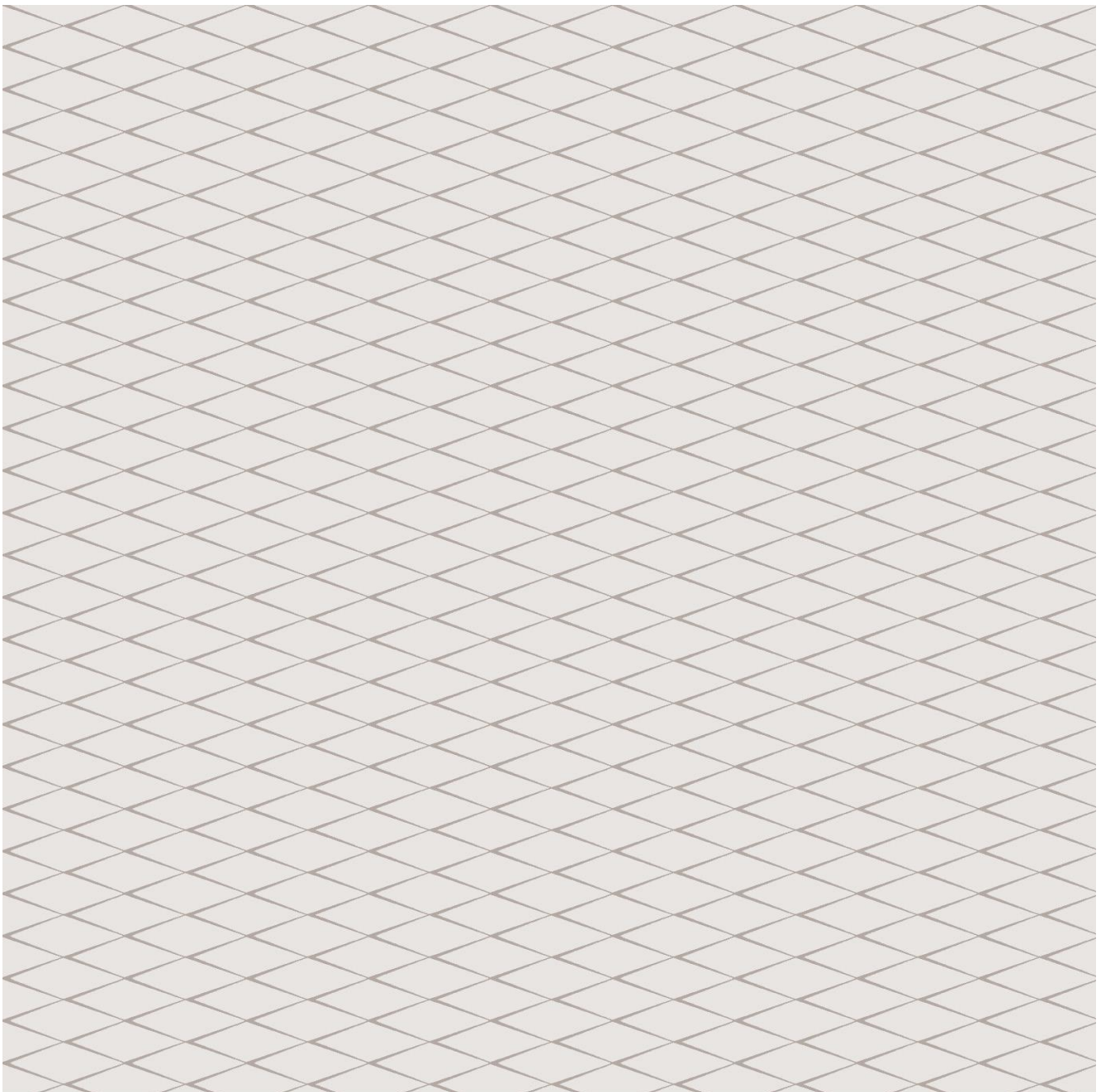


Strassenüberführung Fulachstrasse und Dienstgebäude DG07

Anprallrisikoanalyse nach UIC-Kodex 777-2
31.01.2019



Projektteam

Helgi Hafsteinsson

Pierre Schindler

Charles Fermaud



EBP Schweiz AG

Zollikerstrasse 65

8702 Zollikon

Schweiz

Telefon +41 44 395 11 11

info@ebp.ch

www.ebp.ch

Druck: 31. Januar 2019

2019-01-31_Bericht_Anprallrisikoanalyse_Fulachstrasse.docx

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Systembeschreibung	5
2.1	Situation und betriebliche Eckdaten	5
2.2	Abgrenzung	9
3.	Massnahmen	9
4.	Ergebnisse	12
4.1	Ausgangszustand	12
4.2	Mit Massnahmen	13
4.3	Sensitivität der Ergebnisse	15
5.	Folgerung	15
6.	Literatur	16

Anhang

A1	Details zur Quantifizierung der Ereignisbäume	17
A2	Ergebnisse zu den Anprallsituationen	26
A2.1	Anprallobjekt Fulachbrücke	26
A2.2	Anprallobjekt Dienstgebäude (BWK-B und BWK-C-Teil 2)	27
A2.3	Anprallobjekt Dienstgebäude (BWK-C-Teil 2 (Remise))	28
A3	Ausgewählte Ereignisbäume	30
A4	Grobüberprüfung Tragsicherheit der Brückenpfeiler	38
A4.1	Aufgabe / Fragestellung	38
A4.2	Für die Grobüberprüfung relevanten Grundlagen	39
A4.3	Aussergewöhnliche Einwirkungen	39
A4.4	Grobüberprüfung Unterstützung (Pfeiler / Fundament)	41
A4.5	Aussage zum Brückenträger bei einem Pfeilerausfall	43
A5	Abschätzung Gebäudeverhalten DG07 beim Anprall	44
A5.1	Aufgabe	44
A5.2	Ausgangslage	44
A5.3	Abschätzung	44

1. Einleitung

Nördlich des Bahnhofs Schaffhausen überquert die Strassenüberführung Fulachstrasse die SBB Gleise sowie die Nationalstrasse A4 kurz vor dem Portal des Schönenbergtunnels.

Strassenüberführung Fulachstrasse

Im Bereich der Strassenüberführung planen die SBB neue Gleisanlagen:

Anprallobjekte:
Brückenpfeiler und
Dienstgebäude

— Im Projekt «Schaffhausen Annahmegütergleis» kommen die Gleise näher an die nördliche Stütze der Strassenüberführung und dem Dienstgebäude DG07 zu liegen.

— Darüber hinaus werden im Rahmen des Projekts «Wiederinbetriebnahme Gleis O1 und O2» neue Gleise in der Nähe der südlichen Stütze der Strassenüberführung geplant.

Die geplanten Änderungen erfordern eine Beurteilung der Anprallrisiken.

Die vorliegende Untersuchung analysiert die Risiken durch Anprall eines entgleisten Schienenfahrzeugs und beurteilt mögliche zusätzliche Massnahmen zum Schutz vor Anprall. Die Risikoanalyse und die Massnahmenbeurteilung stützen sich auf das Vorgehen, wie es in der AB-EBV [4] bzw. im UIC-Kodex 777-2 [1] beschrieben ist.

Anprallrisikoanalyse und Massnahmenbeurteilung

Die Risikoanalyse basiert im Wesentlichen auf den folgenden Grundlagen:

Grundlagen

- [I] Plan: Schaffhausen, Gleisprojektplan 1:500, Plan Nr. sh_037, SBB 19.09.2018
- [II] Grundlagen zur Berechnung Anprallschutz Sue Fulachstrasse und Dienstgebäude DG07 – Horizont 2027/2030, Angaben zu Zugzahlen und Zuggeschwindigkeiten, SBB, zugestellt am 05.12.2018
- [III] Email von Herr S. Windmüller, vom 28.09.2018 mit Angaben zur Unterteilung des Dienstgebäudes
- [IV] Email von Herr S. Windmüller, vom 29.11.2018 mit Angaben zum Schadenausmass bei einem Kollaps des Dienstgebäudes
- [V] Verkehrszählungen – Wochentabelle, Fulachbrücke – Grünau, TBA Kanton Schaffhausen, zugestellt von der SBB am 05.12.2018
- [VI] Baupläne der Fulachbrücke, Tiefbau Schaffhausen – Verkehr und Infrastrukturbau (Vgl. Anhang A4.2), zugestellt von der SBB am 05.12.2018
- [VII] Plan: Grundriss Dienstgebäude DG7 1:50, 31.08.1967, zugestellt von der SBB am 28.09.2018
- [VIII] Plan: Schaffhausen, Gleisprojektplan 1:500, Plan Nr. sh_032c, SBB 30.08.2018

2. Systembeschreibung

2.1 Situation und betriebliche Eckdaten

2.1.1 Fulachbrücke

In Abbildung 1 ist die Situation im Bereich der Fulachbrücke schematisch dargestellt: Gleise, Anprallobjekte (Brückenpfeiler – grün markiert) sowie die betrachteten Anprallszenarien (blaue Pfeile).

Situation mit Anprallszenarien

Für die untersuchten Anprallobjekte sind die beiden Gleise R8 und R7 (für die nördliche Stütze) sowie die Gleise O3, E31 und E41<=>Z1/2 relevant. Weitere Gleise sind aufgrund des Abstandes von > 8 m zum Anprallobjekt nicht zu berücksichtigen [2].

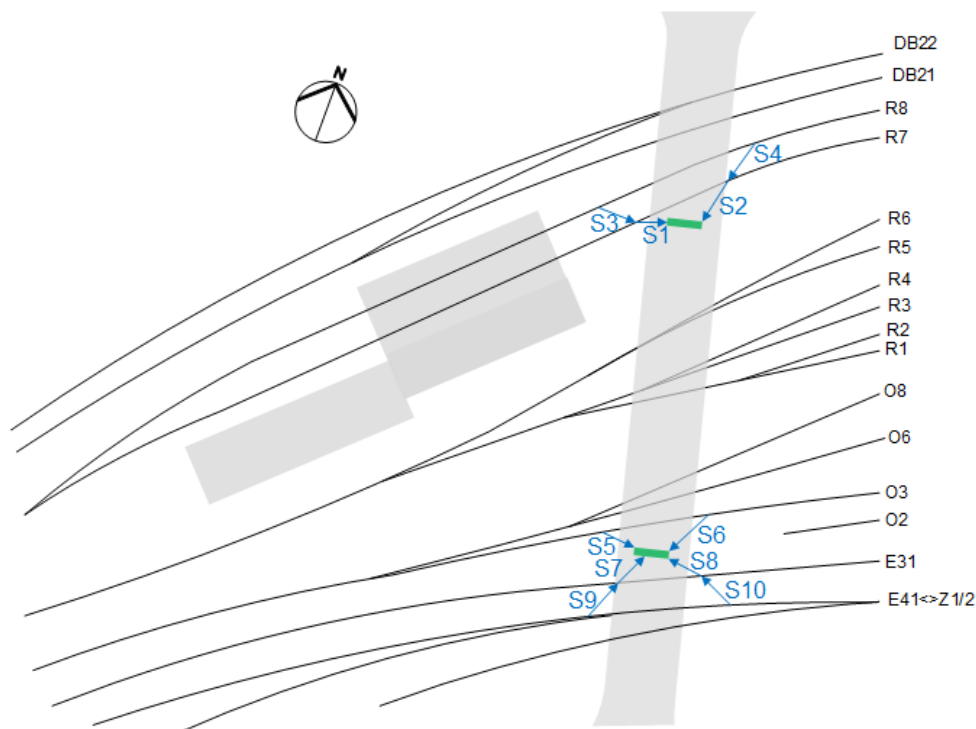


Abbildung 1: Situation bei der Fulachstrasse (schematisch) [I]

Bei einer maximalen Geschwindigkeit von 30 km/h (Gleis R8) [II] resp. 40 km/h (restliche Gleise) ergibt sich eine kritische Distanz (d_{cr}) von 11.25 m¹ resp. 20 m. Innerhalb dieser Distanz ist beim Szenario S9 eine zu berücksichtigende Weiche vorhanden [I].

Kritische Distanz, Weichen

Im Bereich der kritischen Distanz (d_{cr}) weist die Linienführung eine Kurvenlage auf [I]. Die nördliche Stütze befindet sich auf der Innenseite der Kurve; der Einfluss der Krümmung ist daher nicht zu berücksichtigen [2]. Die südliche Stütze befindet sich auf der Kurvenaussenseite von Gleis E41<=>Z1/2; der Gleisabstand zum Anprallobjekt wird daher rechnerisch angepasst. Innerhalb der kritischen Distanz weisen Gleise O3 und E31 keine relevante Krümmung auf.

Kurvenlage

1 Berechnung siehe Anhang A1

Die Brückenpfeiler wurden einer Grobüberprüfung bezüglich Tragsicherheit beim Anprall unterzogen. Es wird davon ausgegangen, dass die Brückenpfeiler einem Zuganprall mit einer hohen Wahrscheinlichkeit standhalten (vgl. auch die Abschätzung in Anhang A4).

Tragsicherheit der Pfeiler gewährleistet

Die Zugzahlen und Zuggeschwindigkeiten basieren auf Angaben der SBB ([II], [VIII]) und gelten für den Prognosehorizont 2030. Auf den relevanten Gleisen verkehren ausschliesslich Güter-/Dienstzüge. Aus den betrieblichen Daten und dem Anprallobjekt ergeben sich die Entgleisungs- und Anprallsituationen gemäss Tabelle 1 (für weitere Angaben siehe Anhang A1).

Betriebliche Eckdaten

Szenario	Gleis	Zugstyp	Geschwindigkeit [km/h] [II], [VIII]	Anzahl Züge pro Tag [II]	Abstand An- prallobjekt zu Gleisachse [m] [I]
S1	R7	Güterzug	40	4	2.60
S2	R7	Güterzug	40	4	2.60
S3	R8	Güterzug	30	2	7.30
S4	R8	Güterzug	30	2	7.30
S5	O3	Güterzug	40	2	4.30
S6	O3	Güterzug	40	2	4.30
S7*	E31	Güterzug	40	8	3.46
S8*	E31	Güterzug	40	8	3.46
S9*	E41<>Z1/2	Güterzug	40	10	7.66**
S10*	E41<>Z1/2	Güterzug	40	10	7.66**

Tabelle 1: Übersicht über den Zugverkehr (Anprallobjekt = Brückenpfeiler)

- * Zwischen Gleis E31 und dem südlichen Brückenpfeiler verläuft eine Stützmauer, die im Ereignisfall eine ähnliche Funktion wie eine Leitkante ausüben würde. Dieser Aspekt wirkt sich günstig auf die Risiken, wird jedoch im Rahmen einer konservativen Betrachtung nicht rechnerisch berücksichtigt.
- ** Der effektive Abstand beträgt 7.90 m. Dieser wird gemäss dem Vorgehen nach [2] in Abhängigkeit der Kurvenradien ($R_v = 212.5\text{m}$) und d_{cr} rechnerisch abgemindert.

2.1.2 Dienstgebäude DG07

Die Situation beim Dienstgebäude DG07 ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Das Dienstgebäude kann in drei unterschiedliche Gebäudeteile unterteilt werden [III], die im Rahmen der vorliegenden Analyse als drei unterschiedliche Anprallobjekte betrachtet werden:

Gebäudeteile und Anprallszenarien

- Gebäudeteil der Bauwerksklasse B (Stellwerk, grün markiert). Anprallszenarien Z1 – Z4.
- Remise zu DG07: Gebäudeteil der Bauwerksklasse C – Teil 1 (orange markiert). Für diesen Gebäudeteil ist ein Abbruch vorgesehen (ab ca. 2024 [II]). Anprallszenarien X1 – X8.
- Gebäudeteil der Bauwerksklasse C – Teil 2 (lila markiert). Anprallszenarien Z5 – Z8.

Für die beiden südlichen Gebäudeteile (grün und lila markiert) sind die Gleise R8 und R7 relevant. Weitere Gleise (inkl. R5/R6) sind aufgrund des Abstandes von > 8 m zu den Anprallobjekten nicht zu berücksichtigen [2]. Die Beurteilung der Anprallsituation dieser Gebäudeteile erfolgt für den Zustand nach dem Abbruch der Remise.

Für die Remise (orange markiert) sind neben den Gleisen R8 und R7 die Gleise DB22 und DB21 von Relevanz. Da die Remise durchfahren werden kann, ergeben sich auf der südöstlichen Seite die gleichen Anprallszenarien. Da die Situation symmetrisch ist, werden diese Szenarien nicht getrennt aufgeführt.

Es ist zu erwarten, dass die Anprallszenarien X1 bis X6 keine massgebenden Risiken ergeben. Die Szenarien werden trotzdem mitberücksichtigt, um ein vollständiges Bild zu erhalten (konservative Betrachtung).

Anmerkung zur Remise

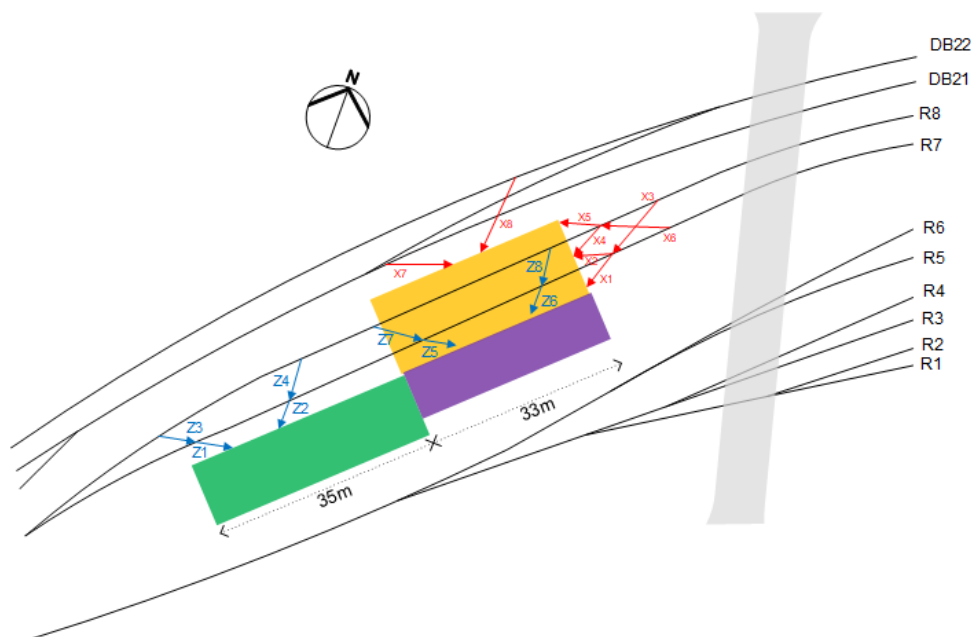


Abbildung 2: Situation beim Dienstgebäude (schematisch) [I]

Bei einer maximalen Zuggeschwindigkeit von 80 km/h auf den Gleisen DB21 und DB22 ergibt sich eine kritische Distanz von 80 m. Innerhalb dieser Distanz sind für Szenario X7 zwei Weichen und für X8 eine Weiche relevant.

Kritische Distanz, Weichen

Auf Gleis R7 beträgt die kritische Distanz 20 m (40 km/h) und auf Gleis R8 11.25 m (30 km/h); Hier ist eine Weiche für die Szenarien Z1 und Z3 von Bedeutung.

Im Bereich der kritischen Distanz (d_{cr}) weist die Linienführung eine Kurvenlage auf (Gleise DB21 und DB22) [I]. Das Anprallobjekt befindet sich auf der Kurveninnenseite; der Einfluss der Krümmung ist daher nicht zu berücksichtigen [2].

Kurvenlage

Es ist davon auszugehen, dass das Dienstgebäude nicht auf Anprall bemessen ist, jedoch dass ein Zuganprall zu keinem Gesamteinsturz des Gebäudes führt (vgl. Anhang A5).

Gebäudeverhalten beim Anprall

Die Zugzahlen und Zuggeschwindigkeiten basieren auf Angaben der SBB [I] und gelten für den Prognosehorizont 2030. Dabei werden Reisezüge (R) und Güter-/Dienstzüge (G) separat betrachtet. Aus den betrieblichen Daten und dem Anprallobjekt ergeben sich die Entgleisungs- und Anprallsituationen gemäss Tabelle 2 (für weitere Angaben siehe Anhang A1).

Betriebliche Eckdaten

Szenario	Gleis	Anprallobjekt (Gebäudeteil)	Zug	Geschwindigkeit [km/h] [II]	Anzahl Züge pro Tag [II]	Abstand Anprallobjekt zu Gleisachse [m] [I]
Z1	R7	Stellwerk, BWK-B	G	40	4	3.55
Z2	R7	Stellwerk, BWK-B	G	40	4	3.55
Z3	R8	Stellwerk, BWK-B	G	30	2	7.26
Z4	R8	Stellwerk, BWK-B	G	30	2	7.26
Z5	R7	Dienstgebäude, BWK-C-Teil 2	G	40	4	2.05
Z6	R7	Dienstgebäude, BWK-C-Teil 2	G	40	4	2.05
Z7	R8	Dienstgebäude, BWK-C-Teil 2	G	30	2	7.05
Z8	R8	Dienstgebäude, BWK-C-Teil 2	G	30	2	7.05
X1*	R7	Remise, BWK-C-Teil 1	G	40**	4	2.05
X2*	R7	Remise, BWK-C-Teil 1	G	40**	4	2.05
X3*	R8	Remise, BWK-C-Teil 1	G	30**	2	7.05
X4*	R8	Remise, BWK-C-Teil 1	G	30**	2	2.05
X5*	R8	Remise, BWK-C-Teil 1	G	30**	2	2.05
X6*	R7	Remise, BWK-C-Teil 1	G	40**	4	7.05
X7	DB21	Remise, BWK-C-Teil 1	R	80	114	3.88
X7	DB21	Remise, BWK-C-Teil 1	G	80	30	3.88
X8	DB22	Remise, BWK-C-Teil 1	R	80	114	7.90
X8	DB22	Remise, BWK-C-Teil 1	G	80	30	7.90

Tabelle 2: Übersicht über den Zugverkehr (Anprallobjekt = Dienstgebäude)

* Gilt auch für die gegenüberliegende Einfahrt in die Remise

** Ausgesprochen konservative Annahme

2.2 Abgrenzung

Es werden folgende Schäden bzw. Risiken betrachtet (Tabelle 3):

Berücksichtigte
Schäden und
Risiken

Risiken	Fulach- brücke	Stellwerk (BWK B)	Dienst- gebäude (BWK C)	Remise (BWK C)
Personenrisiken				
Anprallender Zug	X	X	X	X
Zug auf Nachbargleis	X	X	X	X
In Gebäude/ auf Brücke	X			
Sachschaden				
Direkter Sachschaden				
Betriebliche Folgekosten		X	X	X

Tabelle 3: Berücksichtigte Schäden

Da sich in der Regel nur wenige oder keine Personen in den Gebäuden aufhalten, werden in den Gebäuden keine entsprechenden Schäden berücksichtigt.

Direkte Sachschäden sind bei Anprallrisikoanalysen nur in Ausnahmen relevante, wenn es sich um ausgesprochen aufwändige Bauwerke handelt. Berücksichtigt werden jedoch betriebliche Folgeschäden (siehe [IV]).

Direkte
Sachschäden

3. Massnahmen

Zur Reduktion der Anprallrisiken bei der Fulachbrücke werden folgende Massnahmen geprüft:

Massnahmen -
Fulachbrücke

— Leitkante:

- M1.S1/3 (LK für nördlichen Brückenpfeiler Seite West)
- M1.S2/4 (LK für nördlichen Brückenpfeiler Seite Ost)
- M1.S5 (LK für südlichen Brückenpfeiler Seite Nord-West)
- M1.S6 (LK für südlichen Brückenpfeiler Seite Nord-Ost)
- M1.S7/9 (LK für südlichen Brückenpfeiler Seite Süd-Ost)
- M1.S8/10 (LK für südlichen Brückenpfeiler Seite Süd-West)

— Leitwinkel:

- M2.S1/3 (LW für nördlichen Brückenpfeiler Seite West)
- M2.S2/4 (LW für nördlichen Brückenpfeiler Seite Ost)
- M2.S5 (LW für südlichen Brückenpfeiler Seite Nord-West)
- M2.S6 (LW für südlichen Brückenpfeiler Seite Nord-Ost)
- M2.S7/9 (LW für südlichen Brückenpfeiler Seite Süd-Ost)
- M2.S8/10 (LW für südlichen Brückenpfeiler Seite Süd-West)

Beim Dienstgebäude werden folgende Leitkanten untersucht:

Massnahmen -
Dienstgebäude

— Stellwerk

- M1.Z1/3 (LK für BWK-B entlang Gleis R7 Seite West)
- M1.Z2/4 (LK für BWK-B entlang Gleis R7 Seite Ost)

— Dienstgebäude

- M1.Z5/7 (LK für BWK-C-Teil 2 entlang Gleis R7 Seite West)
- M1.Z6/8 (LK für BWK-C-Teil 2 entlang Gleis R7 Seite Ost)

— Remise

- M1.X1/3 (LK für Remise entlang Gleis R7 Seite Ost)
- M1.X2 (LK für Remise zwischen den Gleisen R7/R8 Seite Ost)
- M1.X4 (LK für Remise zwischen den Gleisen R7/R8 Seite Ost)
- M1.X5/6 (LK für Remise neben entlang Gleis R8 Seite Ost)
- M1.X7 (LK entlang Gleis DB21 Seite West)
- M1.X8 (LK entlang Gleis DB21 Seite Ost)

Die Leitkanten entlang der Gleise R7 und R8 bei der Remise würden durch das Gebäude hindurch führen. Wie weit dies realisierbar und sinnvoll ist, wird nicht weiter geprüft, da voraussichtlich die Massnahmen nicht verhältnismässig sind.

Anmerkung zu den
Leitkanten bei der
Remise

Aufgrund der Ausdehnung der Gebäude sind Leitwinkel als Massnahme zur Reduktion der Anprallrisiken wenig geeignet und werden daher nicht geprüft.

Leitwinkel bei den
Gebäuden

Die Leitkanten beginnen in der kritischen Distanz vor dem Anprallobjekt und decken das Objekt vollständig ab. Die Länge setzt sich somit aus d_{cr} sowie der Ausdehnung der Anprallobjekte zusammen. Sind Weichen vollständig innerhalb d_{cr} , wird die Leitkante bis zum Weichenende bzw. Weichenanfang angeordnet (hier für M1.X8). Die Ausbildung und Bemessung der Massnahme Leitkante erfolgt gemäss den Vorgaben der AB-EBV [4].

Ausbildung der
Leitkanten

Auch die Ausbildung und Bemessung der Leitwinkel erfolgt gemäss den Vorgaben der AB-EBV [4] und deckt die Anprallobjekte (Stützen) vollständig ab.

Ausbildung der
Leitwinkel

Die Investitionskosten für die untersuchten Massnahmen basieren auf Erfahrungswerten. Die angegebenen Kosten sind als grobe Schätzung zu verstehen. Die Investitionskosten sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

Kostenschätzung

Zur Umrechnung der Investitionskosten (I) in Jahreskosten (JK) sind die Lebenserwartung (n) der Massnahme sowie der Kalkulationszinssatz (p) zu berücksichtigen². Die Lebenserwartung (n) wird mit 100 Jahren bzw. mit 5 Jahren für die Remise (Abbruch ca. 2024 vorgesehen) und der Zinssatz mit 4% angesetzt (üblicher Wert für analoge Massnahmenbeurteilung bei der SBB). Betriebs- und Unterhaltskosten für bauliche Massnahmen werden mit 1% der Investitionskosten veranschlagt.

Ermittlung der Jahreskosten

² $JK = I \cdot \frac{r^n}{r^n - 1} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)$

Massnahme	Anprallobjekt	Szenarien	Länge [m]	Investitionskosten ³ (I) [CHF]	Unterhalts-/Betriebskosten [CHF/J]	Jahreskosten (JK) [CHF/J]	Jährliche Gesamtkosten [CHF/J]
M1.S1/3 (LK)	Pfeiler-Nord	S1, S3	23	115'000	1'150	4'693	5'843
M1.S2/4 (LK)	Pfeiler-Nord	S2, S4	23	115'000	1'150	4'693	5'843
M1.S5 (LK)	Pfeiler-Süd	S5	23	115'000	1'150	4'693	5'843
M1.S6 (LK)	Pfeiler-Süd	S6	23	115'000	1'150	4'693	5'843
M1.S7/9 (LK)	Pfeiler-Süd	S7, S9	23	115'000	1'150	4'693	5'843
M1.S8/10 (LK)	Pfeiler-Süd	S8, S10	23	115'000	1'150	4'693	5'843
M2.S1/3 (LW)	Pfeiler-Nord	S1, S3	-	215'000	2'150	8'774	10'924
M2.S2/4 (LW)	Pfeiler-Nord	S2, S4	-	215'000	2'150	8'774	10'924
M2.S5 (LW)	Pfeiler-Süd	S5	-	215'000	2'150	8'774	10'924
M2.S6 (LW)	Pfeiler-Süd	S6	-	215'000	2'150	8'774	10'924
M2.S7/9 (LW)	Pfeiler-Süd	S7, S9	-	215'000	2'150	8'774	10'924
M2.S8/10 (LW)	Pfeiler-Süd	S8, S10	-	215'000	2'150	8'774	10'924
M1.Z1/3 (LK)	BWK-B	Z1, Z3	56	277'500	2'775	11'324	14'099
M1.Z2/4 (LK)	BWK-B	Z2, Z4	56	277'500	2'775	11'324	14'099
M1.Z5/7 (LK)	BWK-C-Teil 2	Z5, Z7	56	277'500	2'775	11'324	14'099
M1.Z6/8 (LK)	BWK-C-Teil 2	Z6, Z8	56	277'500	2'775	11'324	14'099
M1.X1/3 (LK)	Remise	X1, X3	53	265'000	2'650	59'526	62'176
M1.X2 (LK)	Remise	X2	53	265'000	2'650	59'526	62'176
M1.X4 (LK)	Remise	X4	44	220'000	2'200	49'418	51'618
M1.X5/6 (LK)	Remise	X5, X6	53	265'000	2'650	59'526	62'176
M1.X7 (LK)	Remise	X7	113	565'000	5'650	126'914	132'564
M1.X8 (LK)	Remise	X8	80	400'000	4'000	89'851	93'851

Tabelle 4: Kosten der geprüften Massnahmen

3 Ansatz für Leitkante: 5'000 CHF/m'

Ansatz für Leitwinkel: CHF 200'000.-, plus 5'000 CHF/m' für die Länge des Anprallobjektes (Stütze = 3m)

4. Ergebnisse

4.1 Ausgangszustand

Die Anprallrisiken im Ausgangszustand sind in Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7 zusammengestellt.

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko im Ausgangszustand [CHF/J]									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Entgleisung ohne Anprall	0.1 20.0%	0.1 20.0%	0.1 100.0%	0.1 100.0%	0.1 49.5%	0.1 49.5%	0.2 32.5%	0.2 32.5%	101.0 100.0%	0.7 100.0%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.4 80.0%	0.4 80.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.1 50.5%	0.1 50.5%	0.5 67.5%	0.5 67.5%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	0.5 (100%)	0.5 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.7 (100%)	0.7 (100%)	101.0 (100%)	0.7 (100%)

Tabelle 5: Monetarisiertes Risiko ohne Massnahmen für die Fulachbrücke

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko im Ausgangszustand [CHF/J]							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Entgleisung ohne Anprall	17.6 3.5%	0.3 3.5%	10.4 100.0%	0.1 100.0%	0.2 7.0%	0.2 7.0%	0.1 100.0%	0.1 100.0%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.7 0.1%	0.0 0.1%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.4%	0.0 0.4%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	487.4 96.4%	7.7 96.4%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	2.5 92.6%	2.5 92.6%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	505.7 (100%)	8.0 (100%)	10.4 (100%)	0.1 (100%)	2.7 (100%)	2.7 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)

Tabelle 6: Monetarisiertes Risiko ohne Massnahmen für Gebäudeteil BWK-B (Z1-Z4) und BWK-C-Teil 2 (Z5-Z8)

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko im Ausgangszustand [CHF/J]							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
Entgleisung ohne Anprall	0.2 7.0%	0.2 7.0%	0.1 100.0%	0.1 9.2%	0.1 9.2%	0.3 99.3%	13'490.2 41.8%	10'734.4 91.3%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.0 0.4%	0.0 0.4%	0.0 0.0%	0.0 0.6%	0.0 0.6%	0.0 0.1%	80.4 0.2%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	2.5 92.6%	2.5 92.6%	0.0 0.0%	0.9 90.2%	0.9 90.2%	0.0 0.6%	18'729.4 58.0%	1'023.5 8.7%
Summe	2.7 (100%)	2.7 (100%)	0.1 (100%)	1.0 (100%)	1.0 (100%)	0.3 (100%)	32'300.0 (100%)	11'757.9 (100%)

Tabelle 7: Monetarisiertes Risiko ohne Massnahmen für die Remise.

Aus den Ergebnissen sind folgende Punkte ersichtlich:

- Die Ausgangsrisiken für die Fulachbrücke sind vernachlässigbar klein (vgl. Tabelle 5). Diese ergeben sich aufgrund der geringen Zugzahlen, der kleinen Fahrgeschwindigkeiten, der Abwesenheit von Weichen (Ausnahme: Szenario S9) sowie der Tatsache, dass ein Anprall mit geringer Wahrscheinlichkeit zum Brückeneinsturz führt.
- Die Risiken für die Gebäudeteile BWK-B und BWK-C-Teil 2 des Dienstgebäudes fallen auch gering aus (siehe Tabelle 6). Hier dominiert Szenario Z1 aufgrund der vorhandenen Weiche.
- Für die Remise (Tabelle 7) resultieren für Szenarien X1 bis X6 aufgrund der geringen Zugzahlen, der niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und der Abwesenheit von Weichen ebenfalls äusserst kleine Risiken. Szenarien X7 und X8 weisen relevante Risiken auf. Dies ist auf die höheren Zugzahlen, die höheren Fahrgeschwindigkeiten, die vorhandene Weichen sowie die Beteiligung von Reisezügen mit potenziell höherem Schadenausmass zurückzuführen.

4.2 Mit Massnahmen

Die Ergebnisse der Massnahmenwirkung sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Details zu den Risikoberechnungen und der Wirkung der Massnahmen sind in den Anhängen A1 und A2 dokumentiert.

Zusammenfassung der Massnahmenwirkung

Massnahme	Anprallobjekt	Szenario	Verbleibendes monetarisiertes Risiko [CHF/J]	Risikoreduktion [CHF/J]	Jährliche Gesamtkosten [CHF/J]	Risikoreduktion / Gesamtkosten [CHF/J]
M1.S1/3 (LK)	Pfeiler-Nord	S1, S3	0.2	0.4	5'843	<0.01
M1.S2/4 (LK)	Pfeiler-Nord	S2, S4	0.2	0.4	5'843	<0.01
M1.S5 (LK)	Pfeiler-Süd	S5	0.1	0.1	5'843	<0.01
M1.S6 (LK)	Pfeiler-Süd	S6	0.1	0.1	5'843	<0.01
M1.S7/9 (LK)	Pfeiler-Süd	S7, S9	101.3	0.4	5'843	<0.01
M1.S8/10 (LK)	Pfeiler-Süd	S8, S10	1.0	0.4	5'843	<0.01
M2.S1/3 (LW)	Pfeiler-Nord	S1, S3	0.5	0.1	10'924	<0.01
M2.S2/4 (LW)	Pfeiler-Nord	S2, S4	0.5	0.1	10'924	<0.01
M2.S5 (LW)	Pfeiler-Süd	S5	0.1	0.0	10'924	<0.01
M2.S6 (LW)	Pfeiler-Süd	S6	0.1	0.0	10'924	<0.01
M2.S7/9 (LW)	Pfeiler-Süd	S7, S9	101.7	0.1	10'924	<0.01
M2.S8/10 (LW)	Pfeiler-Süd	S8, S10	1.3	0.1	10'924	<0.01
M1.Z1/3 (LK)	BWK-B	Z1, Z3	79.6	436.4	14'099	0.03
M1.Z2/4 (LK)	BWK-B	Z2, Z4	1.2	6.9	14'099	<0.01
M1.Z5/7 (LK)	BWK-C-Teil 2	Z5, Z7	0.7	2.2	14'099	<0.01
M1.Z6/8 (LK)	BWK-C-Teil 2	Z6, Z8	0.7	2.2	14'099	<0.01
M1.X1/3 (LK)	Remise	X1, X3	0.7	2.2	62'176	<0.01
M1.X2 (LK)	Remise	X2	0.6	2.2	62'176	<0.01
M1.X4 (LK)	Remise	X4	0.2	0.7	51'618	<0.01
M1.X5/6 (LK)	Remise	X5, X6	0.5	0.7	62'176	<0.01
M1.X7 (LK)	Remise	X7	22'633.6	9'666.5	132'564	0.07
M1.X8 (LK)	Remise	X8	11'357.4	400.6	93'851	<0.01

Tabelle 8: Beurteilung der Massnahmen

Die Realisierung einer Massnahme wird in der Praxis empfohlen, wenn das Verhältnis von Nutzen (Risikoreduktion) zu Aufwand (Kosten) über 0.4 (bestehende Bauten) liegt.

Beurteilungskriterium

Der Vergleich der Risikoreduktion zu den entsprechenden Gesamtkosten zeigt, dass alle untersuchten Massnahmen ein ungünstiges Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis aufweisen.

Folgerung aus der Tabelle 8

Aus den eindeutigen Ergebnissen für Szenarien X1 bis X6 geht hervor, dass Massnahmen für Anprallszenarien ausgehend von Fahrtrichtung Ost auf Gleisen R7 und R8 ebenfalls ein ungünstiges Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis aufweisen. Diese Ereignisse müssen daher nicht separat untersucht und ausgewiesen werden.

Bemerkung zu Massnahmen zu Szenarien X1 – X6

4.3 Sensitivität der Ergebnisse

Übliche, zufällig auftretende Unschärfen in den Parametern der Anprallrisikoanalyse (z.B. tatsächliche lokale Entgleisungsraten, Anzahl der Züge, Kostenschätzungen, etc.) reduzieren sich teilweise gegenseitig, da sie im Allgemeinen nicht gleichzeitig in ungünstiger Konstellation vorkommen. Verbleibende Unschärfen werden mit der konservativen Annahme zum Grenzkriterium (Verhältnis 0.4) aufgefangen.

Unschärfe der Parameter

Die Annahme, dass die Remise nach fünf Jahren abgerissen wird (kurze Abschreibungsdauer der Massnahmen), hat einen grossen Einfluss auf die Verhältnismässigkeit der Massnahmen für Szenarien X1 bis X8. Im Sinne einer Sensitivitätsbetrachtung wird das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis auch unter der Annahme einer Lebensdauer der Massnahmen von 100 Jahren betrachtet. Die Massnahme mit dem höchsten Verhältnis (M1.X7) bleibt unverhältnismässig (Verhältnis 0.34).

Abschreibungsdauer: Massnahmen Remise

5. Folgerung

Aufgrund der Kriterien zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit weisen alle betrachteten Massnahmen ein deutlich ungünstiges Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis auf.

Empfehlung

Aus diesem Grund werden keine Massnahmen zur Umsetzung empfohlen.

6. Literatur

- [1] Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), Kodex 777-2: *Überbauung von Bahnanlagen, Bautechnische Massnahmen im Gleisbereich*, 2. Ausgabe, Oktober 2002.
- [2] Bundesamt für Verkehr BAV – Schweizerische Bundesbahnen - *Leitfaden zur Beurteilung von Anprallrisiken bei neuen und bestehenden Bauten*, Ernst Basler + Partner AG, 3. Dezember 2012.
- [3] Bundesamt für Verkehr, Sektion Bautechnik, *Beurteilung von Anprallrisiken, vertiefte Untersuchung von Ereignishäufigkeit und Schadenausmass, Schlussbericht*, Ernst Basler + Partner AG, 31. Dezember 2007.
- [4] Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV) Anhang Nr. 1, Bauten an, über und unter der Eisenbahn, Feste Anlagen, Anhang zu AB 27. Ausgabe 01.07.2014.
- [5] Bundesamt für Verkehr BAV – Schweizerische Bundesbahnen, *Leitfaden zur Beurteilung von Anprallrisiken bei neuen und bestehenden Bauten*, ergänzender Bericht, Ernst Basler + Partner AG, 3. Dezember 2012.

A1 Details zur Quantifizierung der Ereignisbäume

Die folgenden Erläuterungen nehmen Bezug auf die Parametertabelle, die am Ende dieses Anhanges angefügt ist. Die Spalten dieser Tabelle sind nummeriert. In den Ereignisbäumen (siehe Anhang A3) weist unter jedem Parameterwert eine kleine Nummer auf die Spaltennummer der Parametertabelle hin, von welcher der betreffende Wert übernommen wird.

Inhalt Anhang A1

Spalte: 1 – 25: Grunddaten für die Ereignisbäume

Insgesamt werden für die drei Anprallobjekte 26 Anprallszenarien mit total 28 Anprallsituation untersucht (unter Berücksichtigung der Zugstypen und der Fahrtrichtungen). Für jede Anprallsituation werden in einer Zeile die relevanten Parameter und Zwischenberechnungen zusammengestellt.

Spalte 1: Anprallsituation

Die Gleise und Fahrtrichtungen können Abbildung 1 und Abbildung 2 entnommen werden.

Spalte 2 und 3: Gleis und Fahrtrichtung

Angabe des Anprallobjektes (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2) sowie des betrachteten Szenarios (Bezeichnung: S, Z, bzw. X).

Spalte 4: Anprallobjekt

Unterscheidung nach R (Reisezug) und G (Güterzug/Rangierfahrt). Dienstzüge werden den Güterzügen zugeordnet.

Spalte 5: Zugtyp

Zugsdichte und Geschwindigkeiten (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Spalte 6 und 7: Geschwindigkeit und Anzahl der Züge

Der Abstand der jeweiligen Gleismitte bis zum Anprallobjekt kann Tabelle 1 und Tabelle 2 entnommen werden. Befindet sich das Anprallobjekt auf der Kurvenaußenseite, so wird der rechnerische Abstand der Gleisachse zum Anprallobjekt gemäss [2] ermittelt. Ansonsten wird die Distanz von der Gleisachse bis zum Anprallobjekt verwendet.

Spalte 8: Abstand Anprallobjekt

Die Länge des Gleises vor dem Anprallobjekt, die noch für das Anprallrisiko berücksichtigt werden muss, wird als kritische Distanz bezeichnet. Diese wird gemäss AB-EBV wie folgt berechnet:

Spalte 9: Kritische Distanz zum Anprallobjekt

$$d_{cr}[m] = \frac{(\text{Geschwindigkeit} [\frac{km}{h}])^2}{80}$$

Gleichung 1

Zur kritischen Distanz wird die Ausdehnung des Anprallobjekts (3 m für Brückenpfeiler, 35m für DG07-BWK-B und 33m für DG07-BWK-C Teil 1 und 2) addiert.

Anzahl der Weichen innerhalb d_{cr} , vgl. Kap. 2.1.

Spalte 10: Weiche

Die Entgleisungsrate ist abhängig vom Zugstyp (R oder G) und der Anzahl Weichen innerhalb d_{cr} (Standardwerte gemäss [3]).

Spalte 11 und 12: Entgleisungsrate und Entgleisungswahrscheinlichkeit

Entgleisungsrate ER:

$$ER = d_{cr} \cdot R_{/km} + n_w \cdot R_{/w} \quad \text{Gleichung 2}$$

Wobei:

ER: Entgleisungsrate (pro Gleis und Fahrtrichtung, beide Entgleisungsrichtungen links und rechts)

d_{cr}: kritische Distanz

R_{/km}: Entgleisungsrate pro Zugskilometer auf Gleis ohne Weiche [3]

n_w: Anzahl Weichen innerhalb *d_{cr}*

R_{/w}: Entgleisungsrate pro Weichenfahrt [3]

Für die weiteren Berechnungen wird die Entgleisungsrate halbiert (nur eine Entgleisungsrichtung berücksichtigt)

Wahrscheinlichkeit P1

$$P1 = \text{Entgleisungsrate pro Zugskilometer} \cdot \text{Anzahl der Züge pro Jahr} \quad \text{Gleichung 3}$$

Als maximale seitliche Abweichung *b* eines entgleiten Zuges gilt gemäss UIC-Kodex 777-2 [1]:

Spalte 13: Max. seitliche Abweichung

$$b[m] = (\text{Geschwindigkeit}[\frac{km}{h}])^{0.55}$$

In dieser Spalte wird auf die Art der baulichen Schutzmassnahme hingewiesen. Eine Beschreibung der Massnahmen findet sich in Kap. 3.

Spalte 14: Schutzmassnahmen

Angabe des Wirkungsgrads einer vorhandenen Massnahme (Leitkante, Wert: 0 - 1).

Spalte 15: Wirkung Schutzmassnahme

- Die Wirkung der Leitkante nahe am Gleis wird mit 90% eingesetzt.
- Bei nicht direkt ans betrachtete Gleis angrenzenden Leitkanten (Leitkante wird an einem direkten Nachbargleis angebracht) wird eine reduzierte Wirkung von 70% angenommen.
- Falls aufgrund von Weichen die Leitkante nicht über die gesamte Länge von *d_{cr}* vorgesehen ist, wird eine entsprechend reduzierte Wirkung angenommen (für M1.X8).

Es ist anzufügen, dass für die Szenarien mit den grössten Risiken (X7 und X8) die Kurvenlage – Anprallobjekt auf der Kurveninnenseite – einen positiven Einfluss auf den Ereignisablauf hat und die Anprallwahrscheinlichkeit grundsätzlich reduziert. Dieser Effekt wird in Übereinstimmung mit den methodischen Vorgaben jedoch nicht berücksichtigt.

Die Ermittlung der Anprallwahrscheinlichkeit P2 erfolgt in Anlehnung an den UIC-Kodex 777-2 [1].

Spalte 16: Anprallwahrscheinlichkeit P2

Die zulässige Anprallgeschwindigkeit ist die Zugsgeschwindigkeit, bei der ein Anprall zum Versagen des Anprallobjektes führt. Für Bauwerke, die gegenüber Anprall bemessen sind, wird der im UIC-Kodex [1] vorgeschlagene

Spalte 17: Zulässige Anprallgeschwindigkeit

Wert von 60 km/h verwendet. Liegt keine Bemessung auf Anprall von Schienenfahrzeugen vor, wird üblicherweise ein Wert von 10 km/h angenommen. Da die Tragsicherheit des Brückenpfeilers der Fulachbrücke beim Anprall hochwahrscheinlich gewährleistet ist (vgl. Anhang A4), wird 60 km/h eingesetzt. Für das Dienstgebäude wird der Wert 10 km/h verwendet.

Die Wahrscheinlichkeit des Versagens des Anprallobjekts ist abhängig von der Geschwindigkeit, dem Abstand zwischen Gleisachse und Anprallobjekt, der zulässigen Anprallgeschwindigkeit, der Ausdehnung des Anprallobjekts und dem Ereignisablauf.

In dieser Spalte wird der Wirkungsgrad einer Schutzmassnahme (Leitwinkel) auf ein Versagen des Bauwerks erfasst (Wert: 0 – 1). Die Wirkung von Leitwinkel wird mit 50% eingesetzt. Bei nicht direkt ans Gleis angrenzendem Leitwinkel wird eine reduzierte Wirkung von 40% angenommen (aufgrund einer grösseren zu erwartenden Anprallwinkels ist die Wirkung etwas reduziert). Im vorliegenden Fall trifft dies für Szenarien S3, S4, S9, S10, Z3, Z4, Z7, Z8, X3 und X8 zu.

Die bedingte Wahrscheinlichkeit des Versagens des Anprallobjekts entspricht dem Produkt der Wahrscheinlichkeit des Versagens ohne Massnahme (Spalte 18) mit dem Komplement der Wirkung der Schutzmassnahme zu 1 ($1 - \text{Spalte 19}$).

Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Brückeneinsturz die Nachbargleise durch Trümmer blockiert werden ist $P_4 = 1$. Bei einem Versagen des Dienstgebäudes wird ebenfalls von dem Wert $P_4 = 1$ ausgegangen (konservative Annahme).

In Spalte 22 wird die Wahrscheinlichkeit von Trümmern auf dem Nachbargleis eingesetzt, falls es nach einem Anprall zu keinem Brückeneinsturz kommt. Damit bildet nur ein Zug, der das Lichtraumprofil des Nachbargleises verletzt, ein Hindernis. Die Werte für die Wahrscheinlichkeit werden gemäss Tabelle 9 angenommen.

Spalte 18: Brücken-/Gebäudeeinsturz ohne Massnahme

Spalte 19: Wirkung Schutzmassnahme auf Brücken-/Gebäudeeinsturz

Spalte 20: Brücken-/Gebäudeeinsturz

Spalte 21: Trümmerwahrscheinlichkeit bei Brücken-/Gebäudeeinsturz

Spalte 22: Trümmerwahrscheinlichkeit ohne Einsturz

Wahrscheinlichkeit	Situation
0.5	
0.7	
1	

Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit für Trümmer bei Anprall ohne Brücken-/Gebäudeeinsturz

In dieser Spalte wird der minimale seitliche Abstand innerhalb d_{cr} des am nächsten gelegenen Nachbargleises (in Entgleisungsrichtung) in Metern eingetragen. Der Abstand wird jeweils auf Grundlage von [I] entnommen.

Spalte 23: Abstand Nachbargleis

Spalte 24 gibt den Abstand zum Nachbargleis minus die halbe Zugsbreite wieder (Zugsbreite = 3.4 m).

Spalte 24: Abstand Nachbargleis – halbe Zugsbreite

In dieser Spalte wird die Wahrscheinlichkeit $P4$ für Trümmer ohne Anprall berechnet. Die Formel lautet:

Spalte 25: $P4$ Trümmerwahrscheinlichkeit ohne Anprall

$$P4 = \left[\left(\frac{b - a_G}{b} \right)^2 - P_{Anprall} \right] / (1 - P_{Anprall})$$

mit:

b : Maximale seitliche Abweichung des Zuges

a_G : Abstand Nachbargleis – halbe Zugsbreite

Der Faktor $(1 - P_{Anprall})$ berücksichtigt, dass im Ereignisbaum die bedingte Wahrscheinlichkeit

$$P(\text{Trümmer auf Nachbargleis} | \text{es findet kein Anprall statt})$$

eingesetzt werden muss.

Spalte 26 – 37: Anprallsituation mit Brücken-/Gebäudeeinsturz

In diesen Spalten wird die Anzahl Züge auf den Nachbargleisen (Reise-, Güterzüge/Rangierfahrten) zusammengestellt, die für die Berechnung der Szenarien «Anprall mit Brücken-/Gebäudeeinsturz» verwendet werden (Züge auf den Gleisen unterhalb der betroffenen Brücke bzw. im Trümmerbereich des Dienstgebäudes). Hier wird für das Dienstgebäude keine Gleichzeitigkeit auf Gleisen R7 und R8 angenommen (keine gleichzeitige Gleisfreigabe aufgrund von Weiche 113)

Spalten 26-31: Anzahl Züge auf Nachbargleis

Grundsätzlich wird angenommen, dass ein auf die Unfallstelle zufahrender Zug nicht auf Sicht anhalten kann. Um eine Kollision mit Trümmern zu verhindern, muss der Zug rechtzeitig gewarnt werden. Es wird von einer Warnfrist von 5 Minuten ausgegangen (gemäss [4]). Passiert ein auf einem Nachbargleis verkehrender Zug innerhalb dieses Zeitfensters die Unfallstelle, so wird eine Kollision angenommen. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Zug in diesem Zeitfenster befindet wird wie folgt ermittelt:

Spalte 32: $P5$ Kollision mit Zug auf Nachbargleis

$$P5 = \text{Anzahl Züge pro Tag} \cdot \frac{\text{Warnfrist}}{\text{Betriebszeit}}$$

Für die Betriebszeit werden 18 Stunden eingesetzt (gemäss [4]).

In dieser Spalte wird die Wahrscheinlichkeit bestimmt, dass der auf einem Nachbargleis verkehrende Zug ein Reisezug ist. Dies entspricht dem Verhältnis der Summe aller Reisezüge zur Summe aller Züge.

Spalte 33: $P6$ Reisezug als Zug auf Nachbargleis

In dieser Spalte wird das Ausmass im auslösenden Zug durch Kollision mit einem Reisezug als Gegenzug angegeben (Berechnung gemäss [3]).

Spalte 34: Ausmass auslösender Zug bei Kollision mit RZ

In dieser Spalte wird das Ausmass im auslösenden Zug durch Kollision mit einem Güterzug als Gegenzug angegeben (Berechnung gemäss [3]).

Spalte 35: Ausmass auslösender Zug bei Kollision mit GZ

In dieser Spalte wird das Ausmass durch Kollision im Gegenzug gemäss [3] bestimmt, wenn es sich beim Gegenzug um einen Reisezug handelt.

Spalte 36: Ausmass im Gegenzug durch Kollision mit RZ

In dieser Spalte wird das Ausmass durch Kollision im Gegenzug gemäss [3] bestimmt, wenn es sich beim Gegenzug um einen Güterzug handelt.

Spalte 36: Ausmass im Gegenzug durch Kollision mit GZ

Spalte 38 – 49: Anprallsituation ohne Brücken-/Gebäudeeinsturz

Die Spalten 38 – 49 sind analog den Spalten 26 – 37 aufgebaut, wobei hier die Situation eines Anpralls ohne Brücken-/Gebäudeeinsturz betrachtet wird.

Spalte 38 – 49: Anprall ohne Brücken-/Gebäudeeinsturz

Spalte 50 – 61: Entgleisungssituation ohne Anprall

Die Spalten 50 – 61 sind analog den Spalten 26 – 37 aufgebaut, wobei hier die Situation einer Entgleisung ohne Anprall betrachtet wird.

Spalte 50 – 61: Entgleisung ohne Anprall

Spalte 62 – 66: Ausmass der einzelnen Situationen

In dieser Spalte wird der Wirkungsgrad einer Schutzmassnahme auf das Ausmass im anprallenden Zug erfasst. Es wird angenommen, dass Leitwinkel das Ausmass im anprallenden Zug um 10% reduzieren, da der Anprallschutz zu einer Energiedissipation führt.

Spalte 62: Wirkung Schutzmassnahme

In dieser Spalte wird das Ausmass im auslösenden Zug infolge der Entgleisung und des Anpralls des Zuges gemäss [3] bestimmt.

Spalte 63: Ausmass im auslösenden Zug mit Anprall

In dieser Spalte wird das Ausmass im auslösenden Zug infolge der Entgleisung des Zuges gemäss [3] bestimmt.

Spalte 64: Ausmass im auslösenden Zug ohne Anprall

In dieser Spalte wird die Anzahl zusätzlicher Todesopfer beim Brückeneinsturz in Abhängigkeit des Typs des anprallenden Zuges (Reisezug, Güter-/Dienstzug) eingetragen. In der Tabelle 10 sind die entsprechenden Werte zusammengestellt.

Spalte 65: Ausmass bei Anprall und Brückeneinsturz

Typ anprallender Zug	Reisezüge	Güterzüge
Anzahl zusätzlicher Todesopfer im anprallenden Zug	1	0
Anzahl Todesopfer auf der einstürzenden Brücke	2	2
Total	3	2

Tabelle 10: Erhöhung des Ausmasses bei Brückeneinsturz

Begründung der verwendeten Werte:

- Die Anzahl zusätzlicher Todesopfer im anprallenden Zug entsprechen den Standardwerten gemäss [5].
- Der DTV auf der betroffenen Brücke beträgt gemäss Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen rund 4'500 Fz/Tag [V]. Gemäss [5] ist der Standardwert für das Ausmass unter den Nutzern einer Strassenüberführungsart A (DTV < 20'000 Fz/Tag) 1 Todesopfer bei einer Brückenlänge von 40 m

oder weniger. Hier beträgt der kollabierende Brückenbereich 53 m (südliche Stütze) resp. 57 m (nördliche Stütze) (vgl. Anhang A4.5). Deswegen wird mit 2 Todesopfern gerechnet.

Im Normalfall halten sich keine Personen im Dienstgebäude auf. Deswegen wird von keinen zusätzlichen Todesopfern im Dienstgebäude ausgegangen.

Die betrieblichen Folgekosten bei einem Ausfall des Dienstgebäudes basieren auf Abschätzungen der SBB [IV]:

Spalte 66: Wirtschaftliches Schadenausmass

— Gebäudeteil der Bauwerksklasse B = 70 Mio. CHF

— Remise zu DG07: Gebäudeteil der Bauwerksklasse C – Teil 1 = 5 Mio. CHF

— Gebäudeteil der Bauwerksklasse C – Teil 2 = 5 Mio. CHF

Es ist nicht zu erwarten, dass ein Anprall an das Dienstgebäude zu einem Totalkollaps des Gebäudes führt (vgl. Anhang A5). Im Rahmen einer konservativen Betrachtung wird jedoch mit einem Totalausfall gerechnet.

Eine exakte Abschätzung der wirtschaftlichen Folgekosten beim Brückeneinsturz ist im Rahmen der Anprallrisikoanalyse nicht möglich und wenig sinnvoll (ein Anprall führt mit grosser Wahrscheinlichkeit zu keinem Einsturz). Diese werden daher vernachlässigt.

Tabelle 11:
Parametertabelle.
Anprallsituation
(Anprallobjekt =
Brückenpfeiler)
ohne Massnahmen

[illegible]

Tabelle 12:
Parametertabelle.
Anprallsituation
(Anprallobjekt =
Gebäudeteil BWK-
B und BWK-C-
Teil2) ohne Mass-
nahmen

[illegible]

Tabelle 13:
Parametertabelle.
Anprallsituation
(Anprallobjekt =
Gebäudeteil BWK-
C-Teil1 (Remise))
ohne Massnahmen

[illegible]

A2 Ergebnisse zu den Anprallsituationen

A2.1 Anprallobjekt Fulachbrücke

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko im Ausgangszustand [CHF/J]									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Entgleisung ohne Anprall	0.1 20.0%	0.1 20.0%	0.1 100.0%	0.1 49.5%	0.1 49.5%	0.2 32.5%	0.2 32.5%	101.0 100.0%	0.7 100.0%	0.1 49.5%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.4 80.0%	0.4 80.0%	0.0 0.0%	0.1 50.5%	0.1 50.5%	0.5 67.5%	0.5 67.5%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.1 50.5%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	0.5 (100%)	0.5 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.7 (100%)	0.7 (100%)	101.0 (100%)	0.7 (100%)	0.1 (100%)

Tabelle 14: Ergebnisse ohne zusätzliche Massnahmen (Fulachbrücke)

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko mit Leitkanten [CHF/J]									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Entgleisung ohne Anprall	0.1 75.7%	0.1 75.7%	0.1 100.0%	0.1 100.0%	0.1 90.9%	0.1 90.9%	0.3 84.8%	0.3 84.8%	101.0 100.0%	0.7 100.0%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.0 24.3%	0.0 24.3%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 9.1%	0.0 9.1%	0.0 15.2%	0.0 15.2%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	0.2 (100%)	0.2 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.3 (100%)	0.3 (100%)	101.0 (100%)	0.7 (100%)

Tabelle 15: Ergebnisse mit Leitkanten (Fulachbrücke)

Eine Leitkante kann jeweils mehrere Szenarien abdecken. So setzten sich die Risiken von M1.S1/3 beispielsweise aus S1 und S3 zusammen (vgl. Tabelle 8).

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko mit Leitwinkel [CHF/J]									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Entgleisung ohne Anprall	0.1 22.4%	0.1 22.4%	0.1 100.0%	0.1 100.0%	0.1 52.8%	0.1 52.8%	0.2 35.8%	0.2 35.8%	101.0 100.0%	0.7 100.0%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.4 77.6%	0.4 77.6%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.1 47.2%	0.1 47.2%	0.4 64.2%	0.4 64.2%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	0.5 (100%)	0.5 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)	0.6 (100%)	0.6 (100%)	101.0 (100%)	0.7 (100%)

Tabelle 16: Ergebnisse mit Leitwinkel (Fulachbrücke)

Ein Leitwinkel kann jeweils mehrere Szenarien abdecken. So setzten sich die Risiken von M2.S1/3 beispielsweise aus S1 und S3 zusammen (vgl. Tabelle 8).

A2.2 Anprallobjekt Dienstgebäude (BWK-B und BWK-C-Teil 2)

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko im Ausgangszustand [CHF/J]							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Entgleisung ohne Anprall	17.6 3.5%	0.3 3.5%	10.4 100.0%	0.1 100.0%	0.2 7.0%	0.2 7.0%	0.1 100.0%	0.1 100.0%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.7 0.1%	0.0 0.1%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.4%	0.0 0.4%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	487.4 96.4%	7.7 96.4%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	2.5 92.6%	2.5 92.6%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	505.7 (100%)	8.0 (100%)	10.4 (100%)	0.1 (100%)	2.7 (100%)	2.7 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)

Tabelle 17: Ergebnisse ohne zusätzliche Massnahmen (Gebäudeteile BWK-B (Z1-Z4) und BWK-C-Teil 2 (Z5-Z8))

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko mit Leitkante [CHF/J]							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Entgleisung ohne Anprall	20.5 29.5%	0.3 29.5%	10.4 100.0%	0.1 100.0%	0.3 54.1%	0.3 54.1%	0.1 100.0%	0.1 100.0%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.1 0.1%	0.0 0.1%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.0 0.2%	0.0 0.2%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	48.7 70.4%	0.8 70.4%	0.0 0.0%	0.0 0.0%	0.3 45.7%	0.3 45.7%	0.0 0.0%	0.0 0.0%
Summe	69.3 (100%)	1.1 (100%)	10.4 (100%)	0.1 (100%)	0.6 (100%)	0.6 (100%)	0.1 (100%)	0.1 (100%)

Tabelle 18: Ergebnisse mit Leitkante (Gebäudeteile BWK-B (Z1-Z4) und BWK-C-Teil 2 (Z5-Z8))

A2.3 Anprallobjekt Dienstgebäude (BWK-C-Teil 2 (Remise))

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko im Ausgangszustand [CHF/J]							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
Entgleisung ohne Anprall	0.2 7.0%	0.2 7.0%	0.1 100.0%	0.1 9.2%	0.1 9.2%	0.3 99.3%	13'490.2 41.8%	10'734.4 91.3%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.0 0.4%	0.0 0.4%	0.0 0.0%	0.0 0.6%	0.0 0.6%	0.0 0.1%	80.4 0.2%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	2.5 92.6%	2.5 92.6%	0.0 0.0%	0.9 90.2%	0.9 90.2%	0.0 0.6%	18'729.4 58.0%	1'023.5 8.7%
Summe	2.7 (100%)	2.7 (100%)	0.1 (100%)	1.0 (100%)	1.0 (100%)	0.3 (100%)	32'300.0 (100%)	11'757.9 (100%)

Tabelle 19: Ergebnisse ohne zusätzliche Massnahmen (Gebäudeteile BWK- C-Teil 1 (Remise))

Risikoanteil / Szenario	Monetarisiertes Risiko mit Leitkanten [CHF/J]							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
Entgleisung ohne Anprall	0.3 54.1%	0.3 54.1%	0.1 100.0%	0.1 59.2%	0.1 59.2%	0.3 99.8%	20'752.6 91.7%	11'031.8 97.1%
Entgleisung mit Anprall, ohne Einsturz	0.0 0.2%	0.0 0.2%	0.0 0.0%	0.0 0.3%	0.0 0.3%	0.0 0.0%	8.0 0.0%	0.0 0.0%
Entgleisung mit Anprall und Einsturz	0.3 45.7%	0.3 45.7%	0.0 0.0%	0.1 40.6%	0.1 40.6%	0.0 0.2%	1'872.9 8.3%	325.6 2.9%
Summe	0.6 (100%)	0.6 (100%)	0.1 (100%)	0.2 (100%)	0.2 (100%)	0.3 (100%)	22'633.6 (100%)	11'357.4 (100%)

Tabelle 20: Ergebnisse mit Leitkante (Gebäudeteile BWK- C-Teil 1 (Remise))

A3 Ausgewählte Ereignisbäume

Der Anhang enthält ausgewählte Ereignisbäume. Die Berechnung stützt sich auf die Parameter, die in Anhang A1 dokumentiert sind. Die klein gedruckten Ziffern im Ereignisbaum verweisen jeweils auf die entsprechenden Spalten in Anhang A1. Ergänzend werden im Folgenden die zusätzlichen Berechnungen innerhalb der Ereignisbäume erläutert.

Inhalt Anhang A3

Das kollektive Risiko [Todesopfer pro Jahr] errechnet sich als Produkt der Eintrittshäufigkeit eines Szenarios und dessen Ausmass. Das monetarisierte kollektive Risiko [CHF/Jahr] ist das Produkt des kollektiven Risikos und der Grenzkosten von 10 Mio. CHF pro Todesopfer⁴.

(Monetarisiertes)-
Kollektives Risiko

Ausmass- klasse	Ausmass A	Häufigkeitsan- teil H	A x H	Risikoaversions- faktor φ	A x H x φ
sehr gross	9 M	4%	0.36 M	2.40 M ^{1/2}	0.86 M ^{3/2}
gross	3 M	11%	0.33 M	1.39 M ^{1/2}	0.46 M ^{3/2}
mittel	1 M	20%	0.20 M	0.80 M ^{1/2}	0.16 M ^{3/2}
klein	0.3 M	25%	0.07 M	0.44 M ^{1/2}	0.03 M ^{3/2}
sehr klein	0.1 M	40%	0.04 M	0.25 M ^{1/2}	0.01 M ^{3/2}
Summe		100%	1.00 M		1.52 M ^{3/2}
Mittelwert	M	100%	M	gesucht	1.52 M ^{3/2}

Tabelle 21: Bildung von Ausmassklassen

Der gesuchte Risikofaktor φ für mittlere Ausmass beträgt also (gemäss [4]):

$$\varphi = 1.52 \cdot \sqrt{\text{mittleres Ausmass}}$$

Der Aversionsfaktor kann nicht kleiner als 1.0 sein.

Das total empfundene Risiko [CHF/Jahr] beinhaltet das Risiko für Personenschäden (Produkt des kollektiven monetarisierten Risikos für Personenschäden mit dem Aversionsfaktor).

Empfundenes Ri-
siko

⁴ 10 Mio. CHF entsprechen dem Mindestbetrag für die Grenzkosten, für die Verhinderung eines Todesopfers gemäss [4]

Abbildung 3:
Ereignisbaum für
das Szenario S1,
GZ, Gleis R7 (Aus-
gangssituation
ohne zusätzliche
Massnahmen)

Anprallsituation		1	Massnahme	Leitkante	Gleis R7										
Zugstyp															
Geschwindigkeit															
P1: Entgleisungs-wahrscheinlichkeit pro															
P2: Anprall-wahrscheinlichkeit pro															
P3: Brückeneinsturz															
P4: Trümmer auf Gegenleis															
P5: Kollision mit Zug auf Nachbargleis															
P6: RZ/GZ als Gegenzug															
Häufigkeit [1/J]															
Ausmass [Todesopfer] im auslösenden Zug aufgrund Entgleisung bzw. Anprall															
Ausmass [Todesopfer] im auslösenden Zug aufgrund Kollision															
Ausmass [Todesopfer] im Gegenzug aufgrund Kollision															
Zusätzliches Ausmass [Todesopfer] aufgrund Brückeneinsturz															
Ausmass [Todesopfer] Total															
Kollektives Risiko [T / J]															
Kollektives Risiko monetarisiert [Fr. / J]															
mittlere Aversion															
Ausmass wirtschaftlich [Fr. / Ereignis]															
Wirtschaftliches Risiko [Fr. / J]															
Empfundenes Risiko [Fr. / J]															
in Prozent															

Abbildung 4:
Ereignisbaum für
das Szenario S1,
GZ, Gleis R7
(Massnahme
M1.S1/3, Leitkante)

Abbildung 5:
Ereignisbaum für
das Szenario S1,
GZ, Gleis R7 (Mas-
snahme MS2.1/3,
Leitwinkel)

Abbildung 6:
Ereignisbaum für
das Szenario Z1,
GZ, Gleis R7 (Aus-
gangssituation
ohne zusätzliche
Massnahmen)

Anprallsituation	1	Massnahme	Leitkante	Gleis R7	P6: RZ/GZ als Gegenzug	Häufigkeit [1/J]	Ausmass [Todesopfer] im auslösenden Zug aufgrund Entgleisung bzw. Anprall	Ausmass [Todesopfer] im auslösenden Zug aufgrund Kollision	Ausmass [Todesopfer] im Gegenzug aufgrund Kollision	Zusätzliches Ausmass [Todesopfer] aufgrund Brückeneinsturz	Ausmass [Todesopfer] Total	Kollektives Risiko [T / J]	Kollektives Risiko monetaisiert [Fr. / J]	mittlere Aversion	Ausmass wirtschaftlich [Fr. / Ereignis]	Wirtschaftliches Risiko [Fr. / J]	Empfundenes Risiko [Fr. / J]	in Prozent
Zugstyp	GZ	40	5															
Geschwindigkeit																		
P1: Entgleisungs-wahrscheinlichkeit pro																		
P2: Anprall-wahrscheinlichkeit																		
P3: Gebäudeeinsturz																		
P4: Trümmer auf Gegengleis																		
P5: Kollision mit Zug auf Nachbargleis																		
P6: RZ/GZ als Gegenzug																		
Häufigkeit [1/J]																		
Ausmass [Todesopfer] im auslösenden Zug aufgrund Entgleisung bzw. Anprall																		
Ausmass [Todesopfer] im auslösenden Zug aufgrund Kollision																		
Ausmass [Todesopfer] im Gegenzug aufgrund Kollision																		
Zusätzliches Ausmass [Todesopfer] aufgrund Brückeneinsturz																		
Ausmass [Todesopfer] Total																		
Kollektives Risiko [T / J]																		
Kollektives Risiko monetaisiert [Fr. / J]																		
mittlere Aversion																		
Ausmass wirtschaftlich [Fr. / Ereignis]																		
Wirtschaftliches Risiko [Fr. / J]																		
Empfundenes Risiko [Fr. / J]																		
in Prozent																		

Abbildung 7:
Ereignisbaum für
das Szenario Z1,
GZ, Gleis R7 (Mas-
snahme M1.Z1/3)

Abbildung 8:
Ereignisbaum für
das Szenario X1,
GZ, Gleis R7 (Aus-
gangssituation
ohne zusätzliche
Massnahmen)

Abbildung 9:
Ereignisbaum für
das Szenario X1,
GZ, Gleis R7 (Mas-
snahme M1.X1/3
Leitkante)

A4 Grobüberprüfung Tragsicherheit der Brückenpfeiler

A4.1 Aufgabe / Fragestellung

Die beiden innenliegenden Brückenpfeiler sowie die zugehörigen Fundationen sollen bezgl. Zuganprall grob überprüft werden. Dies beinhaltet:

- Aussage zum Ausfall der Brückenpfeiler/Fundation
- Aussage zum Verhalten des Brückenträgers bei einem Pfeilerausfall

Die Überprüfung erfolgt mit einfachen statischen Modellen.

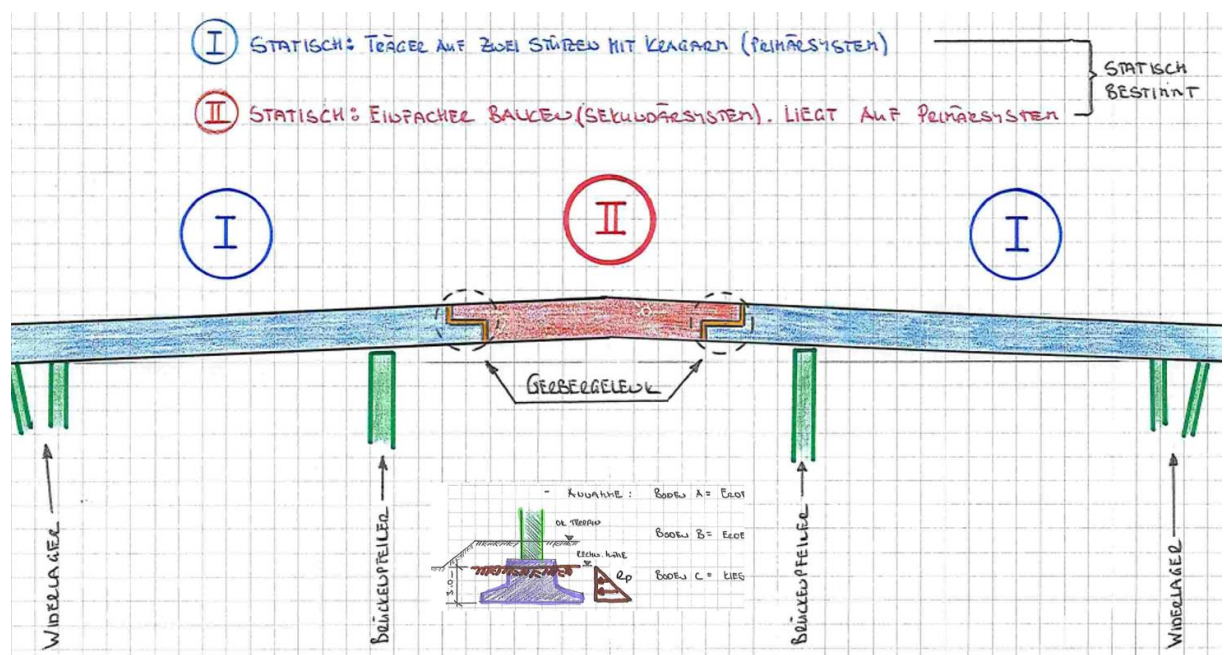


Abbildung 10: Idealisierter Längsschnitt der Fulachbrücke

A4.2 Für die Grobüberprüfung relevanten Grundlagen

- [1] SBB Plan 764_364492_0035672
- [2] SBB Plan 764_364492_0035709
- [3] SBB Plan 764_364492_0035830
- [4] TBA Plan Fulachbrücke SH (1)
- [5] TBA Plan Fulachbrücke SH (5)
- [6] TBA Plan Fulachbrücke SH (11)
- [7] TBA Plan Fulachbrücke SH (12)
- [8] TBA Plan Fulachbrücke SH (13)

A4.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen

Das Bauwerk wird der Bauwerksklasse B zugeordnet. Die Lasten wurden für Streckenabschnitte mit und ohne Weichen ermittelt. Die maximale Streckengeschwindigkeit beträgt 40 km/h. Gemäss Anhang Nr.1 zu den AB-EBV werden die Anprallkräfte in der Tabelle 9 sowie Tabelle 10 für Streckengeschwindigkeit bis ≤ 40 km/h vorgegeben.

Abstände und Anprallkräfte an Streckenabschnitten ohne Weiche

V [km/h]	Grenzabstand a_g [m]	Anprallkraft Q_{ax} [MN]	Anprallkraft Q_{ay} [MN]	Grenzab- stand für Reduktion a_R [m]	Reduktions- beiwert $\eta_{a,red}$
20 - 40	4,00	2,0	0,8	-	-
41 - 60	4,00	3,0	1,1	-	-
61 - 120	5,00	4,0	1,5	-	-
121 - 160	7,00	5,5	2,0	6,00	0,8
161 - 200	9,00	6,5	2,5	7,00	0,6
201 - 250	11,00	7,5	3,0	9,00	0,5

Tabelle 9: Anprallkräfte Normalspurbahnstrecken ohne Weiche

Abstände und Anprallkräfte an Streckenabschnitten mit Weiche

V [km/h]	Grenzabstand a_g [m]	Anprallkraft Q_{ax} [MN]	Anprallkraft Q_{ay} [MN]	Grenzab- stand für Reduktion a_R [m]	Reduktions- beiwert $\eta_{a,red}$
20 - 40	4,00	2,0	0,8	-	-
41 - 60	5,00	3,0	1,1	-	-
61 - 120	7,00	4,0	1,5	6,00	0,8
121 - 160	9,00	5,5	2,0	7,00	0,7
161 - 200	11,00	6,5	2,5	9,00	0,6
201 - 250	13,00	7,5	3,0	11,00	0,5

Tabelle 10: Anprallkräfte Normalspurbahnstrecken mit Weiche

Tabelle 22: Abstände nach AB-EBV, Anhang Nr.1

Der Ansatzpunkt der jeweiligen Anprallkraft auf den Brückenpfeiler wird mit 1.80 m ü. SOK berücksichtigt. Da von einer Starrkörperverschiebung (Pfeiler und Foundation) ausgegangen wird, wird für die Grobüberprüfung des Fundaments derselbe Ansatzpunkt am Brückenpfeiler gewählt.

Folgenden Anpralllasten werden gemäss AB-EBV Anhang Nr.1 angesetzt:

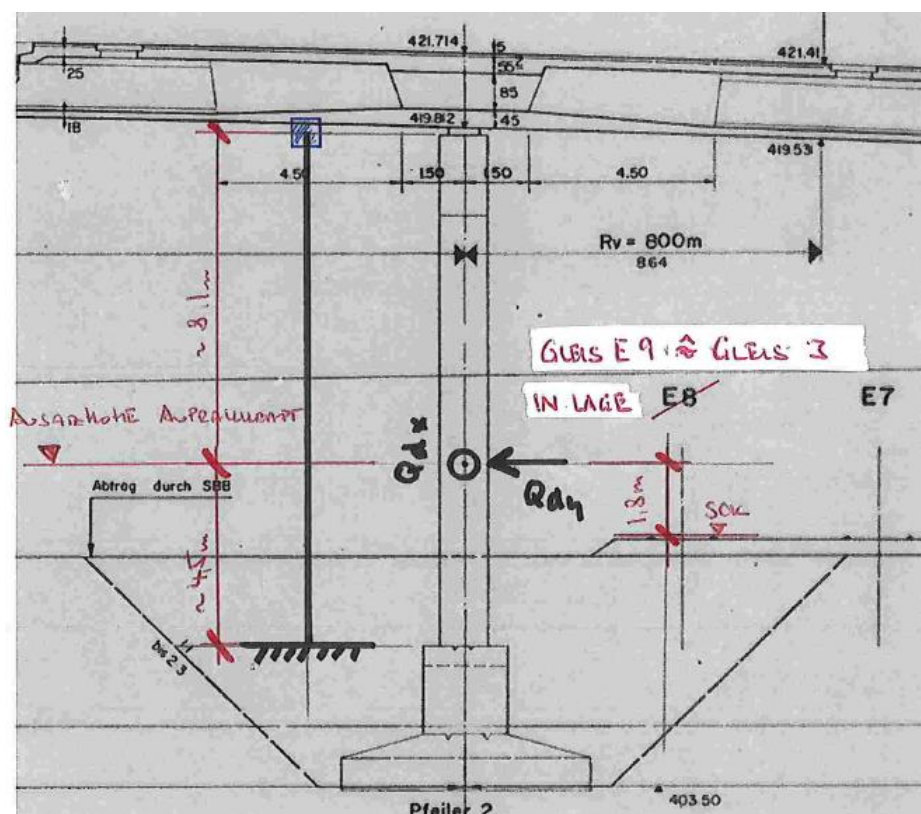


Abbildung 11: aussergewöhnliche Einwirkung Anprall auf Brückenpfeiler

Anprallkräfte:	Aus Anhang Nr. 1 AB-EBV Blatt Nr.11		
h =	1.80	[m]	über SOK
Verteilhöhe ≤	1.00	[m]	
Verteilbreite ≤	2.00	[m]	
BWK B: Aus Anhang Nr. 1 AB-EBV Blatt Nr.20 - Tabelle 9			
Betriebssituation:	B	mit $V_{RZ} \leq 40$ km/h ohne Weichen	
[7.0 ≥ a] + [a < 6.0]:	$Q_{dx} =$	2'000 [kN]	ohne Unterstützung durch Leitkante und Leitwinkel
keine Abminderung	$Q_{dy} =$	800 [kN]	ohne Unterstützung durch Leitkante und Leitwinkel
	$Q_{dx} * \eta_L =$	1'400 [kN]	mit Unterstützung durch Leitkante oder Leitwinkel
	$Q_{dy} * \eta_L =$	560 [kN]	mit Unterstützung durch Leitkante oder Leitwinkel
BWK B: Aus Anhang Nr. 1 AB-EBV Blatt Nr.20 - Tabelle 10			
Betriebssituation:	B	mit $V_{RZ} \leq 40$ km/h mit Weichen	
[7.0 ≥ a] + [a < 6.0]:	$Q_{dx} =$	2'000 [kN]	ohne Unterstützung durch Leitkante und Leitwinkel
keine Abminderung	$Q_{dy} =$	800 [kN]	ohne Unterstützung durch Leitkante und Leitwinkel
	$Q_{dx} * \eta_L =$	1'400 [kN]	mit Unterstützung durch Leitkante oder Leitwinkel
	$Q_{dy} * \eta_L =$	560 [kN]	mit Unterstützung durch Leitkante oder Leitwinkel

Tabelle 23: Anprallkräfte parallel zu den Gleisen (Q_{dx}) sowie orthogonal zu den Gleisen (Q_{dy})

A4.4 Grobüberprüfung Unterstützung (Pfeiler / Fundament)

Allgemein gilt, dass die Grobüberprüfungen auf konservativen Berechnungsmodellen basieren.

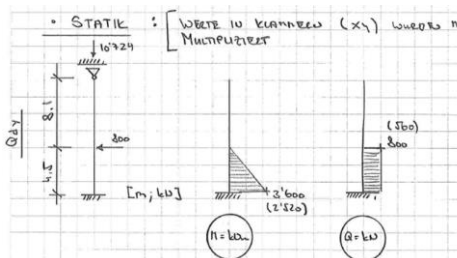
Aussagen bezgl. der Tragsicherheit erfolgen anhand des Verhältnisses der Einwirkung zum Widerstand (Ausnutzung).

- $\eta=1.0$ bedeutet, dass die Einwirkung und der Widerstand gleich gross sind → Versagen kann gerade so ausgeschlossen werden.
- $\eta>1.0$ bedeutet, dass die Einwirkung grösser als der Widerstand ist → Versagen kann nicht ausgeschlossen werden.
- $\eta<1.0$ bedeutet, dass der Widerstand grösser als die Einwirkung ist → Versagen kann mit einer genügenden Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Auf der Widerstandsseite wird das Eigengewicht der Überkonstruktion der Brücke (Hohlkastenprofil und Belag) inkl. Eigengewicht des Pfeilers/Fundament ($E_{G,0} + E_{G,u}$) sowie der stützende Erdkörper ($R_T + E_p$) berücksichtigt.

Anprall direkt an Pfeiler

Es liegt keine Ursprungsstatik vor. Aus den Ausführungsplänen bzw. der Lagerung des Brückenträgers lassen sie folgende zwei resp. drei statischen Systeme für die Brückenpfeiler bestimmen:

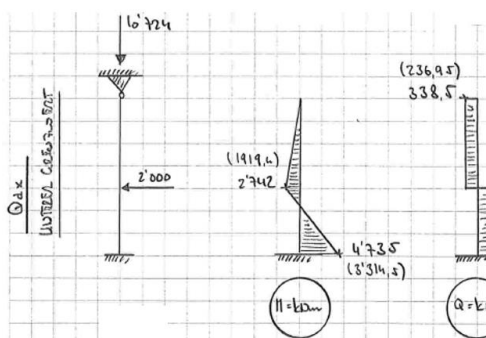
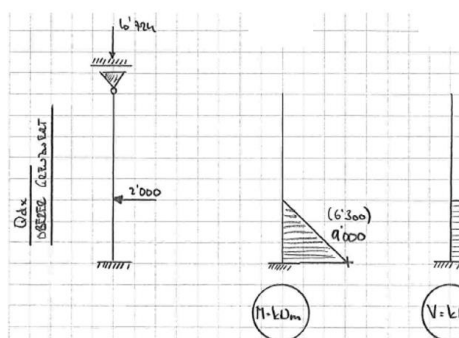


Statische Systeme:

Q_{dy} - oben links: Kragarm

Q_{dx} - unten links: Kragarm
(massgebend für Grobüberprüfung)

Q_{dx} - unten rechts: Kragarm
(wird für die Grobüberprüfung nicht berücksichtigt)



Zur Fundation liegen keine Informationen vor. Aus den Plangrundlagen kann die Annahme getroffen werden, dass die Brückenpfeiler flachfundiert wurden. Die zur Überprüfung angesetzte, zulässige Bodenpressung entspricht einem «Erfahrungswert», welche sich aus ähnlichen Überprüfungen bzw. Prüfeningenieurmandaten als sinnvoll erwiesen haben.

In der unten angefügten Auswertung (Tabelle 24) werden die Ausnutzungsgrade (Moment M_d/M_{Rd} und Querkraft Q_d/Q_{Rd} getrennt) im massgebenden Pfeilerquerschnitt (kleinste Querschnittfläche) ohne und mit einer Massnahme dargestellt.

Zusammenfassung Einwirkung BWK B - Widerstände Pfeiler (S2-S2) - stat. System: Kragarm → Reduktion Normalkraft um 20% (konservativer Ansatz für Biegnachweis)									
mit VRZ < 40 km/h mit Weichen	Einwirkung Pfeiler (Kragarm)	aus FAGUS-6	Ausnutzung:	Ausnutzung inkl. Massnahme:	aus Excel	Ausnutzung:	Ausnutzung inkl. Massnahme:	Bemerkung:	
Einwirkung x-Richtung immer um starke Achse	$M_{dx} = 9'000$ [kNm]	$M_{Rx} = 17'400$ [kNm]	0.52 [-]	0.36 [-]	$Q_{dx} = 2'000$ [kN]	≥ 1.00 [-]	$\gg 1.00$ [-]	Einleitung Druckdiagonale direkt in Foundation	
	$M_{dy} = 3'600$ [kNm]	$M_{Ry} = 7'500$ [kNm]	0.48 [-]	0.34 [-]	$Q_{dy} = 825$ [kN]	0.97 [-]	0.68 [-]	-	
Zusammenfassung Einwirkung BWK B - Biegebewehrung Foundation									
Bei einer "vollen" Einwirkung aus Anprall besteht eine genügend grosse Wahrscheinlichkeit, dass das Fundament in beiden Richtungen bezgl. Biegung ausreichend bewehrt ist.									
Zusammenfassung Einwirkung BWK B - Bodenpressung mit $\sigma_{zul} > 250 \text{ kN/m}^2$									
Bei einer "vollen" Einwirkung aus Anprall wird die zulässige Bodenpressung (siehe Annahme oben) σ_{zul} in beiden Richtungen nicht überschritten.									
Zusammenfassung Einwirkung BWK B - Biegebewehrung Foundation									
Bei einer "vollen" Einwirkung aus Anprall besteht eine genügend grosse Wahrscheinlichkeit, dass die horizontalen Verschiebungen in beiden Richtungen keinen Brückenkollaps als Folge nachschieben.									

Tabelle 24: Ausnutzung Pfeiler

Die Grobüberprüfung hat ergeben, dass die Tragsicherheit der beiden Brückenpfeiler (I und II) inkl. Foundation, ohne Unterstützung einer Leitkante bzw. eines Leitwinkels, gewährleistet ist und die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls bzw. Versagen der Brückenunterkonstruktion als gering zu bewerten ist.

Folgende Bauteile wurden einer Grobüberprüfung unterzogen:

- Pfeiler: Biegung um schwache Achse (i.O.)
- Pfeiler: Biegung um starke Achse (i.O.)
- Pfeiler: Querkraft/Schub um schwache Achse (i.O.)
- Pfeiler: Querkraft/Schub um starke Achse (i.O.)
- Foundation: Überprüfung der Pressungen oberhalb Sohle (i.O.)

Für die Tragsicherheitsnachweise der Brückenpfeiler (I und II) wurde die Normalkraft, welche sich aus dem Brückenoberbau (Eigengewicht Hohlkastenquerschnitt und Belag) zusammensetzt, um 20% reduziert. Die Reduktion der Normalkraft wirkt sich ungünstig auf die Nachweise aus (auf der sicheren Seite liegend).

A4.5 Aussage zum Brückenträger bei einem Pfeilerausfall

Beim Brückenträger der Fulachbrücke handelt es sich um einen Gerberträger. Die Abbildung 10 im Kapitel A4.1 zeigt, dass sich der Gerberträger aus zwei resp. drei statischen Systemen zusammensetzt.

- System I = Primärsystem: Träger auf zwei Stützen mit Kragarm
- System II = Sekundärsystem: einfacher Balken

Zwischen den beiden Systemen herrscht keine monolithische Verbindung. System II liegt auf System I resp. System I bildet die Auflager für das System II. Im Gerbergelenk kann ausschliesslich eine horizontale (aus Bremskräfte) sowie vertikale (Auf- und Nutzlasten) Kraftkomponente aus dem System II in das System I eingeleitet werden. Momente können nicht aufgenommen werden.

Beide Systeme sind statisch bestimmt. Daraus folgt, dass der Gerberträger (Kopplung aus System I und System II) ebenfalls als statisch bestimmt verstanden werden muss.

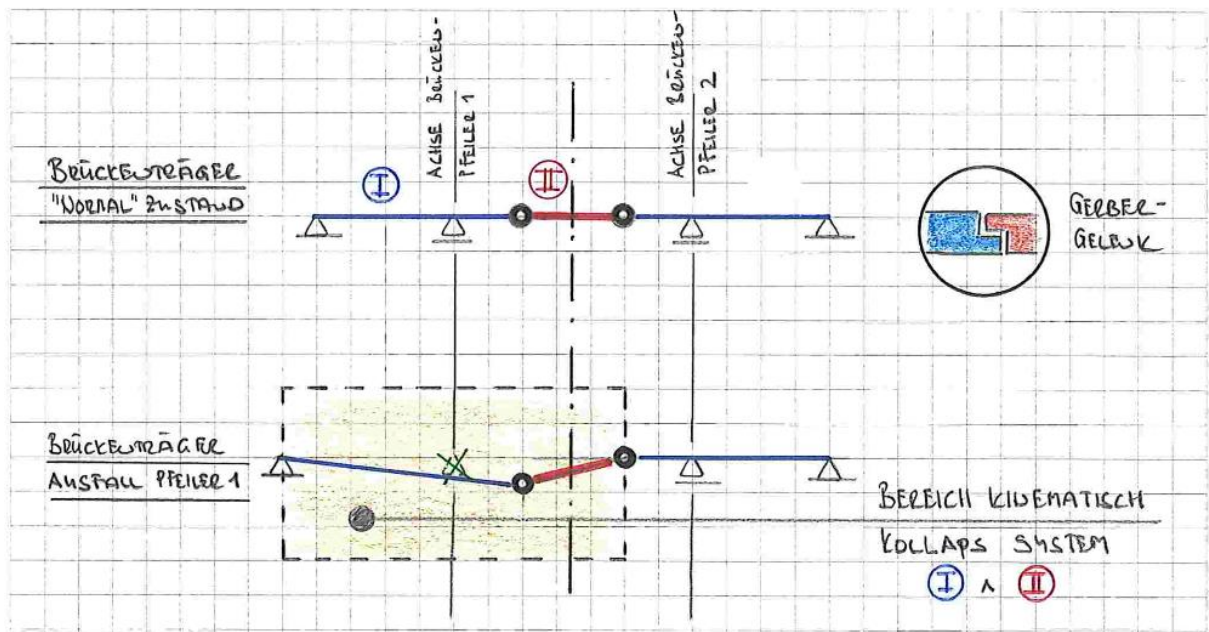


Abbildung 12: Versagensmechanismus Brückenträger bei Pfeilerausfall

Fällt ein Brückenpfeiler aus (Pfeiler 1 oder Pfeiler 2), führt dies zu einem Kollaps der miteinander gekoppelten Systeme (I und II). Dies wird in Abbildung 12 veranschaulicht. Das System I, bei welchem der Brückenpfeiler nicht tangiert wird, bleibt weiterhin «funktionstüchtig» (Belagsschäden sowie Schäden an den Überkonstruktionen sind im Bereich des Gerbergelenks zu erwarten).

A5 Abschätzung Gebäudeverhalten DG07 beim Anprall

A5.1 Aufgabe

Im Rahmen einer groben Abschätzung sollen mögliche Ereignisabläufe beim Gebäudeanprall veranschaulicht werden. Dabei wird eine grobe Aussage über das Gebäudeverhalten des Dienstgebäudes beim Anprall, die mit erheblichen Unschärfen behaftet ist, gemacht.

A5.2 Ausgangslage

Das Dienstgebäude DG 07 wurde durch die SBB in zwei Bauwerksklassen unterteilt. Zwei Gebäudeteile wurden der Bauwerksklasse C (BWK-C) und eine der Bauwerksklasse B (BWK-B), aufgrund der Stellwerkfunktion, zugeordnet.

Für die grobe Aussage bezgl. dem Verhalten des Dienstgebäudes DG 07 bei einem Zugsanprall auf die bestehende Tragstruktur liegt ein Grundriss (Facility Erdgeschoss) vor [VII]. Die gesamte Aussenkonstruktion (Wände) des Dienstgebäudes wurde aus Stahlbeton hergestellt. Es wird davon ausgegangen bzw. angenommen, dass sämtliche tragenden Innenbauteile ebenfalls aus Stahlbeton bestehen.

A5.3 Abschätzung

In der unten angefügten Abbildung sind in Grün die tragenden Bauteile dargestellt (Annahme Stahlbeton). Ebenfalls ist jeweilige BWK zu angeegeben.

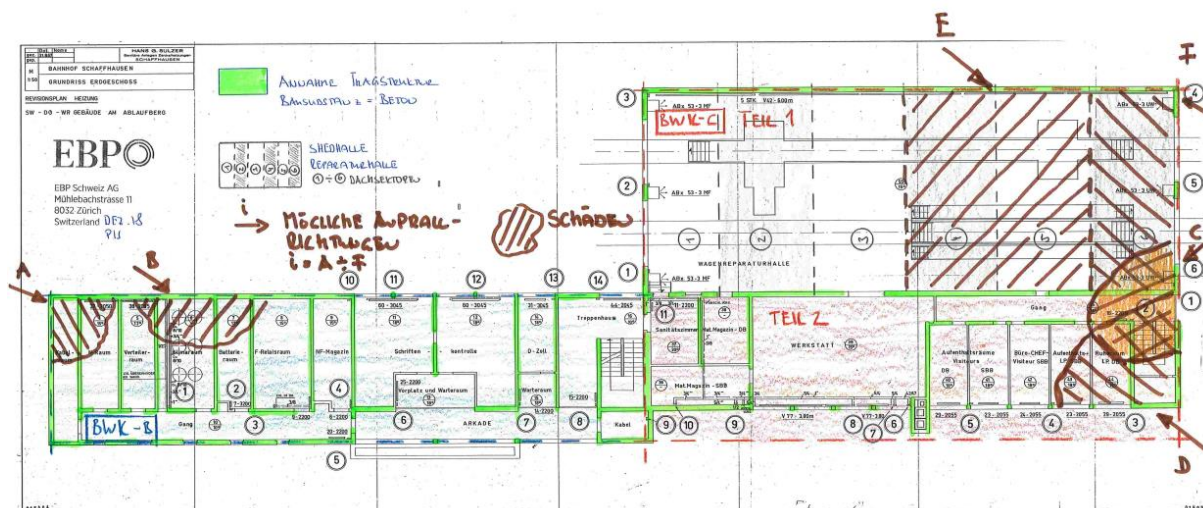


Abbildung 13: Grundriss Erdgeschoss (EG) mit Tragstruktur inkl. beispielhaften Anprallszenarien⁵
A bis E und Schadenbereiche

5 Die hier abgebildeten Anprallszenarien sollen in erster Linie das Ausmass des möglichen Gebäudeschadens veranschaulichen und sind mit den im Rahmen der Risikoanalyse berechneten Anprallszenarien nicht deckungsgleich.

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Aussenwände bei einer Zugentgleisung mit Anprall kollabieren bzw. ein lokaler Bereich der Aussenwand durchstossen wird.

Bei der BWK-B sowie BWK-C Teil 2 handelt es sich um eine robuste Bauweise. Bei einer Zugentgleisung (in Abbildung 13 beispielhaft mit Anprallsszenarien A bis D abgebildet) kann mit einer genügend grossen Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, dass die beiden Gebäudeteile komplett einstürzen. Hier ist mit lokalen Schäden wie z.B. der Ausfall einer oder mehreren Wandreihen zu rechnen. Sofern das Lichtraumprofil eines entgleisten Zugs die Erdgeschossdecke nicht tangiert, kann das Herabstürzen von Deckenbereichen ausgeschlossen werden. Es besteht eine grosse Wahrscheinlichkeit, dass die durchgehenden Aussenwände (keine grossen Aussparungen vorhanden) im Obergeschoss die Tragstruktur zusätzlich aussteifen.

Beim Gebäudeteil 1 der BWK-C handelt es sich um eine Shedhalle. Die oben abgebildete Skizze berücksichtigt für den betrachteten Gebäudeteil sechs Dachsektoren. Die jeweiligen Dachsektoren spannen vom Gebäudeteil 2 zur Aussenwand (kurze Spannrichtung). Bei Ausfall einer Wandreihe, bezogen auf die jeweiligen Sektoren, besteht eine grosse Wahrscheinlichkeit, dass die Deckenbereiche lokal einstürzen. Beim Anprallsszenario E würde das die Deckensektoren 4 und 5, für das Anprallsszenario C sowie F den Deckensektor 6 betreffen. Die restlichen Deckenfelder bzw. Deckensektoren sollten intakt bleiben.