

Risikoanalyse für den Stellwerkersatz der Hafenbahn Schweiz AG

Sonja-Lara Bepperling / Charles Fermaud

Die Stellwerke der Hafenhöhne Kleinhüningen (Basel Stadt) und Birsfelden/Muttenz Au (Basel Landschaft) müssen durch neue Stellwerke ersetzt werden. Für die neuen Stellwerke sind Sicherheitsanforderungen festzulegen. Dies erfolgt in Form von tolerierbaren Gefährdungsraten (THR), die mit Hilfe der semi-quantitativen Methode BP-Risk hergeleitet werden.

1 Einleitung

Die Schalterstellwerke in Kleinhüningen und Birsfelden stammen aus den 1920er Jahren (Bild 1) und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Die Bedienung sowie der Unterhalt der Anlagen sind kostenintensiv und die Ersatzteile sind kaum mehr erhältlich. Die Stellwerke sollen daher ersetzt werden.

Die Hafenbahn Schweiz AG will eine Lösung realisieren, die möglichst gut auf die Bedürfnisse einer Hafenhöhne einght [1]. Für die Ausschreibung der neuen ESTW werden aus diesem Grund Sicherheitsanforderungen für die funktio-

nale Sicherheit in Form von tolerierbaren Gefährdungsraten (THR) und/oder Sicherheitsintegritätslevel (SIL) benötigt. Diese werden mittels einer Risikoanalyse abgeleitet, welche die Schritte gemäß EN 50129 [2] wie folgt umfasst:

- Systemdefinition,
- Gefährdungsidentifikation,
- Konsequenzanalyse,
- Risikoabschätzung und
- THR-Zuordnung.

Für die Schritte Konsequenzanalyse, Risikoabschätzung und THR-Zuordnung kommt als Methode Best-Practice-Risk (BP-Risk) zum Einsatz [3]. Die Methodik und deren Anwendung für die Hafenhöhnen werden in diesem Artikel vorgestellt.

2 BP-Risk

2.1 Methode

BP-Risk stellt ein semi-quantitatives Verfahren zur Risikoanalyse in der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik dar. Es handelt sich um eine vereinfachte standardisierte Risikoanalyse, welche die Elemente gemäß Bild 2 berücksichtigt.

Das Ergebnis der Anwendung von BP-Risk ist eine THR pro maßgebliches Gefährdungsszenario.

Die einzelnen Elemente der Gefahrenabwehr G und des Schadensausmaßes S sind derart aufbereitet, dass die THR aus einer Tabelle herausgelesen werden kann. Der THR Tabelle ist ein vorgegebenes tolerierbares Risiko R hinterlegt, das einzuhalten ist.

Für eine vertiefte Erläuterung der Methode sowie der getroffenen Annahmen und Randbedingungen sei hier auf die zugehörige Dissertationsschrift [3] verwiesen.

Gesetzliche und normative Grundlagen für die Methode bilden sowohl die Verordnung (EG) Nr. 352/2009 [4] bzw. dessen Nachfolger EG 402/2013 als auch die CENELEC-Normen EN 50126 [5] und EN 50129 [6].

Seit der ersten Publikation der Dissertation im Jahr 2008 [3] haben sich die europäische Gesetzgebung und die europäische und nationale Normenwelt weiterentwickelt. Die neuen Erkenntnisse sind in den Beschreibungen der BP-Risk-Tabellen für die Risikoanalyse der Hafenhöhne mit eingeflossen.

2.2 Systemdefinition und Gefährdungsidentifikation

Die Systemdefinition und Gefährdungsidentifikation sind in BP-Risk nicht enthalten und müssen vorgängig durchgeführt werden. Ein übliches Vorgehen beschreibt die Funktionen eines Systems und leitet dann die Gefährdungen über die Analyse der Funktionsausfälle ab. Dazu sind zahlreiche Methoden in der Praxis vorhanden (z. B. FME(C)A, HAZOP, usw.)

2.3 Gefahrenabwehr G

Mit Hilfe des Parameters Gefahrenabwehr G wird eine vereinfachte Folgenanalyse (1. Teil der Konsequenzanalyse) durchgeführt. Da nicht alle Gefährdungen unmittelbar zu Unfällen führen, werden mögliche Schutzmaßnahmen identifiziert und beurteilt. Die Subparameter

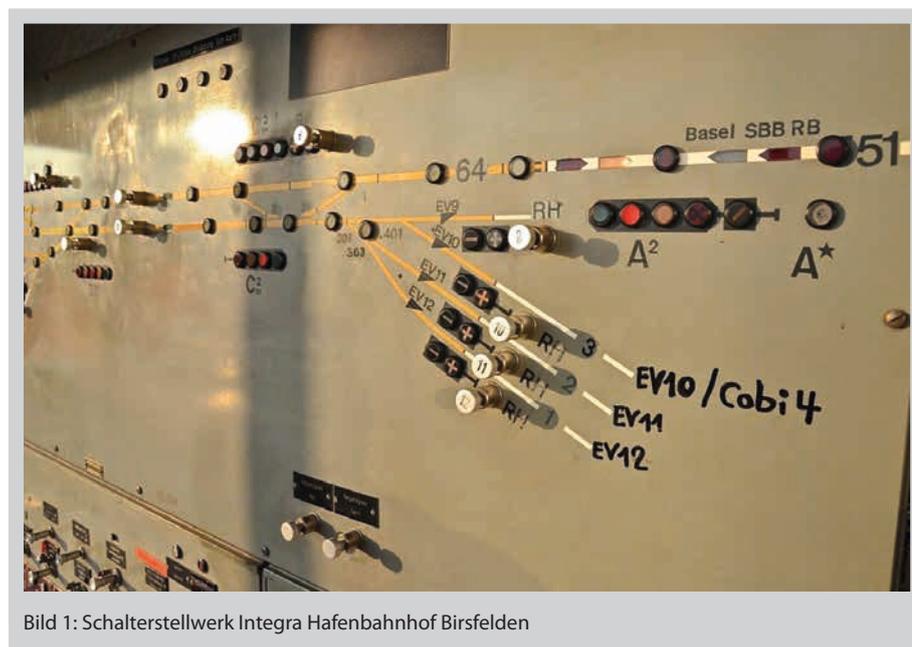


Bild 1: Schalterstellwerk Integra Hafenhöhne Birsfelden

für die Gefahrenabwehr berücksichtigen deshalb Maßnahmen zur Verhinderung von Unfällen und zur Reduzierung des resultierenden Schadens. Bedingung ist jedoch, dass alle Subparameter außerhalb des definierten Systems liegen.

Die Gefahrenabwehr G setzt sich aus den betrieblichen Randbedingungen B und der menschlichen Gefahrenabwehr M zusammen: $G = B + M$

- B = betriebliche Randbedingungen. Dieser Wert (gemäß Tabelle 1) sagt aus, wie wahrscheinlich es unter gegebenen betrieblichen Randbedingungen ist, dass sich im folgenden Abschnitt ein Zug befindet.
- M = Möglichkeit der menschlichen Gefahrenabwehr (Tabelle 2). Es werden menschliche Handlungen berücksichtigt, die nicht dem System zugerechnet werden können bzw. nicht planmäßig erfolgen.

Bei der Betrachtung des Parameters M wird bewertet, inwiefern der Mensch die Gefahr erkennen und den Schaden noch abwenden kann. Die hier in Frage kommenden menschlichen Handlungen finden in der Regel unter ungünstigen Umständen statt und werden bei kurzer Reaktionszeit unter Stress durchgeführt. Bei der Einteilung der menschlichen Handlungen gelten folgende Kategorien:

„Fertigkeits-basierendes Verhalten ist gegeben, wenn der Mensch die ihm gestellte Aufgabe eindeutig verstanden hat und sie aufgrund seiner Ausbildung mit automatisch ablaufenden, sensomotorischen Reaktionen ausführen kann“ [7].

„Regel-basierendes Verhalten ist dann gegeben, wenn der Mensch die ihm gestellte Aufgabe aufgrund festgelegter Symptome einer gelernten Sammlung von Verhaltensregeln der Form ‚Wenn - Dann‘ zuordnen und mit der so gefundenen Regel ausführen kann“ [7].

2.4 Schadensausmaß S

Die Schadensbewertung (2. Teil der Konsequenzanalyse) in BP-Risk stützt sich auf die Formel der kinetischen Energie (siehe [3]). Bei der Einschätzung des Schadens für das zu betrachtende Szenario soll beurteilt werden, welches Ausmaß ein Personenschaden einnehmen könnte, falls die Gefahrenabwehr misslingt. Sachschäden sind im Schadensausmaß implizit enthalten.

$$S = T + V + A$$

- T = Masse, ausgedrückt durch die durchschnittliche maximale Last für die jeweilige Zuggattung (Tabelle 3).
- V = maßgebliche Geschwindigkeit des zu betrachtenden Zuges, kategorisiert durch die erlaubte Geschwindigkeit

auf bestimmten Strecken bzw. bei bestimmten Betriebsmodi (Tabelle 4).

- A = Anzahl betroffener Personen, in Abhängigkeit der jeweiligen Ereignisart (Tabelle 5).

Bei der Bewertung der Anzahl betroffener Personen ist für den Anwender die

Frage zu beantworten, welche Folge das betrachtete Gefährdungsszenario hat. Es werden hierbei keine ‚worst-case‘-Situationen zugrunde gelegt, sondern durchschnittliche oder typischerweise auftretende Gegebenheiten angenommen (Begründung und Herleitung siehe [3]).

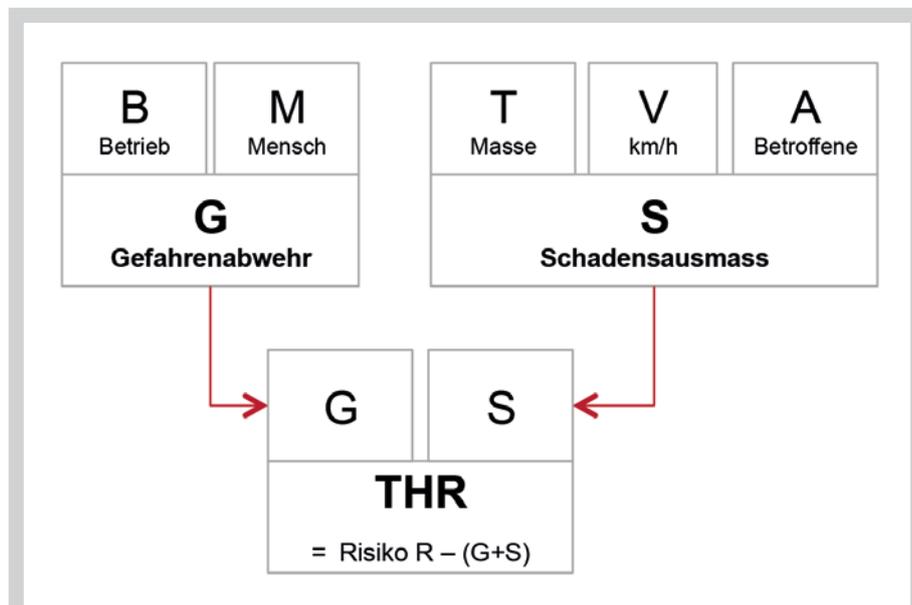


Bild 2: Ablauf BP-Risk

B	Betriebsdichte	Beispiele
1	gering	unter Netzdurchschnitt (20–50 Züge/Tag)
2	normal	Netzdurchschnitt (80–200 Züge/Tag)
3	erhöht	über Netzdurchschnitt (120–240 Züge/Tag)

Tabelle 1: Betriebsdichte B

M[1]	Gefahrenabwehr	Beschreibung
1	häufig möglich	Fertigkeits-basierende Handlung unter ungünstigen Umständen
3	selten möglich	Regel-basierende Handlungen unter ungünstigen Umständen
5	fast nie möglich	Zufälliges Eingreifen des Menschen

[1] Bei den Skalenwerten dürfen begründet auch ganzzahlige Zwischenwerte verwendet werden, z. B. für M die Werte 2 oder 4.

Tabelle 2: Menschliche Gefahrenabwehr M

T	Zuggattung[1]	Beispiele
1	SPNV	Regionalbahn, S-Bahn Züge
2	SPFV und HGV	Triebzüge, bespannte Personenverkehrszüge, Nachtzüge, Autoreisezüge
3	SGV	Güterzüge (auch Schnellgüterzüge)

[1] SPNV = Schienenpersonennahverkehr; SPFV = Schienenpersonenfernverkehr; HGV = Hochgeschwindigkeitsverkehr; SGV = Schienengüterverkehr

Tabelle 3: Zuggattung T

Risikoanalyse

Die Kategorisierung des Parameters A erfolgt gemäß Vornorm DIN VDE V 0831-103 [8] und fokussiert auf relevante Beispiele für Rangierfahrten oder Zugfahrten bei niedriger Geschwindigkeit (bis einschließlich 40 km/h). Die niedrigen Schadensausmaßklassen werden hier detaillierter dargestellt, da sie bei der vorliegenden Risikoanalyse für die Hafenbahn verwendet werden. Die Beispiele für die Parameter 3 bis 5 kommen nur bei mittleren (40 - 80 km/h) oder hohen (über 80 km/h) Geschwindigkeiten vor und werden daher hier nicht weiter aufgeführt.

Nach der vereinfachten Folgen- und Konsequenzanalyse (Summenbildung aus den Parametern G + S) kann dann die BP-Risk-Tabelle (Tabelle 6 zeigt ei-

nen Ausschnitt) für die THR-Zuordnung angewendet werden. In dieser ist ein tolerierbares Risiko R hinterlegt.

Im Folgenden werden die Anwendung und die Ergebnisse der BP-Risk-Analyse für den Stellwerksersatz der Hafenbahn Schweiz AG (Hafenbahnhof Kleinhüningen) vorgestellt.

3 Anwendung bei der Hafenbahn in Kleinhüningen

3.1 Eigenheiten

Die Hafenbahn weist verschiedene Charakteristika auf, die bei der Anwendung

von BP-Risk speziell zu berücksichtigen sind:

- Es handelt sich um eine reine Güterbahn, Reisezugverkehr findet nicht statt.
- In Kleinhüningen verkehrt die Rollende Landstraße (RoLa) mit Personenbeförderung in einem Begleitwagen.
- Es treten verschiedene Betriebsarten mit Ablaufbetrieb, Rangierfahrstraßen und Zugfahrstraßen auf.
- Es sind tiefe Geschwindigkeiten und geringe Betriebsdichten vorhanden.
- In einer spezifischen Auflage des Bundesamtes für Verkehr (BAV) ist der Gefahrguttransport und dessen Einfluss auf die Sicherheit angesprochen.

Der letzte Punkt wurde außerhalb der Anwendung von BP-Risk behandelt, indem aufgezeigt werden konnte, dass BP-Risk im vorliegenden Fall auch die Gefahrgutrisiken ausreichend abdeckt.

3.2 Systemdefinition

Für die Systemdefinition der Hafenbahn wird die Funktionsliste aus der Vornorm DIN VDE V 0831-103 [8] herangezogen, weil sie technische Funktionen der Eisenbahnsignaltechnik geeignet beschreibt. Die spezifischen Randbedingungen der Hafenbahn sind in der generisch formulierten Norm abgedeckt. Für die Risikoanalyse werden diejenigen Funktionen verwendet, die für ein ESTW relevant sind:

1. Fahrstraße sichern
2. Schutz gegen Folgefahrten/Gegenfahrten und Flankenfahrten sicherstellen
3. Befahrbarkeitssperren verwalten
Spezifisch für die Hafenbahn werden folgende Funktionen ergänzt:
4. Ablaufbetrieb freigeben (über Schlüsselschalter)
5. Bahnübergang sichern.

3.3 Gefährdungsidentifikation

Es werden folgende Gefährdungen mit BP-Risk bewertet (siehe Tabelle 7). Betrieblich wird bei einigen Gefährdungen unterschieden zwischen Zug- und Rangierfahrstraßen, da hier unterschiedliche Geschwindigkeiten und betriebliche Rahmenbedingungen gelten (relevant für die Gefahrenabwehr).

3.4 Konsequenzanalyse und Risikoabschätzung

Für jedes Gefährdungsszenario aus Tabelle 7 wird eine Konsequenzanalyse mit Hilfe der BP-Risk-Tabellen durchgeführt. Für die Analyse der Hafenbahn Kleinhüningen ergeben sich spezifische Randbedingungen, die im Folgenden zusammengefasst sind.

V	Geschwindigkeit	Beispiele
-	sehr gering	Rangieren, Ablaufbetrieb (mittlere v = 18 km/h)
1	gering	Fahrt auf Befehl, Güterverkehrsstrecke (mittlere v = 38 km/h)
2	mittel	Nebenstrecke (mittlere v = 60 km/h)
3	hoch	Nebenstrecke oder Regionalverkehrsstrecke (mittlere v = 100 km/h)
4	sehr hoch	Fernverkehrsstrecke oder HGV-Strecke (mittlere v = 160 km/h)

Tabelle 4: Geschwindigkeit V

A	Anzahl Betroffene	Typische Ereignisarten
-	Kein Personenschaden	Aufprall einer Rangierfahrt
1	Ein Leichtverletzter	Aufprall eines Reisezuges auf Gegenstand, Entgleisung einer Rangierfahrt, Zusammenstoß von Rangierfahrten
2	Mehrere Leichtverletzte	Aufprall eines Reisezuges auf Gleisabschluss, Entgleisung eines Reisezuges, Entgleisung eines Güterzuges, Zusammenstoß zwischen Güterzügen, Zusammenprall mit nicht führendem Eisenbahnfahrzeug
3	Ein Schwerverletzter oder viele Leichtverletzte	Zusammenstoß mit einem Reisezug, Zusammenprall mit führendem Eisenbahnfahrzeug
3	Ein Todesopfer oder mehrere Schwerverletzte	Ereignisse bei mittlerer und hoher Geschwindigkeit sowie Personenunfall in einer Arbeitsstelle
4 und 5	Mehrere Todesopfer	Ereignisse bei hoher Geschwindigkeit

Tabelle 5: Anzahl betroffene Personen A

Wert für G+S	THR = R - G + S	Beschreibung
8	1 x 10 ⁻⁴ /h	Einmal im Jahr
9	3 x 10 ⁻⁵ /h	Einmal in 3 Jahren
10	1 x 10 ⁻⁵ /h	Einmal in 10 Jahren
11	3 x 10 ⁻⁶ /h	Einmal in 30 Jahren
12	1 x 10 ⁻⁶ /h	Einmal in 100 Jahren
13	3 x 10 ⁻⁷ /h	Einmal in 300 Jahren
14	1 x 10 ⁻⁷ /h	Einmal in 1.000 Jahren

Tabelle 6: THR-Zuordnung

Nr.	Funktion	Gefährdung	Szenario
1	Fahrstraße sichern	Fahrweegelement nicht verschlossen oder überwacht	a) Zugfahrstraße b) Rangierfahrstraße
2	Schutz gegen Folgefahrten/Gegenfahrten/Flankenfahrten sicherstellen	Folgefahrt/Gegenfahrt/Flankenfahrt nicht ausgeschlossen	a) Zugfahrstraße b) Rangierfahrstraße
3	Befahrbarkeitssperre verwalten	Befahrbarkeitssperre nicht wirksam	-
4	Ablaufbetrieb freigeben	Schlüssel nicht ordnungsgemäß verschlossen Ablaufbetrieb frühzeitig freigegeben	- -
5	Bahnübergang sichern	Bahnübergang ist unerkannt nicht gesichert Schanke schließt ohne Ankündigung	- -

Tabelle 7: Übersicht Gefährdungen in Kleinhüningen

Die Zugdichte bei der Hafenbahn Kleinhüningen beträgt 26 Züge pro Tag. Somit wird der Parameter B bei Zugfahrten immer zu 1 gesetzt. Bei Rangierfahrten wird davon ausgegangen, dass bis zu 200 Rangierfahrten in 24h stattfinden. Da es sich um Rangierfahrten handelt und sich diese auf mehrere Gleise verteilen, wird der Wert auf B = 2 gesetzt (analog 80 bis 200 Züge/pro Tag).

Bei der Zuggattung (Parameter T) geht es um die Masse der Züge. Da sich um Güterzüge handelt, wird T = 3 eingesetzt. Für die einzelnen RoLa-Begleitwagen liegt man damit konservativ auf der sicheren Seite, da der strengste Tabellenwert für T angesetzt wird.

Für Ablaufbetrieb und Rangieren ist die maßgebliche Geschwindigkeit als „sehr gering“ und für Zugfahrten als „gering“ einzustufen. Zur Vereinfachung wird hier konservativ immer V = 1 gesetzt.

Bei Beteiligung der RoLa wird von einer hohen Belegung des Begleitwagens mit 30 Personen ausgegangen. Dies wird berücksichtigt, indem die RoLa-Züge bei der Bestimmung des Parameters A wie Reisezüge behandelt werden.

Die Parameter Menschliche Gefahrenabwehr M und Anzahl Betroffene A sind für jedes Gefährdungsszenario unterschiedlich und sind differenziert zu bestimmen.

3.4 THR-Zuordnung

Die abgeleiteten THR für die technischen Funktionen des neuen Stellwerks für den Hafenbahnhof Kleinhüningen liegen je nach Gefährdung zwischen $1 \times 10^{-6}/h$ und $3 \times 10^{-3}/h$ und beschreiben damit niedrige Anforderungen an die funktionale Sicherheit. Zur Beherrschung der systematischen Fehler ist daher ein Sicherheitsintegritätslevel von SIL 1 ausreichend.

Auf dieser Grundlage beabsichtigt die Hafenbahn Schweiz AG, das Stellwerk gemäß SIL 2 auszuschreiben. Die Festlegung lässt Handlungsspielraum offen;

damit kann eine für die Hafenbahn adäquate Lösung erreicht werden, ohne die rechnerisch begründete Grenze auszunutzen.

4 Fazit

Die Hafenbahn in Kleinhüningen weist charakteristische Eigenheiten auf, die sich deutlich auf die Sicherheitsanforderungen auswirken. Mit BP-Risk konnten diese Eigenheiten – teilweise mit konservativen Annahmen – abgebildet werden. Es hat sich gezeigt, dass BP-Risk universell einsetzbar ist und zu belastbaren Lösungen führt. Das Ergebnis ist eine für die Hafenbahn angemessene THR bzw. SIL, die risikobasiert begründet ist. Darauf abgestimmt kann nun eine für die Hafenbahn passende Stellwerkstechnik eingesetzt werden. Die Risikoanalyse wurde inzwischen auch vom Bundesamt für Verkehr akzeptiert.

LITERATUR

[1] Röthlingshöfer, F.: Die Hafenbahn vernetzt das Schweizer Bahnnetz mit den Weltmeeren, ETR SWISS, April 2015, Nr. 4
 [2] CENELEC (Hrsg.): EN 50129 Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik; 2003
 [3] Validierung eines semi-quantitativen Ansatzes zur Risikobeurteilung in der Eisenbahntechnik, Dissertation von Sonja-Lara Bepperling, 2008: <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00024255>
 [4] Verordnung (EG) Nr. 352/2009 der Kommission vom 24. April 2009 über die Festlegung einer gemeinsamen Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken gemäß Artikel 6 Absatz 3 Buchstabe a der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates; 2009
 [5] CENELEC (Hrsg.): EN 50126 Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); 1999
 [6] CENELEC (Hrsg.): EN 50129 Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Sig-

naltechnik und Datenverarbeitungssysteme – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik, 2003.

[7] Hinzen, A.: Der Einfluss des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn, Dissertation an der TH Aachen, 1993

[8] DIN VDE V 0831-103, Elektrische Bahn-Signalanlagen – Teil 103: Ermittlung von Sicherheitsanforderungen an technische Funktionen in der Eisenbahnsignaltechnik, November 2014

Die Autoren

Dr.-Ing. Sonja-Lara Bepperling
 Projektleiterin Sicherheit im Bahn- und Luftverkehr
 Ernst Basler + Partner AG
 Anschrift: Zollikerstraße 65,
 CH-8702 Zollikon
 E-Mail: sonja-lara.bepperling@ebp.ch

Dipl.-Ing. Charles Fermaud
 Leiter Sicherheit im Bahn- und Luftverkehr
 Ernst Basler + Partner AG
 Anschrift: Zollikerstraße 65,
 CH-8702 Zollikon
 E-Mail: charles.fermaud@ebp.ch

■ SUMMARY

Risk analysis for the interlocking replacement of Hafenbahn Schweiz AG

The risk assessment for the Operator of the Basel Port Railway derives safety requirements for the new interlocking. These are determined in terms of tolerable hazard rates (THR) by using the semi-quantitative method BP-Risk. The resulting hazard rates for the technical functions of the new interlocking are in the range of 1×10^{-6} per hour. Therefore they describe a rather low safety integrity which can be met by SIL 1 requirements.