Fussgänger		
** Werte weitgehend abrufbar auf Swisstopo Personen-/Güterverkehr Strasse		
– Anhand von Luftbilddaufnahmen von Swisstopo, lässt sich bereits eine gute Einschätzung vornehmen.		
Umsetzung		
$f_3 = \frac{f(DTV_x^{0.346})}{f(DTV_m^{0.346})}$		
– Mit		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ DTV_x: Verkehrsaufkommen am betreffenden BÜe ▪ DTV_m: mittleres Verkehrsaufkommen des entsprechenden BÜe-Typs, vorgegeben im Risikomodell 		
– Zahlenbeispiel: $DTV_x = 4000$ Fz/d, $DTV_m = 2000$ Fz/Tag --> $f_3 = 1.27$ (eine Verdoppelung des Verkehrsaufkommens gegenüber dem Mittelwert führt zu einer Erhöhung des Risikos um 27%)		
– Mittelwerte pro BÜe-Typ		
Die angenommenen Mittelwerte für die Geschwindigkeit stützen sich auf Stichproben der SBB, SOB, AB, BLS und RBS sowie Expertenschätzungen bei der Extrapolation auf das gesamte Netz.		
BÜe-Typen	Mittelwert DTV	Bemerkungen
AK	25	
StrB (Signal 1.18)	100	
BSA/BLA	250	
LSA/VRA	1000	
VSCHA	250	Wie BSA
HSCHA	4000	Tendenziell Ausserortssituationen, seltener mit sehr kleinem DTV
SCHA	2000	Sehr grosse Bandbreite, zahlreiche BÜe auch mit sehr kleinem DTV

A4.3 Verhaltensbeeinflussende Parameter

Anmerkung zur Umsetzung

Wenn eine Einstufung nicht eindeutig in eine der beschriebenen Klassen möglich ist, so kann auch ein «mittlerer» Korrekturfaktor eingesetzt werden, um die Situation optimal abbilden zu können.

Erkennbarkeit (f ₄)							
Beschreibung							
<ul style="list-style-type: none"> Die Erkennbarkeit des BUE bezieht sich auf Signalisierung, Schranken, Gleise/Fahrbahn und Fahrleitung. Konkret geht es darum, ob ein BUE und die Blinklichtsignale frühzeitig aus allen Fahrtrichtungen wahrgenommen werden kann. 							
Anmerkungen							
<ul style="list-style-type: none"> Die Auswertung der Unfallstatistik zeigt, dass BUE-Unfälle überwiegend innerorts geschehen. Es ist daher mit einem hohen Anteil an ortskundigen Verkehrsteilnehmern zu rechnen, die wissen, wo sich ein BUE befindet. Insbesondere statische Signale und Informationen werden von diesen BUE-Benützern kaum wahrgenommen. Klare Erkennungsmerkmale für den BUE sind tendenziell wichtiger für ortsunkundige BUE-Benutzer. 							
Anwendung							
<ul style="list-style-type: none"> Einschätzung anhand von qualitativen Kriterien. Eingenommen wird die Sicht eines Verkehrsteilnehmers in der Annäherung auf den BUE. Für die Einstufung gilt ein Mittelwert aus allen Fahrtrichtungen. Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> (1) Klare Signalisierung für Strassenverkehrsteilnehmer: Schilder und Blinklichter stehen in der Blickachse und Schilder sind vollständig und prominent sichtbar (2) Gleise und Fahrbahnelemente sind beidseits des BUE erkennbar, keine Eingrenzung des Blickfeldes durch Hecken oder Bauten (3) Einzelne Fahrleitungsmasten sind im Bereich des BUE im Blickfeld des Strassenverkehrsteilnehmers. Stehende Schranken sind sichtbar (wenn vorhanden) (4) Keine weiteren Elemente wie grosse/zahlreiche Reklameschilder, Verkehrssignale in der Nähe der BUE-Elemente (5) Bekanntermassen häufige Blendwirkung durch Sonnenstand Qualitative Einschätzung und Abwägung <ul style="list-style-type: none"> Schwer erkennbar: insbesondere die Punkte (1) bis (3) treffen sehr eingeschränkt zu, allenfalls auch (4) und (5) kann auftreten Durchschnittlich erkennbar: Abstriche an einzelnen Elementen, weder klar gut noch schwer erkennbar. Gut erkennbar: die aufgeführten Punkte sind weitgehend erfüllt Ausgesprochen übersichtliche Situationen mit gerader Strassenführung, bei der das weit reichende Blickfeld ein Übersehen des BUE begünstigt, sind tendenziell nur als «durchschnittlich erkennbar» einzustufen. 							
Klassierung	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA
Schwer erkennbar	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.25	1.25
Durchschnittlich erkennbar	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Gut erkennbar	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.90	0.90

Komplexität in der Annäherung (f ₅)							
Beschreibung <ul style="list-style-type: none">- Die Konfiguration Strasse / Schiene beeinflusst die Komplexität am BUE. Sie kann eine erhöhte Aufmerksamkeit des Verkehrsteilnehmers erfordern (Strassenverlauf, andere Verkehrsteilnehmer), sodass er sich nicht ausschliesslich auf den BUE konzentrieren kann.- Die Konfiguration beeinflusst auch die Erkennbarkeit eines Zuges. Dies ist bei BUE ohne Schranken kritisch, wenn sich Zug und Strassenfahrzeug in die gleiche Richtung bewegen.							
Anmerkungen <ul style="list-style-type: none">- Wesentlich ist, dass der Verkehrsteilnehmer kurz vor dem Befahren des BUE seine Aufmerksamkeit auf mehrere Punkte lenken muss. Dabei sind insbesondere andere vortrittsberechtigzte Verkehrsteilnehmer zu erwähnen (z.B. Abbiegevorgang ohne Vortritt).- Die Komplexität betrifft ortskundige und unkundige BUE-Benutzer.- Die Komplexität in der Annäherung ist grundsätzlich bei allen BUE-Typen relevant. Bei einzelnen BUE-Typen werden gewisse Konfigurationen jedoch nicht oder nur selten auftreten.							
Anwendung							
Kriterien <ul style="list-style-type: none">- Bei der Klassierung ist eine Einschätzung unter Abwägung aller Einflüsse vorzunehmen.							
BUE-Typen	Erläuterung, Eigenschaften						
In Knoten				<ul style="list-style-type: none">- Gleise führen durch den Knoten, mehr als ein Strassenast ist betroffen			
Neben komplexem Knoten				<ul style="list-style-type: none">- Kreisel anliegend- Knoten mit hohem Verkehrsaufkommen auf allen Ästen- Komplexität: Einspurstrecken, Vortrittsregelung, insbesondere, wenn die Strasse über den BUE nicht vortrittsberechtigt ist- Abstand Gleis – Knoten: bis rund 10m, sodass das Befahren des Knotens und des BUE als <u>ein</u> Vorgang erfolgt. Ist das Befahren von Knoten und BUE klar voneinander trennbar (zuerst Aufmerksamkeit auf Knoten, dann auf BUE) --> keine Knotensituation			
Neben einfachem Knoten	Konfiguration wie beim komplexen Knoten mit folgenden Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none">- Äste mit geringem Verkehrsaufkommen- Strasse über den BUE ist Hauptachse und vortrittsberechtigt						
Parallelführung Strasse/Schiene				<ul style="list-style-type: none">- Die parallele Strasse bildet die Hauptachse. Ein Abbieger über den BUE ist nicht vortrittsberechtigt- Die dem BUE gegenüberliegende Strasse ist klar untergeordnet und weist ein geringes Verkehrsaufkommen auf (nicht als Knoten eingestuft)- Abstand Gleis Strasse – BUE: bis rund 10m			
Spitzer Winkel				<ul style="list-style-type: none">- BUE ohne Schranken: Spitzer Winkel oder Strassenführung, bei der ein von hinten nahender Zug schwer erkennbar ist- BUE mit Schranken: wenn der Abstand zwischen den Schranken gross ist			
Ohne spezielle Merkmale	Keine der obigen Merkmale zutreffend						
Parameter							
Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA
In Knoten	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00
Neben komplexem Knoten	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.00	2.00
Neben einfachem Knoten	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.50	1.50
Parallelführung Schiene/Strasse	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.25	1.25
Spitzwinklige Querung	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.10
Ohne spezielle Merkmale	0.90	0.50	0.50	0.50	0.50	0.80	0.80
In der Praxis werden nicht alle aufgeführten Kombinationen auftreten.							

Umfeld (f_6)																																							
<p>Beschreibung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Neben der Komplexität in der Annäherung enthält das nähere Umfeld des BUE weitere ablenkende und die Aufmerksamkeit absorbierende Einflüsse, die Auswirkungen auf die Fehlerwahrscheinlichkeit der BUE-Benützenden haben. 																																							
<p>Anmerkungen und Überlegungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Als relevanter Bereich wird ein Umfeld von rund bis 30/40m betrachtet. - Aufgrund der Aktivitäten im Umfeld wird die Aufmerksamkeit des Verkehrsteilnehmers kurz vor und beim Befahren des BUE zusätzlich absorbiert - Erschwerend wirkt, wenn andere Verkehrsteilnehmer gegenüber dem BUE-Benutzer vortrittsberechtigt sind, z.B. bei einem Fussgängerstreifen unmittelbar vor/nach einem BUE. - Erfolgt der Zugang zu einem Bahnhof/Haltestelle über den BUE, so besteht ein erhöhtes Risiko für Fussgänger und Radfahrer («den Zug noch rechtzeitig erreichen»). Dies wird separat mit dem Faktor f_9 erfasst. 																																							
<p>Umsetzung</p> <p>Kriterien</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fussgänger im Bereich des BUE: innerorts, ohne Trottoir und/oder Fussgängerstreifen unmittelbar vor/nach dem BUE, sodass BUE-Benutzer speziell auf Fussgänger achten müssen - Häufiger Radverkehr am BUE, ein-/abbiegender Radverkehr vor/nach dem BUE - Zufahrten zu Plätzen sowie offene Verkehrsflächen unmittelbar vor/nach dem BUE - Bushaltestelle in unmittelbarer Nähe - Grosse Distanz zwischen Schranken so, dass ein Einschliessen begünstigt wird. - Der Einflussfaktor wird häufig in Kombination mit Komplexität in der Annäherung auftreten. <p>Parameter</p> <table> <tr> <th>Kriterien</th><th>AK</th><th>StrB</th><th>BSA/LSA</th><th>VRA/LSA</th><th>VSCHA</th><th>HSCHA</th><th>SCHA</th></tr> <tr> <td>Mehrere Merkmale</td><td>1.50</td><td>1.50</td><td>1.50</td><td>1.50</td><td>1.50</td><td>1.50</td><td>1.50</td></tr> <tr> <td>Einzelne Merkmale</td><td>1.25</td><td>1.25</td><td>1.25</td><td>1.25</td><td>1.25</td><td>1.25</td><td>1.25</td></tr> <tr> <td>Ohne spezielle Merkmale</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.70</td></tr> </table>								Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA	Mehrere Merkmale	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	Einzelne Merkmale	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	Ohne spezielle Merkmale	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA																																
Mehrere Merkmale	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50																																
Einzelne Merkmale	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25																																
Ohne spezielle Merkmale	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70																																

Sperrzeit (f_7)							
Beschreibung							
<ul style="list-style-type: none"> Die Sperrzeit beeinflusst das Verhalten der Verkehrsteilnehmer in der Phase der Entscheidung beim Schliessvorgang und bei geschlossenem BUE. 							
Anmerkungen							
<ul style="list-style-type: none"> Lange (bekannte) Sperrzeiten provozieren Fehlverhalten (beispielsweise Durchfahren bei schliessender Barriere, Umgehen von Schranken durch Fussgängern bei geschlossener Schranke. Das Verhalten verstärkt sich, wenn die Verkehrsteilnehmer wissen, dass sie möglicherweise lange warten müssen und wenn das Zeitbudget knapp ist (--> Innerortsverkehr mit Ortskenntnis). Dies beeinflusst den Handlungsentscheid beim Schliessvorgang. Ist der BUE geschlossen und dauert die Sperrung lange gibt es Unterschiede: <ul style="list-style-type: none"> Bei Vollschranken ist der Strassenverkehr blockiert, wogegen Fussgänger die Schranke umgehen können (ein wesentlicher Anteil der schweren Unfälle an Vollschranken ist auf dieses Szenario zurückzuführen). Bei Halbschranken und Blinklichtsignalen kann eine lange Wartezeit dazu führen, dass die BUE-Benutzer losfahren/-gehen, da sie eine Fehlinterpretation vornehmen («da kann was nicht stimmen») oder sich auf ihre eigene Beobachtung verlassen («kein Zug sichtbar, also gehe ich») Betrachtet wird die Dauer, in der ein BUE mit Blinklicht ohne/mit Schranken pro Schliessvorgang geschlossen ist (Beginn des Blinklichts bis Verlöschen). Darin enthalten sind auch Schliessungen aufgrund von mehr als einem Zug. 							
Anwendung							
<ul style="list-style-type: none"> Bei der Einschätzung geht es um eine grobe Klassierung Die Einschätzung soll aufgrund der Erfahrung und Kenntnis des Netzbetreibers zum betreffenden BUE erfolgen. Die Bestandteile zur Berechnung der Sperrzeit können dazu qualitativ berücksichtigt werden, aber es geht nicht um eine exakt ermittelte Sperrzeit. Falls öfters/regelmässig mehr als ein Zuges abzuwarten ist, soll eine ungünstigere Klasse gewählt werden (Verschieben um eine Klasse). Bei AK und StrB gibt es keine Sperrzeit und der Faktor beträgt 1 (keine Korrektur) 							
Parameter							
Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA
Lang	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Mittel	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kurz	1.00	1.00	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66

Erschwernisse im Räumbereich (f_8)

Beschreibung

- Staubildung am BÜe oder ein erschwertes Einbiegen in eine Strasse nach dem BÜe können dazu führen, dass Fahrzeuge zwischen Schranken eingeschlossen werden oder das Profil verletzen.

Anmerkungen

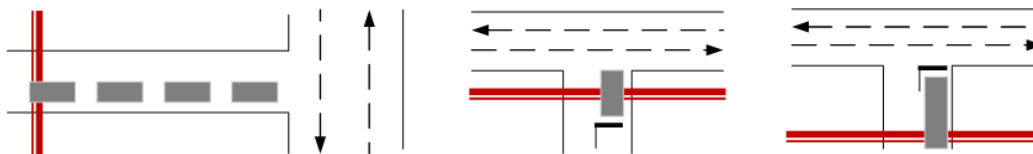
- Rückstau
Entsprechende Strassensituationen sind Abzweigungen und Kreuzungen nahe oder in einiger Entfernung zum BÜe, an denen der Verkehr nicht ausreichend abfliessen kann oder sonstige Situationen, bei denen das Verkehrsaufkommen die Kapazität übersteigt.
- Erschwerter Einbiegevorgang
Unmittelbar nach dem BÜe erfolgt eine Einmündung in eine vortrittsberechtignte Strasse: kombiniert mit einem knappen Warteraum für Fahrzeuge oder der Situation, dass der Fahrzeuglenker auf dem BÜe hält, um besser einbiegen zu können.

Umsetzung

Klassierung

- Häufig Stau: täglich, öfters, z.B. immer zu den Spitzenstunden
- Gelegentlicher Stau: wöchentlich, z.B. an Wochenenden, vereinzelt auch an andern Tagen, verschiedentlich Fahrzeuge, die auf dem BÜe stehen
- Einbiegen in stark befahrene Strasse
- Einbiegen in schwach befahrene Strasse

Situationen



Parameter

Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA
Häufig Stau	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Gelegentlich Stau	1.50	1.50	2.00	2.00	1.50	1.50	1.50
Einbiegen in stark befahrene Strasse	1.50	1.50	2.00	2.00	1.50	1.50	1.50
Einbiegen in schwach befahrene Strasse	1.25	1.25	1.50	1.50	1.25	1.25	1.25
Ohne spezielle Merkmale	0.90	0.50	0.50	0.50	0.70	0.70	0.70

Langsamverkehr (f ₉)																																															
<p>Beschreibung</p> <ul style="list-style-type: none">- Spezielle Risiken des Langsamverkehrs werden mit dem Einflussfaktor Langsamverkehr gesondert berücksichtigt. Langsamverkehr: Fussgänger und Fahrräder																																															
<p>Anmerkungen</p> <ul style="list-style-type: none">- Das Basisrisiko eines BUe-Typs enthält ein durchschnittliches Risiko des Langsamverkehrs.- Der Einflussfaktor f₆ Umfeld enthält Elemente des Langsamverkehrs, die sich risikoerhöhend/-senkend auf den übrigen Verkehr auswirken.- Der vorliegende Einflussfaktor berücksichtigt zwei weitere Aspekte: Verkehrsaufkommen und Zielpunkte des Langsamverkehrs im Bereich des BUe. Zielpunkte sind Orte, auf die sich der Langsamverkehr fixiert und die er oft unter Zeitdruck erreichen will.																																															
<p>Umsetzung</p> <p>Klassierung Verkehrsaufkommen (mögliche Merkmale, qualitative Einschätzung)</p> <ul style="list-style-type: none">- Gering: Ausserorts, wenige Fahrräder, keine Fussgängerverbindungen- Mittel: Merkmale für Fussgänger und Radfahrer vorhanden (zB. Trottoir, Radstreifen), Fusswegverbindung, Spazierwege- Hoch: Innerorts, grössere/stark benutzte Trottoirs und Fussgängerstreifen, Einkaufsbereich, Fussgängerverbindungen <p>Bei starkem temporärem Aufkommen (Saison, Wochenende) ist ein Mittelwert anzuzielen.</p> <p>Klassierung Zielpunkt (mögliche Merkmale, qualitative Einschätzung)</p> <ul style="list-style-type: none">- Zielpunkte: Bahnhof/Peron/Haltestelle in unmittelbarer Nähe, Schule, Ausflugsort <p>Die beiden Grössen Langsamverkehr und Zielpunkt ergeben in Kombination eine Risikoklasse</p> <table><tr><th>Verkehrsaufkommen</th><th>Mit Zielpunkt</th><th>Ohne Zielpunkt</th></tr><tr><td>Gering</td><td>R2</td><td>R1</td></tr><tr><td>Mittel</td><td>R3</td><td>R2</td></tr><tr><td>Hoch</td><td>R4</td><td>R3</td></tr></table>								Verkehrsaufkommen	Mit Zielpunkt	Ohne Zielpunkt	Gering	R2	R1	Mittel	R3	R2	Hoch	R4	R3																												
Verkehrsaufkommen	Mit Zielpunkt	Ohne Zielpunkt																																													
Gering	R2	R1																																													
Mittel	R3	R2																																													
Hoch	R4	R3																																													
<p>Parameter</p> <table><tr><th>Kriterien</th><th>AK</th><th>StrB</th><th>BSA/LSA</th><th>VRA/LSA</th><th>VSCHA</th><th>HSCHA</th><th>SCHA</th></tr><tr><td>Risikoklasse R4</td><td>1.20</td><td>1.20</td><td>1.10</td><td>1.20</td><td>1.20</td><td>1.20</td><td>1.20</td></tr><tr><td>Risikoklasse R3</td><td>1.10</td><td>1.10</td><td>1.05</td><td>1.10</td><td>1.10</td><td>1.10</td><td>1.10</td></tr><tr><td>Risikoklasse R2</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td></tr><tr><td>Risikoklasse R1</td><td>0.90</td><td>0.90</td><td>0.95</td><td>0.90</td><td>0.90</td><td>0.90</td><td>0.90</td></tr></table>								Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA	Risikoklasse R4	1.20	1.20	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	Risikoklasse R3	1.10	1.10	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	Risikoklasse R2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	Risikoklasse R1	0.90	0.90	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90
Kriterien	AK	StrB	BSA/LSA	VRA/LSA	VSCHA	HSCHA	SCHA																																								
Risikoklasse R4	1.20	1.20	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20																																								
Risikoklasse R3	1.10	1.10	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10																																								
Risikoklasse R2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00																																								
Risikoklasse R1	0.90	0.90	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90																																								

A4.4 Abgleich mit der Erfahrung

Im Risikomodell V1.0 ist der Abgleich mit der Erfahrung im Risikomodell integriert gewesen. In der vorliegenden Version 2.0 werden erfasste Unfälle nur zu Vergleichszwecken beigezogen.

Dazu wird die Häufigkeit gemäss Risikomodell der Unfallhäufigkeit pro Jahr aus der Unfallstatistik BAV gegenübergestellt.






Um einen valablen Vergleich durchzuführen sind folgende Aspekte zu beachten:







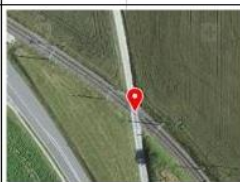

- Die Unfallhäufigkeit pro Jahr sollte aus einer ausreichend langen Periode ermittelt werden, idealerweise 10 Jahre.
- Bedingung ist, dass der BUE im betrachteten Zeitraum weitgehend unverändert geblieben ist – insbesondere hat der BUE-Typ nicht gewechselt.
- Ein einzelner Unfall kann absolut zufällig auftreten, auch bei zwei Unfällen ist dies möglich. Bei mehr als zwei Unfällen bestehen starke Indizien auf ein relevant erhöhtes Unfallrisiko aufgrund der Eigenschaften des BUE.
- Umgekehrt ist es ebenso möglich, dass bisher kein Unfall eingetreten ist, obschon der BUE ein klar überdurchschnittliches Risiko aufweist.
- Treten bei einem BUE Ereignisse unterhalb der Schwelle eines Unfalls in grosser Zahl auf (Gefährdungen), so kann dies ebenfalls ein Indiz für ein erhöhtes Risiko darstellen (z.B. Befahren des BUE vor dem nahenden Zug, Durchbrechen von Schranken). Entsprechende Ereignisse können mit einem reduzierten Gewicht anlog der Unfälle berücksichtigt werden. Sinnvoll ist eine Gewichtung von etwa 10% (10 Gefährdungen entsprechen somit einer Kollision mit dem Zug).





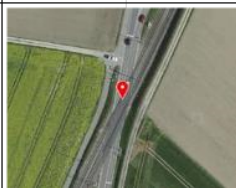


A4.5 Fallbeispiele








Insgesamt wurde eine Stichprobe von 45 BUE mit dem Risikomodell bearbeitet und das Modell auf dieser Basis validiert.








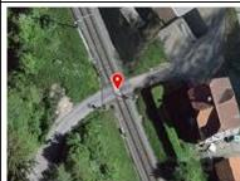
Nachfolgend sind beispielhaft von jeder am Projekt beteiligten Bahn 4 BUE dargestellt.

AB									
Daten		BUe1		BUe2		BUe3		BUe8	
Ortschaft		Gonten		Weissbad		Gais, Erlen-Riedtli		Appenzell	
BUe-Name		BUe GAW km 22.219		BUe GAW km 29.367		BUe AG km 4.855 Erlen-Rietli		BUe GAW km 23.712	
Landeskoordinate		47.33235, 9.3633 745'462.24, 244'172.18		47.30769, 9.43625 751'043.56, 241'567.22		47.36086, 9.48513 754'585.12, 247'573.85		47.33101, 9.38224 2746'897.8, 1'244'057.8	
BUe-Typ		HSCHA		SCHA		VSCHA		BSA	
f1	Zugdichte	72		72		26		74	
f2	Geschwindigkeit	75		30		30		55	
f3	Verkehrsaufkommen	2500		1000		100		50	
f4	Erkennbarkeit	gut		durchschnittlich		gut		gut	
f5	Annäherung	Spitzwinklige Querung		an/neben Knoten		Strasse/Schiene parallel		Ohne Merkmal	
f6	Umfeld	Einzelne Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Einzelne Merkmale		Ohne spezielle Merkmale	
f7	Sperrzeit	kurz		mittel		kurz		kurz	
f8	Räumbereich	Ohne spezielle Merkmale		Gelegentlich Stau		Einbiegen in stark befahrene Strasse		Ohne spezielle Merkmale	
f9	Langsamverkehr	KI 2		KI 2		KI 2		KI 1	
a	Unfälle gem. Bahn	0		0		0		0	
a	Unfälle gem. BAV	0		0		0		1	
Anmerkungen Bahn		Bei diesem Bue werden die Velofahrer und Fussgänger separat geführt. Es kommt vor, dass Velofahrer beim Befahren über die Strasse stürzen. Vor der altersbedingten Sanierung kam es hier öfters zu Beschädigungen der Schranken. Die Signalisierung mit LED-Signalen ist heute besser erkennbar.		Bei diesem BUe kommt es manchmal zu Rückstau wenn die Strasse nach Wasserauen (Alpstein) stark befahren wird.		Wander- und Veloweg über den Bue. Der FG-Streifen wurde demarkiert. Die Geschwindigkeit auf der Strasse beträgt 80km/h, öfter auch mehr (Motorräder). Für wartende Automobilisten ist das Warten auf der Hauptstrasse unangenehm. Die Nebenstrasse wird öfters von landwirtschaftlichen Maschinen benutzt. Bei Ausflugsverkehr (SA/So) kann es zu erschwerten Einbiegen kommen.		Einfacher BUe für abgelegene Höfe, Blitzleuchten mussten gegen LED-Lampen gewechselt werden wegen Sonneneinstrahlung 1 schwerer Unfall mit Mofa wegen Versagen der Bremsen beim Mofa	
Anmerkungen EBP		Verkehrsaufkommen gem. AB Normal 2500, Ausflug 4000 Swisstopo: 2000		Verkehrsaufkommen: Schätzung AB Swisstopo: 1500		Viertelschranke Verkehr: Einschätzung AB --> 3900 bezieht sich auf Hauptstrasse			
Abbildungen		(aus urheberrechtlichen Gründen Bild entfernt)		(aus urheberrechtlichen Gründen Bild entfernt)		(aus urheberrechtlichen Gründen Bild entfernt)			
Luftbild (Quelle Swisstopo)									
Risikoermittlung									
BUe-Typ		HSCHA		SCHA		VSCHA		BSA/LSA	
		Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass
Basiswerte Bue-Typ		0.0214	569'072	0.0079	316'926	0.0485	316'926	0.0646	316926
f1	Zugdichte	0.89		0.74		0.54		0.91	
f2	Geschwindigkeit	0.97	0.94	0.61	0.38	0.77	0.60	1.05	1.10
f3	Verkehrsaufkommen	0.85		0.79		0.73		0.57	
f4	Erkennbarkeit	0.90		1.00		0.75		0.75	
f5	Annäherung	1.25		1.50		1.50		0.50	
f6	Umfeld	1.25		0.70		1.25		0.70	
f7	Sperrzeit	0.66		1.00		0.66		0.66	
f8	Räumbereich	0.70		1.50		1.50		0.50	
f9	Langsamverkehr	1.00		1.00		1.00		0.95	
Risikokennzahlen (Hrm, Arm)		0.0102	533'505	0.0045	118847	0.0205	190156	0.0029	348619
Risiko MKR		5'460		530		3893		1010	
Vergleich mit Basishäufigkeit		48%		56%		42%		4%	
Vergleich mit Basisrisiko		45%		21%		25%		5%	
Vergleich mit der Erfahrung									
Häufigkeit Modell (Hrm)		0.0102		0.0045		0.0205		0.0029	
Häufigkeit Unfälle (Hu)		0.0000		0.0000		0.0000		0.1000	

BLS									
Daten		BUE1		BUE2		BUE3		BUE4	
Ortschaft		Belp, Hohlestrasse		Niederscherli, Salisweg		Mittelhäusern, Alte		Langendorf, Langendorfstrasse	
BUE-Name		Hohlestrasse		Salisweg		Alte Schwarzwasserbrücke		Langendorfstrasse	
Landeskoordinate		1193245 / 2604495		1192364 / 2595455		1190065 / 2594339		1229616 / 2605827	
BUE-Typ		SCHA		BSA/L SA		BSA/L SA		SCHA	
f1	Zugdichte	135		74		74		47	
f2	Geschwindigkeit	65		60		60		80	
f3	Verkehrsaufkommen	5300		100		10		4100	
f4	Erkennbarkeit	gut		gut		gut		gut	
f5	Annäherung	an/neben Knoten		Spitzwinklige Querung		Spitzwinklige Querung		neben komplexem Knoten	
f6	Umfeld	Mehrere Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Mehrere Merkmale	
f7	Sperrzeit	lang		kurz		mittel		mittel	
f8	Räumbereich	Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale	
f9	Langsamverkehr	KI 3		KI 1		KI 1		KI 3	
a	Unfälle gem. Bahn	0.5		0		0		0	
a	Unfälle gem. BAV	1.3		0		0		0	
Anmerkungen Bahn		*) Hauptstrasse innerorts, Durchgangsverkehr. Daten aus Swisstopo holen. **) Betrachtungszeitraum 2017 bis heute: 2 erfasste Gefährdungen im Jahr 2018		*) Im Jahr 2019 wurde eine Frequenzerhebung durchgeführt. Dabei wurden im Tagesmittel 5,4 Querungen pro Stunde registriert, wobei nicht zwischen Fussgänger und PKW unterschieden wurde.					
Anmerkungen EBP		Unfälle BAV: 1 Unfall im 2019, sowie 3 Gefährdungen/Störungen 2016, 2018 (2) --> 1.3 in 10 J. Unfälle Bahn: 2 Gefährdungen in		Gem. Tool-Hilfsmittel rund 100 Fz/d		Gem. Tool-Hilfsmittel rund 10 Fz/d		DTV, Angabe BLS: 2000 Fz/d	
Abbildungen (Quelle BLS)									
Luftbild (Quelle Swisstopo)									
Risikoermittlung									
BUE-Typ		SCHA		BSA/LSA		BSA/LSA		SCHA	
		Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass
Basiswerte Bue-Typ		0.0079	769'706	0.0646	316'926	0.0646	316'926	0.0079	769'706
f1	Zugdichte	1.02		0.91		0.91		0.60	
f2	Geschwindigkeit	0.90	0.81	1.10	1.20	1.10	1.20	1.00	1.00
f3	Verkehrsaufkommen	1.40		0.73		0.33		1.28	
f4	Erkennbarkeit	0.90		0.75		0.75		0.90	
f5	Annäherung	2.00		1.25		1.25		2.00	
f6	Umfeld	1.50		0.70		0.70		1.50	
f7	Sperrzeit	2.00		0.66		1.00		1.00	
f8	Räumbereich	0.70		0.50		0.50		0.70	
f9	Langsamverkehr	1.10		0.95		0.95		1.10	
Risikokennzahlen (Hrm, Arm)		0.0423	625'386	0.0096	380'311	0.0066	380'311	0.0127	769'706
Risiko MKR		26'437		3'657		2'498		9'744	
Vergleich mit Basis Häufigkeit		535%		15%		10%		160%	
Vergleich mit Basisrisiko		435%		18%		12%		160%	
Vergleich mit der Erfahrung									
Häufigkeit Modell (Hrm)		0.0423		0.0096		0.0066		0.0127	
Häufigkeit Unfälle (Hu)		0.1300		0.0000		0.0000		0.0000	

RBS									
Daten		BUE1		BUE2		BUE3		BUE4	
Ortschaft		Fraubrunnen		Jegenstorf		Vechigen		Worb	
BUE-Name		Bürenstrasse		Bernstrasse, Jeg		Neumattweg		Industriestrasse	
Landeskoordinate		1215204/2606310		1209818/2604889		1200194/2607765		1197723/2609327	
BUE-Typ		SCHA		SCHA		SCHA		BSA/LSA	
f1	Zugdichte	100		250		140		150	
f2	Geschwindigkeit	50		75		60		30	
f3	Verkehrsaufkommen	1000		8000		500		150	
f4	Erkennbarkeit	durchschnittlich erkennbar		gut erkennbar		durchschnittlich erkennbar		durchschnittlich erkennbar	
f5	Annäherung	In/an Knoten		Spitzwinklige Querung		Neben einfachem Knoten		Ohne spezielle Merkmale	
f6	Umfeld	Mehrere Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Einzelne Merkmale		Einzelne Merkmale	
f7	Sperrzeit	mittel		mittel		mittel		kurz	
f8	Räumbereich	Ohne spezielle Merkmale		Gelegentlich Stau		Einbiegen in stark befahrene Strasse		Ohne spezielle Merkmale	
f9	Langsamverkehr	KI 3		KI 1		KI 2		KI 2	
a	Unfälle gem. Bahn	0		0		0		0	
a	Unfälle gem. BAV	0		0		0		1	
Anmerkungen Bahn		Sperrzeit 120"		Sperrzeit 140"		Sperrzeit 110"		Wird demnächst aufgehoben Sperrzeit 65"	
Anmerkungen EBP								1 Unfall im 2012	
Abbildungen (Quelle RBS)								(aus urheberrechtlichen Gründen Bild entfernt)	
Luftbild (Quelle Swisstopo)									
Risikoermittlung									
BUE-Typ		SCHA		SCHA		SCHA		BSA/LSA	
		Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass
Basiswerte Bue-Typ		0.0079	769'706	0.0079	769'706	0.0079	769'706	0.0646	316'926
f1	Zugdichte	0.88		1.39		1.04		1.29	
f2	Geschwindigkeit	0.79	0.63	0.97	0.94	0.87	0.75	0.77	0.60
f3	Verkehrsaufkommen	0.79		1.62		0.62		0.84	
f4	Erkennbarkeit	1.00		0.90		1.00		1.00	
f5	Annäherung	3.00		1.10		1.50		0.50	
f6	Umfeld	1.50		0.70		1.25		1.25	
f7	Sperrzeit	1.00		1.00		1.00		0.66	
f8	Räumbereich	0.70		1.50		1.50		0.50	
f9	Langsamverkehr	1.10		0.90		1.00		1.00	
Risikokennzahlen (Hrm, Arm)		0.0149	481066	0.0160	721599	0.0124	577280	0.0112	190156
Risiko MKR		7184		11569		7135		2123	
Vergleich mit Basis Häufigkeit		189%		203%		156%		17%	
Vergleich mit Basisrisiko		118%		190%		117%		10%	
Vergleich mit der Erfahrung									
Häufigkeit Modell (Hrm)		0.0149		0.0160		0.0124		0.0112	
Häufigkeit Unfälle (Hu)		0.0000		0.0000		0.0000		0.1000	

SBB									
Daten		BUe1		BUe2		BUe3		BUe5	
Ortschaft		Subingen, Bahnhofstrasse		Salez-Sennwald, Ruggellerstrasse		Uster, Zürichstrasse		Uster, Brunnenstrasse	
BUe-Name		Bahnhofstrasse		Ruggellerstrasse / Hofstrasse		Zürichstrasse		Brunnenstrasse	
Landeskoordinate		47.19800, 7.59963		756'449.78 / 234'793.83		695'508.91 / 246'195.30		696'798.01 / 245'129.71	
BUe-Typ		SCHA		SCHA		SCHA		SCHA	
f1	Zugdichte	36		76		375		375	
f2	Geschwindigkeit	120		140		125		60	
f3	Verkehrsaufkommen	5914		3415		5572		5605	
f4	Erkennbarkeit	gut erkennbar		durchschnittlich erkennbar		durchschnittlich erkennbar		durchschnittlich erkennbar	
f5	Annäherung	Neben einfachem Knoten		Ohne spezielle Merkmale		Spitzwinklige Querung		Ohne spezielle Merkmale	
f6	Umfeld	Mehrere Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Mehrere Merkmale	
f7	Sperzeit	mittel		mittel		mittel		lang	
f8	Raubereich	Häufig Stau		Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale		Häufig Stau	
f9	Langsamverkehr	KI 2		KI 1		KI 2		KI 3	
a	Unfälle gem. Bahn								
a	Unfälle gem. BAV	0		0		0		1	
Anmerkungen Bahn		Entgegen den Zeichnungen quert der Übergang die Hauptverkehrsachse und insbesondere die Linksabbieger verursachen den Stau. Der Bue ist mit Rue ausgerüstet. Zusätzlich ist für Radfahrer und Fussgänger eine Ampelanlage vorhanden, welche ebenfalls die zur Räumung installierte VRA beeinflussen. Strasse wird als Ausweichroute benutzt bei Stau auf der A1 (Kriegstetten-Wangen a.A)		Die GFR Radar wurden abgebaut, vorgesehene Vmax 160 km/h. 1Gleis spitzwinklig (Gleiskurve) 2 Gleise rechtwinklig		Radfahrer und Fussgänger werde separat geführt. Gemäss Polizei öfter eingeschlossene Fahrzeuge als publik wird. Keine Rue. Sehr lange Warnzeit wegen ungünstigem Winkel, siehe Foto.		Gemäss Polizei öfters eingeschlossene Fahrzeuge als publik wird, trotz Raumüberwachung (Schleifen).	
Anmerkungen EBP				Grosse Distanz zw. Schranken		Zugdichte, Angabe SBB: 350 bis 400 --> 375		Das Perron beginnt 20m nach dem BUe --> Geschwindigkeit reduziert angenommen (60 km/h anstelle von 100 km/h)	
Abbildungen (Quelle SBB)								(aus urheberrechtlichen Gründen Bild entfernt)	
Luftbild (Quelle Swisstopo)									
Risikoermittlung									
BUe-Typ		SCHA		SCHA		SCHA		SCHA	
		Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass
Basiswerte Bue-Typ		0.0079	769706	0.0079	769706	0.0079	769706	0.0079	769706
f1	Zugdichte	0.53		0.76		1.70		1.70	
f2	Geschwindigkeit	1.22	1.50	1.32	1.75	1.25	1.56	0.87	0.75
f3	Verkehrsaufkommen	1.46		1.20		1.43		1.43	
f4	Erkennbarkeit	0.90		1.00		0.90		1.00	
f5	Annäherung	1.50		0.80		1.10		0.80	
f6	Umfeld	1.50		0.70		0.70		1.50	
f7	Sperzeit	1.00		1.00		1.00		2.00	
f8	Raubereich	2.00		0.70		0.70		2.00	
f9	Langsamverkehr	1.00		0.90		1.10		1.10	
Risikokennzahlen (Hrm, Arm)		0.0300	1154559	0.0034	1346986	0.0128	1202666	0.0876	577280
Risiko MKR		34645		4570		15343		50591	
Vergleich mit Basis Häufigkeit		380%		43%		161%		1109%	
Vergleich mit Basisrisiko		570%		75%		252%		832%	
Vergleich mit der Erfahrung									
Häufigkeit Modell (Hrm)		0.0300		0.0034		0.0128		0.0876	
Häufigkeit Unfälle (Hu)		0.0000		0.0000		0.0000		0.1000	

SOB									
Daten		BUE1		BUE2		BUE4		BUE5	
Ortschaft		Biberbrugg, Walschloss		Wollerau, Dorf		Rothenthurm, Ausserdorf		Schindellegi, Sihlbrücke	
BUE-Name		Waldschloss		Dorf		Ausserdorf		Sihlbrücke	
Landeskoordinate		697448/223440		697161/228038		693775/217458		696523/225460	
BUE-Typ		SCHA		SCHA		SCHA		BSA	
f1	Zugdicke	140		140		140		160	
f2	Geschwindigkeit	80		80		80		80	
f3	Verkehrsaufkommen	520		8300		1000		50	
f4	Erkennbarkeit	durchschnittlich		gut		durchschnittlich		schwer erkennbar	
f5	Annäherung	Parallelführung Schiene/Strasse		Spitzwinklige Quering		Ohne spezielle Merkmale		Ohne spezielle Merkmale	
f6	Umfeld	Einzelne Merkmale		Mehrere Merkmale		Einzelne Merkmale		Ohne spezielle Merkmale	
f7	Sperrzeit	kurz		mittel		kurz		kurz	
f8	Räumbereich	Einbiegen in stark befahrene Strasse		Häufig Stau		gelegentlich Stau		Ohne spezielle Merkmale	
f9	Lagsamverkehr	KI 1		KI 4		KI 2		KI 1	
a	Unfälle gem. Bahn	0		0		0		0	
a	Unfälle gem. BAV	0		0		0		0	
Anmerkungen Bahn									
Anmerkungen EBP						f5 und f7 sind Grenzfälle --> nur einer der beiden Faktoren erhöht (f7)			
Abbildungen (Quelle SOB)									
Luftbild (Quelle Swisstopo)									
Risikoermittlung									
BUE-Typ		SCHA		SCHA		SCHA		BSA/LSA	
		Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass	Häufigkeit	Ausmass
Basiswerte Bue-Typ		0.0079	769706	0.0079	769706	0.0079	769706	0.0646	316'926
f1	Zugdicke	1.04		1.04		1.04		1.33	
f2	Geschwindigkeit	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.26	1.60
f3	Verkehrsaufkommen	0.63		1.64		0.79		0.57	
f4	Erkennbarkeit	1.00		0.90		1.00		1.50	
f5	Annäherung	1.25		1.10		0.80		0.75	
f6	Umfeld	1.25		1.50		1.25		0.70	
f7	Sperrzeit	0.66		1.00		0.66		0.66	
f8	Räumbereich	1.50		2.00		1.50		0.50	
f9	Langsamverkehr	0.90		1.20		1.00		0.95	
Risikokennzahlen (Hrm, Arm)		0.0072	769706	0.0478	769706	0.0064	769706	0.0154	507082
Risiko MKR		5512		36798		4915		7815	
Vergleich mit Basis Häufigke		91%		605%		81%		24%	
Vergleich mit Basisrisiko		91%		605%		81%		38%	
Vergleich mit der Erfahrung									
Häufigkeit Modell (Hrm)		0.0072		0.0478		0.0064		0.0154	
Häufigkeit Unfälle (Hu)		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

A5 Auslegeordnung möglicher Massnahmen

Die Liste stellt eine breite Auslegeordnung denkbarer Massnahmen dar (inklusive exotische Massnahmen). Sie stammen aus diversen Quellen und sind nicht universell anwendbar (teilweise nur für spezifische Situationen). Eine Relevanzbeurteilung und Bewertung ist Teil der Phase 2.

Gruppierung/Clusterbildung:

«Bereich»: Gruppierung nach Anwendungsbereich/Technik

AA	Ausgestaltung der Annäherung (ohne Signalisierung)
AB	Ausgestaltung des BUe (Strassenseitig)
AR	Ausgestaltung des Räumbereichs
BUe	BUe-Anlagen
FZB	Fahrzeuge und Betrieb bahnseitig
IT	Einsatz von Informationstechnologie beim Strassenverkehrsteilnehmer
MA	Management
SAN	Baulich technische Sanierung
SIG	Signalisierung und Information
VOR	Vorschriften, Überwachung, Durchsetzung
VT	Verkehrsteilnehmer (Ausbildung, Information)

«Verhalten» Gruppierung nach den Kognitiven Schritten (Blickwinkel Verkehrsteilnehmer)

ERKENN	Erkennen der Elemente des BUe oder Fahrzeuge (FZB) --> Verbessern der Wahrnehmbarkeit der Elemente des BUe
INFO	Information verarbeiten und einem BUe zuordnen --> Eindeutige Informationen, die als BUe-Information erkennbar sind und andere/ablenkende Infos vermeiden
WISS	Wissen abrufen --> Know how und Erfahrung der Strassenverkehrsteilnehmer beeinflussen
ENTSC	Handlungsentscheidung --> die Handlungsoptionen müssen klar ersichtlich sein (richtige Entscheidung herbeiführen und falsche Entscheidungen verhindern)
AUSF	Handlung richtig ausführen --> ... können, die Anlage des BUe ist so, dass die Handlung ausgeführt werden kann (Ausgestaltung am BUe und im Räumbereich)

«5Es» Gruppierung nach den 5Es

EDU	Education (Ausbildung)
ENG	Engineering (Technik/Ausrüstung)
ENFO	Enforcement (Durchsetzung)
EVAL	Evaluation
EMS	Emergency Services (Notdienst)

Nr.	Bereich	Verhalten	5 Es	Massnahme
1	AA	ERKENN	ENG	Schikanen in der Annäherungsstrecke zur Geschwindigkeitsreduktion (Verkehrsberuhigungselement)
2	AA	ERKENN	ENG	Lokal verbesserte Strassenbeleuchtung (Lichtverhältnisse)
3	AA	ERKENN	ENG	Pflanzenrückschnitt/Grünpflege (Erkennbarkeit des BUE in der Annäherung)
4	AA	ERKENN	ENG	Bodenschwellen zur Reduktion der Geschwindigkeit (fest installiert; Verkehrsberuhigungselement)
5	AA	ERKENN	ENG	Adaptive Schwellen zur Reduktion der Geschwindigkeit (aktiviert in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Fahrzeugs auf der Strasse)
6	AA	ERKENN	ENG	Beleuchtung in Längsrichtung, die zu einer Geschwindigkeitsreduktion führt (z.B. durch verkürzte Abstände der Lichtquellen)
7	AA	ERKENN	ENG	Seitenraumgestaltung zur Geschwindigkeitsreduktion ("Trichtereffekt erzeugen"; Verkehrsberuhigungselement)
8	AA	ERKENN	ENG	Akustische Hinweise mittels Streifen in der Strassenoberfläche, die beim Befahren ein Geräusch erzeugen (Rüttelstreifen)
9	AA	INFO	ENG	Vermeidung externer Ablenkungsquellen in BUE-Nähe (Plakate, grosse Schriften oder ähnliches)
10	AA/AR	ENTSC	ENG	Bodenmarkierungen und/oder Schilder mit Abstandshinweisen ("Bei Stau hier halten"), sinngemäss auch im Räumbereich
11	AA	AUSF	ENG	Optimieren der horizontalen und vertikalen Linienführung (horizontale und vertikale Radien) (insb. für Schwerverkehr)
12	AA	AUSF	ENG	Fahrbahntrennung/Verengungen/Verkehrsinselfen zur Erschwerung des Umfahrens von Halbschranken oder stehenden Fahrzeugen
13	AA	AUSF	ENG	Akustische oder optische Signale bei Fehlverhalten ausgelöst durch eine Video-Sequenz-Analyse
14	AB	AUSF	ENG	Trottoirs und Velowege über den BUE durchziehen durch Markierung eines Längsstreifens für Fussgänger über den BUE (ausreichend Platz ausscheiden und markieren gemäss SSV)
15	AB	AUSF	ENG	Separate niveaugleiche Übergänge für den Langsamverkehr (Verkehrsführung Fussgänger und Radfahrer)
16	AB	AUSF	ENG	Gummieinsätze in Spurrillen zur Vermeidung von Fahrradstürzen (VeloSTRAIL)
17	AB	AUSF	ENG	Absperrungen und Zäune, um Schlupfwege zu verhindern
18	AB	AUSF	ENG	Kleines (leicht/schnell erkennbares) Tor in eine Richtung damit eingesperrte Fussgänger/Velofahrende die Barriere passieren können
19	BUE	AUSF	ENG	"Not-Aus" Taster, zur Haltstellung des Signals, Notöffnen der Schranken
20	AB	AUSF	ENG	Bei BUE mit Fahrverbot: Befahren verhindern mittels Pfosten oder Absperrung (mit Schlüssel bedienbar)
21	AB	AUSF	ENG	Harte Massnahmen, um ein Befahren eines BUE in extremis zu verhindern (Bodenklappen)
22	AR	AUSF	ENG	Erstellen ausreichender Wartebereiche zwischen BUE und Einmündungen
23	BUE	ENTSC	ENG	Minimieren der Sperrzeit pro Stunde (Anteil Schranke geschlossen)
24	BUE	ENTSC	ENG	Minimieren der Sperrzeit pro Sperrung (Zeitdauer pro Sperrung)
25	BUE	ENTSC	ENG	Minimale Zeit zwischen zwei Schliessungen, in der eine Barriere offen sein muss
26	BUE	ENTSC	ENFO	Aufsicht durch Sicherheitspersonal und ggf. Anweisungen an die Verkehrsteilnehmer (z.B. saisonal / Tageszeit-bedingt; Stichworte Touristen, Schulweg, Stossverkehr usw.)
27	BUE	AUSF	ENG	Platz zwischen Gleisen und Barriere, sodass ein Strassenfahrzeug dort stehen kann ("Zone-Zweiter-Chance") bzw. Schrankenbäume möglichst nahe an Gleis bauen
28	BUE	AUSF	ENG	Hängegitter an den Schrankenbäumen zur Erschwerung absichtlicher Verstösse durch nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer (auch gegen unabsichtliches Passieren, beispielsweise Kinder)
29	BUE	AUSF	ENG	Gestaltung der Schrankenbäume, sodass ein Überklettern erschwert wird.
30	BUE	AUSF	ENG	Raumüberwachung, um das Einschliessen zu vermeiden (unterschiedliche Technologien mit Verbindung zu den Sicherungsanlagen)
31	BUE	AUSF	ENG	Raumüberwachung auch bei geschlossenen Schlagbäumen wirksam in Signalsteuerung, wenn Raumüberwachung vorhanden.
32	FZB	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit der Schienenfahrzeuge verbessern durch zusätzliche Beleuchtung der Schienenfahrzeuge

Nr.	Bereich	Verhalten	5 Es	Massnahme
33	FZB	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit der Schienenfahrzeuge verbessern durch knallige Farbgebung
34	FZB	AUSF	ENG	Wechsel der Betriebsform von Zug zu Strassenbahn
35	FZB	AUSF	ENG	Reduktion der Geschwindigkeit bahnseitig
36	IT	INFO	ENG	Information im Navi, Anzeige des BUE
37	IT	INFO	ENG	Information über automatische Einwirkung auf Auto-Radio (analog Verkehrsdurchsagen) bei Annäherung an BUE
38	IT	INFO	ENG	Warnung der Strassenverkehrsteilnehmer über Navis, optische und akustische Warnung
39	IT	INFO	ENG	Warnung der Strassenverkehrsteilnehmer über Smartphones (App) oder Smartwatches, optische und akustische Warnung
40	IT	INFO	ENG	Warnung der Strassenverkehrsteilnehmer vor BUE als Bestandteil des autonomen Fahrens (unterschiedliche Abstufungen) (korrespondiert mit Nr. 36 durch digitale Echtzeitkarten)
41	IT	ENTSC	ENFO	Registrierung des Fehlverhaltens durch car2x ("Digitaler Blitzkasten")
42	IT	AUSF	ENFO	Eingriff in die Führung des Fahrzeugs bei Fehlverhalten; ausgelöst durch Sensorik, Video-Sequenz-Analyse oder car2x, Teil des autonomen Fahrens (Notbremsung)
43	IT	AUSF	ENG	Routenvorschlag durch Navi ohne (Warten/Zeitverlust am) BUE
44	MA		EDU	Vertiefte Schulung der Polizei im Kontext Bahnübergang (z.B. Unfallaufnahme)
45	MA		EVAL	Einbezug der Sicherheitsdelegierten der Strasse bei der Analyse und Sanierung von BUE, Zusammenarbeit Bahn/Strasse
46	MA		EVAL	Koordination der Unfallaufnahme und Unfallstatistik Bahn / Strasse (BAV/ASTRA)
47	MA		EVAL	Systematische Audits von BUE analog Road Safety Audits (über die Konformität mit Vorschriften/Normen hinausgehend) Defizitanalysen und aggregierte Analysen von Defizitclustern, Blickwinkel sämtliche Stakeholder
48	MA		EVAL	Besonderes Augenmerk (vertiefte Analysen/Audit) auf BUE, welche in Verkehrsknoten mit LSA integriert sind
49	MA		EVAL	Bahnübergangsschauen nach dem Muster der Deutschen Bahn (spezielle Form von Audits)
50	MA		EVAL	Schweizweit einheitliche Aufnahme und Auswertung von Beinaheunfällen/Gefährdungen durch Bahnen (Datenbasis und Erkenntnis)
51	MA		EVAL	Video-Sequenzanalyse zum Erfassen von Fehlverhalten (Erkenntnisgewinn und Ableiten von Massnahmen)
52	MA	Übergeordnet		Das Konzept der Self Explaining and Forgiving Road auf die Bahnübergänge übertragen (SERFOR) (Über bereits aufgeführte Massnahmen hinaus)
53	SAN	ENTSCH	ENG	Kurze direkte Fusswegverbindungen (Vermeiden von Schleichwegen)
54	SAN		ENG	Ersatz der BUE durch Unter- oder Überführung
55	SAN		ENG	Einsatz einer höherwertigen Bahnübergangssicherung (BUE-Typ), "Upgrade"
56	SAN		ENG	Aufhebung eines BUE und alternative Erschliessung
57	SIG	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit von Vorankündigungsschildern zu den BUE erhöhen durch pulsierende Lichter
58	SIG	ERKENN	ENG	Bessere Sichtbarkeit des BUE durch Bodenmarkierungen/Schraffuren (Farben, Fahrbahnmarkierungen)
59	SIG	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit des BUE erhöhen durch Projektion/Laser (auch bei Schneebedeckung wirksam)
60	SIG	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit des BUE erhöhen durch aktive Beleuchtung der Schrankenbäume (Lichterketten) in Blink oder Lauflichtfunktion
61	SIG	ERKENN	ENG	Virtuelle Wand/Fläche mittels Projektionstechnik erzeugen
62	SIG	ERKENN	ENG	In die Strasse eingelassene LED-Markierungsleuchten ("Lane lights" zur Aufmerksamkeitserhöhung): Quer (Kennzeichnung des BUE) oder Längs (Beeinflussen der Fussgänger)
63	SIG	ERKENN	ENG	PeriLight - periphere Lichtreize (ausgelöst durch Zufahrt des Strassenverkehrsteilnehmers zum BUE)
64	SIG	ERKENN	ENG	Auffällige Portalrahmen, an dem die Signale aufgehängt sind, farblich hervorgehoben (auch Torwirkung zur Geschwindigkeitsreduktion)
65	SIG	ERKENN	ENG	Tempo 30 an BUE innerorts

Nr.	Bereich	Verhalten	5 Es	Massnahme
66	SIG	ERKENN	ENG	Blitzlichter anstelle von Blinklichtern
67	SIG	ERKENN	ENG	Drehleuchten anstelle von Blinklichtern
68	SIG	ERKENN	ENG	Zusätzliche Schilder, Aufschriften oder Symbole, um die Wahrnehmbarkeit zu erhöhen
69	SIG	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit/Prägnanz des Blinklichts erhöhen: Einsatz schärferer/klarerer Beleuchtungsmittel (LED)
70	SIG	ERKENN	ENG	Sichtbarkeit/Prägnanz der Signalisation erhöhen: Einsatz auffälliger Farben, retroreflektierende Signalisation, Schriftgrösse/Schriftart aus Sicht Humanfaktoren, Zeitmässigkeit der Symbolik
71	SIG	ERKENN	ENG	Grün/rot beleuchtete Schranken in Abhängigkeit des Zustands offen/geschlossen
72	SIG	INFO	ENG	Entflechten von Signalen für die Strasse und den BUE: Standorte und Anordnung trennen ("Komplexitätsreduktion")
73	SIG	INFO	ENG	Dynamische Rückmeldesysteme bei der Annäherung an den BUE (z.B. mit LED-Markierungsleuchten, wenn ein Zug naht)
74	SIG	INFO	ENG	Dynamische Rückmeldesysteme bei der Annäherung an den BUE (z.B. Schilder und/oder akustische Warnung bei der Annäherung aktivieren, wenn ein Zug naht)
75	SIG	INFO	ENG	Hinweis "Rechts und Links nach Zug Schauen"
76	SIG	INFO	ENG	Optimierung, Ausdehnung und Differenzierung der akustischen Warnsignale bzw. Hinweise an BUE (Aufwertung vorhandener akustischen Signale)
77	SIG	INFO	ENG	Zusätzliche optische und/oder akustische Signale am Bahnübergang (z.B. Warn- ton, kritischer Situation)
78	SIG	WISS	ENG	Verwendung von Stoppschildern bei Andreaskreuzen
79	SIG	WISS	ENG	Ersatz von Blinklichtsignalen durch Lichtsignale (einheitliche Signale und deren Bedeutung bei Strasse und Bahn)
80	SIG	ENTSC	ENG	Kennzeichnung/Angabe, wenn mehr als ein Schienenfahrzeug während der Schliessung den BUE passiert (Warnanzeige über Annäherung eines zweiten Zugs)
81	SIG	ENTSC	ENG	Anzeige/Angabe eines Zeit-Countdowns bis zur Zugvorbeifahrt (Erwartungssteuerung, Motivation zum Warten)
82	SIG	ENTSC	EDU	Beschriftung der Barriere: "Im Notfall durchbrechen" (oder ähnliches)
83	VOR	ENTSC	ENFO	Verkehrskontrollen und Erhöhung des Strafmasses bei gezielten Verstössen
84	VOR	ENTSC	ENFO	Videoüberwachung mit oder ohne Ahndung von Fehlverhalten
85	VOR	ENTSC	ENFO	Rotlichtkameras (allenfalls beschränkt auf LSA)
86	VOR	ENTSC	ENG	Fahrverbot für Schwerverkehr bei kritischer Strassenführung (Breite, Kurve, Abzweigung, Aufsetzen)
87	VOR	ENTSC	ENG	Abbiegeverbote, Fahrverbote
88	IT		ENG	App mit automatischer Geo-Referenzierung, wo Verkehrsteilnehmer Infrastrukturmängel melden können.
89	SIG		ENG	Angabe von Kontaktinfos (Tel-Nr.) bei BUE, wo Verkehrsteilnehmer Infrastrukturmängel melden können.
90	BUE		EMS	Notruf-Sprechsäule mit direkter Verbindung zur BZ/Polizei
91	VT	WISS	EDU	Vorschriften und Verhalten an BUE in der Fahrschulausbildung (inkl. "Abschrecken" durch Hinweise auf Unfallkonsequenzen)
92	VT	WISS	EDU	Sensibilisierung des Fahrlehrpersonals in der Fahrlehrerausbildung
93	VT	WISS	EDU	Lokale Kampagne zur Sensibilisierung (ausgerichtet auf die konkrete Situation und spezifische Nutzergruppen), z.B. Kampagne "Cowboy"
94	VT	WISS	EDU	Ausbildungskampagne: Bedeutung der Signalisationen und korrektes Verhalten (Hypothese: die Verkehrsteilnehmer haben nicht das nötige Wissen)
95	VT	ENTSC	EDU	Plakate/Darstellungen, welche auf die Unfallkonsequenzen bei einem Verstoß hinweisen (nach dem Muster "Rauchen ist tödlich" oder "Bilder Sagen mehr als 1000 Worte" - Crashvideo ÖBB). Auch vor Ort ("Unfallzähler")
96	VT	ENTSC	EDU	Kampagne mit Fokus auf die Bedeutung des Blinklichtsignals (Blinken = Halt) und der Strafrechtlichen Konsequenzen (kombiniert mit Enforcement)