



5.12.2013

Beschreibung des Vorgehens zur Beurteilung der Akzeptanz der Risiken der Reisenden

Referenz/Aktenzeichen: BAV-023.11//

Der vorliegende Bericht wurde durch folgende Vertreter des BAV, der SBB AG und der BLS AG erarbeitet:

Stefan Baeriswyl SBB AG, ehem. Infrastruktur (I-RSQ)

Benedikt Hitz SBB AG, Infrastruktur Sicherungsanlagen (I-AT-SAL-SIH-SAF)

Hannes Meuli BAV, Sektion Sicherheitsrisiko-Management

Hanspeter Schlatter SBB AG, Infrastruktur Sicherungsanlagen (I-AT-SAL-SIH-SAF)

Silke Schönherr BAV, Sektion Sicherheitsrisiko-Management

Jonathan Shaha SBB AG, Sicherheit, Risikomanagement Sicherheit (K-SI-RMS)

Roman Slovak BAV, Sektion Sicherheitsrisiko-Management

Joëlle Vouillamoz BLS AG, Sicherheit und Umwelt

Version	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
V 2	05.12.2013	H. Meuli	Freigabe

<i>Beschreibung des Vorgehens zur Beurteilung der Akzeptanz der Risiken der Reisenden</i>	<i>1</i>
<i>1 Einleitung.....</i>	<i>3</i>
1.1 Ausgangslage.....	4
1.2 Ansätze zur Beurteilung des individuellen Risikos	5
<i>2 Grundsätze der Methode</i>	<i>6</i>
2.1 Berechnung des Basisrisikos.....	6
2.2 Ableitung der Akzeptanzgrenze des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos	7
<i>3 Anwendung der Methode für die Beurteilung der projektspezifischen Fallrisiken.....</i>	<i>9</i>
3.1 Umgang mit mehreren verschiedenen Fallrisiken.....	10
3.2 Umgang mit zukünftiger Wiederholung von Projektrisiken	12
3.3 Ableitung projektspezifischer Akzeptanzgrenzen	13
<i>4 Zusammenfassung</i>	<i>14</i>
<i>5 Anwendungsbeispiele</i>	<i>15</i>
5.1 Betriebsartenumschaltung in Gümligen	15
5.2 Entgleisungen von Neigezugfahrten	15
<i>6 Literatur.....</i>	<i>17</i>
<i>7 Verzeichnisse</i>	<i>18</i>
7.1 Variablenverzeichnis.....	18
7.2 Abkürzungsverzeichnis.....	19

1 Einleitung

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) hat im „Sicherheitskonzept BAV“ [2] zum Umgang mit Restrisiken folgendes festgehalten:

„... Wir akzeptieren Restrisiken nur wenn sie nach bestem Wissen vertretbar sind und mit verhältnismässigem Aufwand nicht beseitigt werden können...“.

Weder das Sicherheitskonzept des BAV noch Gesetz, Verordnungen, Ausführungsbestimmungen oder Richtlinien enthalten weitergehende Angaben, wie die Vertretbarkeit und die Verhältnismässigkeit der Restrisiken nachgewiesen werden sollen. Die SBB haben aus eigener Initiative eine Methode entwickelt, um einerseits den Nachweis "kein inakzeptables Risiko" und andererseits den Nachweis "alle verhältnismässigen risikoreduzierenden Massnahmen" zu führen [4]. Auf dieser Grundlage erarbeitete eine gemischte Arbeitsgruppe den vorliegenden Methodenbeschrieb.

Die hier beschriebene Methode soll es ermöglichen, die individuellen Risiken der Reisenden¹ der Eisenbahn zu quantifizieren und den Nachweis zu erbringen, dass keine inakzeptablen Risiken entstehen. Der methodische Rahmen bildet eine Risikoanalyse mit einem zweistufigen Verfahren, wie es in Abbildung 1 dargestellt ist.

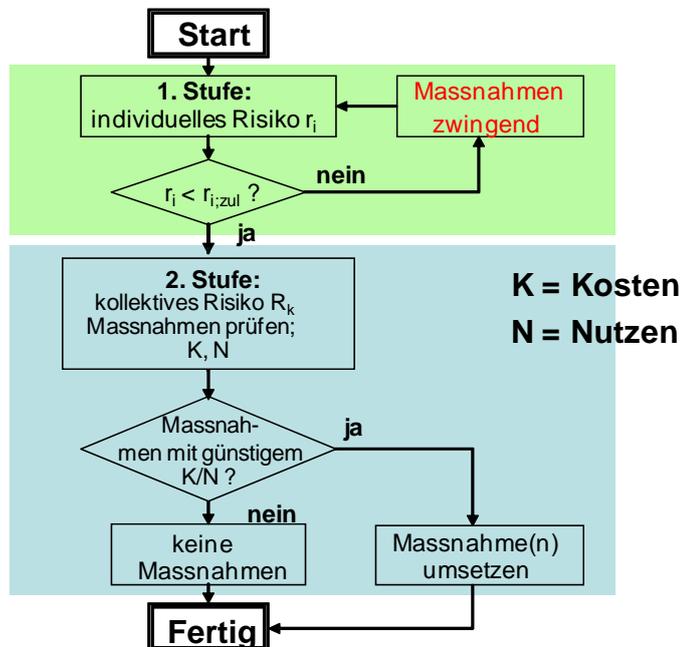


Abbildung 1: Schematischer Ablauf der zweistufigen Risikobeurteilung nach [4]

¹ Es besteht ein analoger Methodenbeschrieb für die Berechnung und Beurteilung des individuellen Risikos der Mitarbeitenden.



bis



SBB CFF FFS

Referenz/Aktenzeichen: BAV-023.11//

In der ersten Stufe soll nachgewiesen werden, dass für die beteiligten Personen (Reisende, Personal, Dritte) kein inakzeptables individuelles Risiko entsteht. Sollte die Analyse hier eine Überschreitung des entsprechenden Grenzwertes zeigen, müssen zwingend Massnahmen zur Risikoreduktion umgesetzt werden. Wird der Grenzwert für das individuelle Risiko eingehalten wird in einer zweiten Bearbeitungsphase das kollektive Risiko beurteilt. Das kollektive Risiko gilt dann als hinreichend klein, wenn alle verhältnismässigen risikoreduzierenden Massnahmen ergriffen werden. Als verhältnismässig gelten Massnahmen, die ein günstiges Kosten-/Nutzenverhältnis aufweisen. Gemäss heutiger Praxis gilt ein Verhältnis als günstig, wenn die Kosten tiefer sind als der erzielte Nutzen. Dieser zweite Bearbeitungsschritt ist nicht Inhalt des vorliegenden Methodenbeschreibs. Offene Fragen zur Kosten-/Nutzenberechnung (wie beispielsweise die Festlegung eines Grenzkostenbetrages) sollen allenfalls in einem nachfolgenden Projekt erarbeitet werden.

Die nachfolgend beschriebene Methode bezieht sich somit ausschliesslich auf die erste Stufe des Vorgehens gemäss Abbildung 1. Diese erste Stufe, die Beurteilung der Frage, ob das individuelle Risiko akzeptabel ist, reicht gemäss Sicherheitskonzepts BAV nicht aus, um die Vertretbarkeit des verbleibenden restrisikos nachzuweisen. In jedem Fall muss auch nachgewiesen werden, dass alle verhältnismässigen risikoreduzierenden Massnahmen ergriffen werden. Dies entspricht der zweiten Bearbeitungsstufe gemäss Abbildung 1.

Die in diesem Methodenbeschrieb festgelegten Grenzwerte haben provisorischen Charakter. Sie wurden an realen Beispielen überprüft, müssen aber in der Praxis weiter auf ihre Anwendbarkeit hin verifiziert werden. Nach Abschluss der Testphase werden die Grenzwerte einer Überprüfung unterzogen. Die Überprüfung erfolgt spätestens 2015.

1.1 Ausgangslage

Für die Entwicklung der Methode zur Beurteilung der individuellen Risiken wurde eine gemeinsame Arbeitsgruppe BAV, SBB und BLS gebildet. Als erster Schritt wurde die hier beschriebene Methode zur Beurteilung der Risiken der Reisenden entwickelt.

In der bisherigen Praxis werden die individuellen Risiken der Reisenden jeweils auf die untersuchte Lokalität bezogen. Dies kann z.B. eine Naturgefahr, ein Bauwerk oder eine Sicherungsanlage einer Betriebsstelle sein. Als Akzeptanzkriterium wird der Grenzwert $1 \cdot 10^{-5}$ Tote pro Person und Jahr verwendet. Es wird dabei nicht explizit betrachtet, dass ein Reisender als Nutzer des Systems Eisenbahn mehrere (allenfalls hunderte) solcher Quellen des individuellen Risikos innerhalb einer Bahnfahrt befährt. Beim Vergleich mit dem Grenzwert sollten alle diese Risiken in geeigneter Form berücksichtigt werden. Oft ist diese Vereinfachung in der Praxis aber darum problemlos, weil erfahrungsgemäss diese vielen Gefährdungen kaum je alle tatsächlich in voller Grösse auf ein Individuum einwirken.



bbs



SBB CFF FFS

Referenz/Aktenzeichen: BAV-023.11//

1.2 Ansätze zur Beurteilung des individuellen Risikos

Grundlage für die Berechnung des individuellen Risikos r_i stellt das kollektive Risiko R_k pro Zeiteinheit (z.B. als Anzahl der Tote pro Jahr) dar, welches im Rahmen einer projektspezifischen Risikoanalyse berechnet wurde. Der traditionelle (*häufigkeitsbasierte*) Ansatz [3],[4] berücksichtigt dabei die Anzahl der pro Jahr beteiligten Personen N_p sowie die maximale Anzahl der Systemnutzungen pro Zeiteinheit W_{max} (Häufigkeit der Nutzung) einer dieser Personen:

$$r_i = \frac{R_k}{N_p} W_{max} [T / P / J] \quad (1)$$

Um die verschiedenen Systemaussetzungszeiten zu berücksichtigen, wird nach [5] der Einbezug der Expositionszeit empfohlen:

$$r_{iE1} = \frac{R_k \cdot E_1}{E_p} [T / P / E_1] \quad (2)$$

Dabei entspricht E_1 jener Zeit, während der eine Einzelperson, und E_p jener Zeit, während der alle beteiligten Personen (kumulierte Expositionsdauer) dem System ausgesetzt sind.

Damit es möglich ist, Vergleiche von verschiedenen Projekten bzw. Projektvarianten untereinander sowie mit den Grenzwerten auf einfache Weise durchzuführen, wird das individuelle Risiko auf eine standardisierte Zeiteinheit umgerechnet. Sollte dazu ein Jahr verwendet werden ($E_1 = 1 J$), kann geschrieben werden:

$$r_{iE} = \frac{R_k}{E_p} [T / P / J] \quad (3)$$

bzw.

$$r_{iE} = \frac{R_k}{N_p E_\emptyset} [T / P / J] \quad (4)$$

wobei E_\emptyset die durchschnittliche Expositionsdauer einer der beteiligten Personen darstellt.

r_{iE} wird als *expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko* bezeichnet und es ist ein virtuelles Risiko, welchem ein Individuum ausgesetzt wäre, wenn es ununterbrochen ein Jahr lang das System Eisenbahn nutzen würde. Die reale Häufigkeit der Systemnutzung einer Einzelperson ist für die Berechnung dieses rein theoretischen Risikos daher nicht relevant, Hier steht die Beurteilung des Systemrisikos im Vordergrund.

2 Grundsätze der Methode

Weil das Verhalten der Reisenden im System Eisenbahn stark variiert (mit „Verhalten“ sind der Reiseweg, die Reishäufigkeit, die Reisedauer etc. gemeint, nicht etwa Fahrlässigkeit etc.), basiert die Methode zur Beurteilung der individuellen Risiken der Reisenden auf dem expositionsdauerbasierten Berechnungsansatz. Dieser Ansatz ermöglicht es, das individuelle Risiko der Reisenden unabhängig von deren Verhalten zu beurteilen.

Die Methode geht einerseits von einer durchschnittlichen Länge der Nutzung des Eisenbahnsystems aus. Diese beträgt bei einem Reisenden z.B. bei der SBB 47 Minuten pro Tag. Diese Dauer wurde aus den statistischen Angaben der SBB zur durchschnittlichen Reiselänge von 50.5 km und einer Annahme bezüglich der Durchschnittsgeschwindigkeit von 65 km/h ermittelt [6]. Ausgehend von einer Gesamtlänge von 2939 km stellt diese Durchschnittsstrecke etwa 1.7 % des Streckennetzes der SBB dar. Ebenso wurden die durchschnittlichen betrieblichen Verhältnisse auf der Strecke angenommen. Diese gehen von 125.8 Zügen pro Tag mit 129 Fahrgästen pro Zug aus. Das Ziel der Methode ist es nachzuweisen, dass die untersuchten Restrisiken das individuelle Risiko des Reisenden auf einer durchschnittlichen Bahnfahrt nicht inakzeptabel erhöhen. Der expositionsdauerbasierte Ansatz stellt sicher, dass auch ein beliebig häufiges Wiederholen der durchschnittlichen Bahnfahrt auch auf verschiedenen Strecken nicht zu einer Überschreitung des zulässigen Grenzwertes des individuellen Risikos führen kann.

Andererseits basiert die Methode auf der Kenntnis des aktuellen Risikos des Eisenbahnverkehrs (des Basisrisikos). Für die als Beispiel betrachtete SBB beträgt dieses Risiko für Reisende für das Gesamtnetz $R_k = 0.68$ FWI/Jahr, wobei der Wert FWI (Fatalities and Weighted Injuries) die Summe der Anzahl Toten plus einem Zehntel der Anzahl der Schwer- und einem Hundertstel von der Anzahl der Leichtverletzten beträgt. Eine der Statistiken der SBB entsprechende approximative Umrechnung auf die häufig verwendete Risikogrösse Tote/Jahr erfolgt durch eine Näherung von 1 Tote/Jahr = 1.5 FWI/Jahr. Für die Durchschnittsstrecke (1.7 %) fallen entsprechend proportional etwa $R_{k\emptyset} = 0.012$ FWI/Jahr als Basisrisiko an. Diese Werte umfassen nur die nicht-selbstverschuldeten Unfälle. Personenschäden, die durch Selbstverschulden der Opfer verursacht wurden, sind nicht berücksichtigt.

2.1 Berechnung des Basisrisikos

Mit Verwendung der Formel (3) kann mit den genannten statistischen Daten bezogen auf ein Jahr das expositionsdauerbasierte individuelle Risiko der Reisenden bei der SBB R_{iEB} berechnet werden:

$$R_{iEB} = \frac{R_{k\emptyset}}{N_{\emptyset Fg} E_{\emptyset Fg}} [T / P / J] \quad (5)$$



$$R_{iEB} = \frac{0.012}{(129 \cdot 125.8 \cdot 365) \cdot (47 / 60 / 24 / 365)} = 2.23 \cdot 10^{-5} [FWI / P / J] \quad (6)$$

Dieses Risiko entspricht etwa $1.5 \cdot 10^{-5}$ T/P/J und entspricht dem individuellen Risiko eines Reisenden, welcher 1 Jahr ununterbrochen bei der SBB bahnfahren würde. Obwohl dieses Risiko aus dem Parameter einer Durchschnittstrecke ermittelt worden ist, kann angenommen werden, dass es näherungsweise auch für Strecken und Unternehmen mit wesentlich unterschiedlichen Betriebsparametern (Anzahl der Züge/Stunde, Personen/Zug) gültig ist. Das individuelle Risiko ist im Gegensatz zum kollektiven Risiko von diesen Parametern wesentlich weniger abhängig.

Es wird empfohlen, das expositionsdauerbasierte individuelle Basisrisiko R_{iEB} mittelfristig (etwa alle 10 Jahre) periodisch zu erheben und die Beurteilungsmethode auf diese Weise aktuell zu halten. Sollte in der Zukunft das Basisrisiko höher sein als heute, würde sich diese negative Entwicklung als Verschärfung der Beurteilungsmethode auswirken (s. weiter unten z.B. Gleichung 11).

2.2 Ableitung der Akzeptanzgrenze des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos

Die Akzeptanz des aussetzungsdauerbasierten individuellen Risikos wird auf der Basis des Vergleichs mit der Minimalen Endogenen Mortalität (MEM) definiert. Entsprechend der Norm EN 50 126 [1] darf ein technisches System, also auch das Gesamtsystem Eisenbahn, ein Individuum mit einem Risiko von nicht mehr als 10^{-5} T/P/J gefährden². Dieser Wert ist als 1/20 von MEM von $2 \cdot 10^{-4}$ T/P/J abgeleitet. Der Wert 1/20 kann als Mass für eine nicht signifikante Erhöhung des menschlichen Risikos betrachtet werden. Es gilt also:

$$R_{iEakzFg} = 10^{-5} [T / P / J] \quad (7)$$

Aufgrund seiner Definition kann die endogene Sterblichkeit als ein andauerndes Risiko eines Individuums betrachtet werden. Es ist also ein Risiko, welchem jeder Mensch innerhalb des ganzen Jahres ununterbrochen ausgesetzt ist. Im Falle des Eisenbahnsystems handelt es sich aber um viele zeitlich begrenzte Aussetzungen. Entscheidend für das Individuum ist jedoch das jährliche Risiko, welches sich aus der Summe der Risiken der Einzelaussetzungen ergibt. Da im System Eisenbahn die summierte Aussetzungsdauer eines Reisenden in der Regel weit kürzer als ein Jahr ist, darf auch angenommen werden, dass die Eisenbahnrisiken innerhalb der Zeit, in welcher der Reisende die Eisenbahn nicht nutzt, kompensiert (reduziert) werden. Diese Kompensation des aussetzungsdauerbasierten Risikos ist auf der Abbildung 1 verdeutlicht.

² Zum Vergleich: das durchschnittliche jährliche Todesfallrisiko beträgt in Mitteleuropa – und somit auch in der Schweiz – ca. 10^{-2} , ist also um rund einen Faktor 1000 grösser als $R_{iEakzFg}$

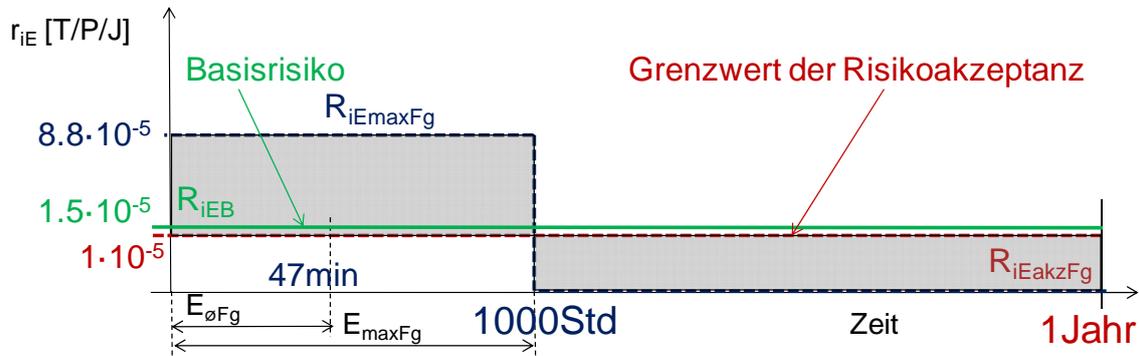


Abbildung 2: Auf der x-Achse ist die Zeit (1 Jahr), auf der y-Achse das Risiko dargestellt. Die 1000 Stunden links in der Abbildung entsprechen der als maximal angenommenen Zeit eines „Vielfahrers“. Diese Zeit verteilt sich natürlich über das ganze Jahr, sie ist aber hier schematisch am Stück dargestellt, um die im Text erläuterte „Umschichtung des Risikos“ besser darstellen zu können.

Es kann angenommen werden, dass ein Individuum pro Jahr höchstens $E_{maxFg} = 1000$ Std (Annahme SBB) dem System Eisenbahn ausgesetzt ist. Diese angenommene maximale Nutzungsdauer entspricht einer Nutzung von jeweils 4 Std an 250 Tagen pro Jahr und stellt das Nutzenverhalten eines „Superpendlers“ dar³. Als Akzeptanzgrenze des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos für die Reisenden $R_{iE_{maxFg}}$ kann somit der Wert von $8.76 \cdot 10^{-5}$ T/P/J verwendet werden. Die Ableitung dieses Akzeptanzwertes unter der Voraussetzung, dass $E_1 = 1J$, ist in den Gleichungen 8 bis 10 beschrieben (vgl. auch Abbildung 2):

$$\frac{E_{maxFg} \cdot R_{iE_{maxFg}}}{E_1} \leq R_{iE_{akzFg}} \quad (8)$$

$$\frac{1000 / 24 / 365 \cdot R_{iE_{maxFg}}}{1} \leq 10^{-5} [T / P / J] \quad (9)$$

$$R_{iE_{maxFg}} \leq 8.8 \cdot 10^{-5} [T / P / J] \quad (10)$$

³ Es verbleibt die Frage, ob mit diesen 1000 Stunden pro Jahr auch Exposition bezogen auf die Mobilitätsrisiken ausserhalb des Eisenbahnsystems abgedeckt sind und damit die Annahme, dass in der „Nicht-Aussetzungszeit“ das individuelle Risiko = 0 plausibel ist.

Eine Abschätzung zeigt, dass diese Annahme plausibel ist: Es ist zwar durchaus möglich, an einzelnen Tagen pro Jahr mehr als 4 Stunden für die Mobilität aufzuwenden (z.B. bei einem Langstreckenflug). Hingegen ist es nicht plausibel, bei einem Reisenden an Jedem Tag des Jahres von relevant mehr als 3 Stunden „Reisezeit“ auszugehen. Damit kann mit den 1000 Stunden sowohl die Expositionszeit bezogen auf das System Eisenbahn wie auch bezogen auf das System „Mobilität“ abgedeckt werden.



3 Anwendung der Methode für die Beurteilung der projektspezifischen Fallrisiken

Die Methode zur Beurteilung der individuellen Risiken der Reisenden soll insbesondere in Fällen (Projekten) angewendet werden, welche eine Abweichung von gültigen Vorschriften beinhalten und für welche daher durch eine Risikoanalyse nachgewiesen werden muss, dass das Risiko nicht inakzeptabel ist (vgl. Kapitel 1). In solchen Fällen wird ein projektspezifisches kollektives Risiko R_{kFall} berechnet, welches aus der Sicht des Individuums auf seine Akzeptanz zu prüfen ist.

Aus diesem Grund handelt es sich in vielen Fällen um ein projektspezifisches Risiko, um welches das Basisrisiko des Eisenbahnsystems erhöht wird (Abbildung 3, Fall 3.). In den meisten Fällen wird jedoch das Basisrisiko durch die Umsetzung des Projektes verkleinert (Fall 2), im Ausnahmefall sogar völlig eliminiert (Fall 1).

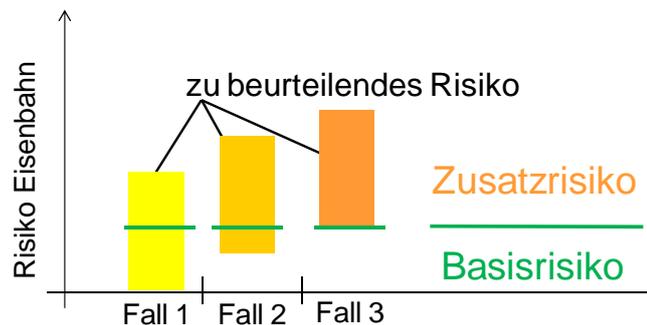


Abbildung 3: Schematische Darstellung der 3 möglichen Fälle „völlige Elimination“ (1.), „teilweise Elimination“ (2.) und „keine Elimination“ (3.) des Basisrisikos.

Da es in den Fällen 1. und 2. in Abbildung 3 meistens schwierig ist, den Anteil des eliminierten Basisrisikos nachzuweisen (Bereich unterhalb der grünen Linie), wird bei der Methode davon ausgegangen, dass das projektspezifische Risiko als reines Zusatzrisiko zu betrachten ist (Fall 3.). Eine Reduktion des Basisrisikos sollte nur beim Vorliegen der entsprechenden Nachweise vorgenommen werden.

Generell kann zwischen zwei Arten der Fallrisiken unterschieden werden:

- Impulsartige Fallrisiken – Risiken, die auf einen Reisenden nur eine begrenzte Zeit wirken (meist streckenseitige Risiken, z.B. Risiken aus Tunnels, Sicherungsanlagen, Bahnübergängen)
- Andauernde Fallrisiken – Risiken, welche innerhalb der ganzen Fahrt des Reisenden vorhanden sind (meist fahrzeugseitige Risiken, z.B. Achsbruch mit folgender Entgleisung)

Trotz unterschiedlicher Wirkungsdauer dieser zwei Arten von Fallrisiken ist aus der Sicht des Reisenden das Gesamtrisiko einer ganzen Bahnfahrt entscheidend. Daher geht die entwickelte Methode von einer Umrechnung von impulsartigen auf andauernde Risiken aus: das Impulsrisiko wird auf eine durchschnittliche Fahrt verteilt, quasi „verschmiert“. Diese Risiken können dann mit dem Basisrisiko zusammengerechnet und auf die Akzeptanz geprüft werden. Durch dieses Vorgehen können auch impulsartige Risiken, welche während ihrer Wirkung den Akzeptanzwert $R_{iE \max Fg}$ signifikant überschreiten, wegen deren sehr kurzen Wirkungszeit als akzeptabel bewertet werden. Die Umrechnung der impulsartigen Risiken auf die andauernden Risiken ist auf der Abbildung 4 verdeutlicht.

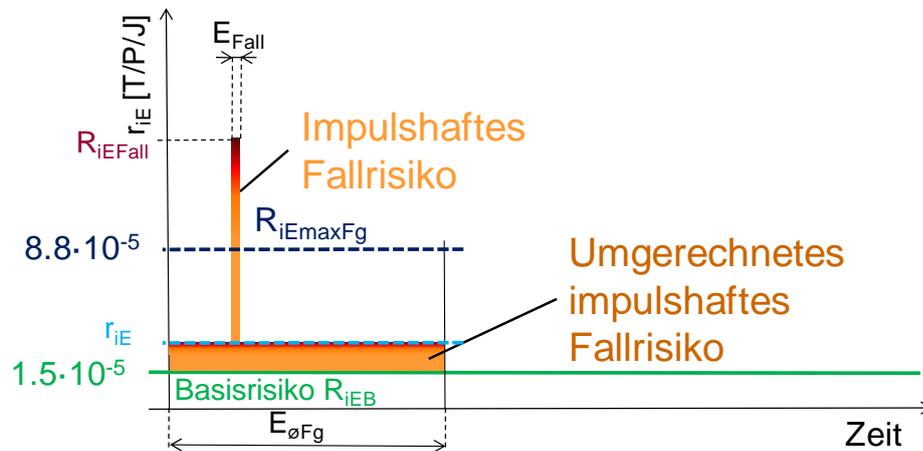


Abbildung 4: Verteilung des Impulsrisikos (hohe dünne Säule) auf die ganze durchschnittliche Fahrt $E_{\emptyset Fg}$.

Das resultierende expositionsdauerbasierte individuelle Risiko eines Reisenden r_{iE} , welcher die Durchschnittstrecke der SBB befährt und einem Fallrisiko ausgesetzt ist, kann also als Summe des Fallrisikos und des Basisrisikos betrachtet und wie folgt berechnet werden:

$$r_{iE} = \frac{E_{Fall} \cdot R_{iE Fall} + E_{\emptyset Fg} \cdot R_{iEB}}{E_{\emptyset Fg}} \leq R_{iE \max Fg} \quad (11)$$

wobei E_{Fall} die effektive Expositionsdauer eines Reisenden bezüglich des Fallrisikos $R_{iE Fall}$ (pro eine Aussetzung) ist.

3.1 Umgang mit mehreren verschiedenen Fallrisiken

Das gesamte Zusatzrisiko einer Bahnfahrt ergibt sich aus der Summe der einzelnen Teilrisiken $R_{E Fallj}$, die den einzelnen Projekten (Restrisiken) entsprechen.

$$r_{iE} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{Falle}} (E_{Fallj} \cdot R_{iE Fallj}) + E_{\emptyset Fg} R_{iEB}}{E_{\emptyset Fg}} \leq R_{iE \max Fg} \quad (12)$$

wobei E_{Fallj} die effektive Expositionsdauer eines Reisenden bezüglich der einzelnen Fallrisiken und $N_{Fälle}$ die Anzahl der verschiedenen Fallrisiken ist.

Die Abbildung 5 veranschaulicht das angenommene Risikomodell für einen Fall von 4 Zusatzrisiken (3 impulsartige und 1 andauerndes) auf der Durchschnittsstrecke eines Reisenden.

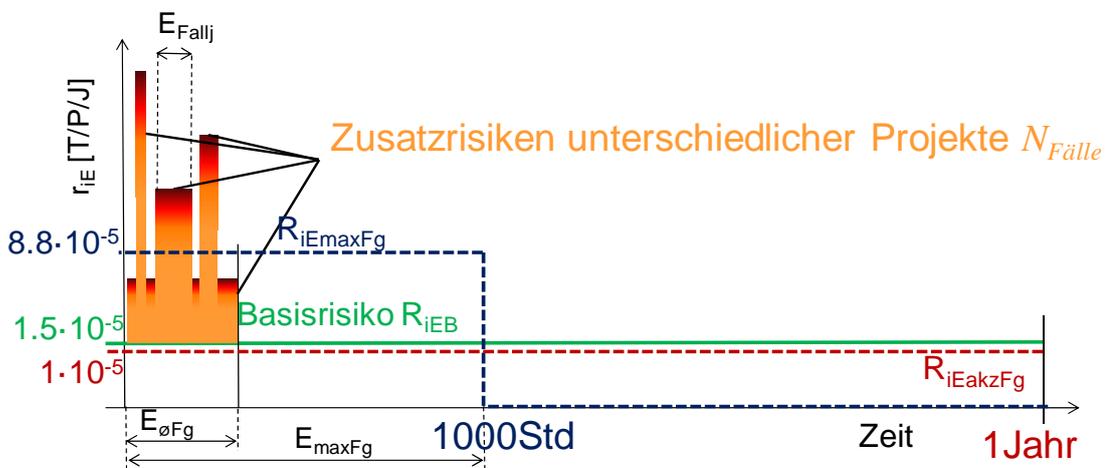


Abbildung 5: Zusatzrisiken von unterschiedlichen Projekten mit Restrisiken

Die Anzahl der Zusatzrisiken entspricht einer generellen Annahme der Anzahl an zukünftigen Projekten (Restrisiken), mit welchen auf einer Strecke von durchschnittlicher Länge in mittelfristiger Zukunft (z.B. 10 Jahre) zu rechnen ist. Eine längere Zeitperiode muss nicht betrachtet werden, da zu erwarten ist, dass eine höhere Anzahl von Zusatzrisiken sich bereits auf die Höhe des durchschnittlichen kollektiven Risikos der Schweiz R_{ko} auswirkt und so in diese Beurteilungsmethode über die Formel 5 einfließen würde.

Unter der Annahme, dass alle zusätzlichen Einzelrisiken von verschiedenen Projekten die gleiche maximale Höhe haben dürfen, kann geschrieben werden:

$$r_{iE} = \frac{N_{Fälle} (E_{Fall} \cdot R_{iEFall}) + E_{\phi Fg} R_{iEB}}{E_{\phi Fg}} \leq R_{iE \max Fg} \quad (13)$$

wobei $N_{Fälle}$ eine durchschnittliche Anzahl von Beurteilungsprojekten ist, die an einer Durchschnittsstrecke während einer bestimmten Zeit (z.B. innerhalb von 10 Jahren) zu erwarten sind. Auf der Basis der Ermittlungen der SBB über die Häufigkeit von Ausnahmebewilligungen schlägt das BAV pro Durchschnittsstrecke von 50.5 km den Wert $N_{Fälle} = 10$ zu setzen (\Rightarrow 0.2 Restrisiken pro Streckenkilometer).



Das expositionsdauerbasierte individuelle Risiko R_{iEFall} aus der Formel 12 bzw. 13 ist das Fallrisiko welches sich aus einem spezifischen Projekt (das beurteilt wird) ergibt. Dieses kann entsprechend der Formel 1 aus dem projektspezifischen kollektiven Fallrisiko wie folgt berechnet werden:

$$R_{iEFall} = \frac{R_{kFall}}{N_{FgFall} E_{Fall}} [T / P / J] \quad (14)$$

wobei N_{FgFall} die jährliche Anzahl der Personenaussetzungen bezüglich dem Fallrisiko des Projektes entspricht.

Nach dem Einsetzen von R_{iEFall} aus der Gleichung 14 in die Gleichung 13 resultiert für das gesuchte individuelle Risiko eines Reisenden r_{iEFg} :

$$r_{iEFg} = \frac{N_{Fälle} \frac{R_{kFall}}{N_{FgFall}} + E_{\emptyset Fg} R_{iEB}}{E_{\emptyset Fg}} \leq R_{iE \max Fg} \quad (15)$$

Es ist ersichtlich, dass dieses resultierende Risiko nicht mehr von der effektiven Aussetzungsdauer des Reisenden bezüglich dem Zusatzrisiko des Projektes E_{Fall} abhängig ist. Aus diesem Grund kann die Formel 15 für die Beurteilung sowohl andauernder als auch impulsartiger Projektrisiken der Reisenden angewendet werden.

3.2 Umgang mit zukünftiger Wiederholung von Projektrisiken

Falls Risiken auf ein Individuum kumulativ wirken, muss methodisch verhindert werden, dass eine Aussetzung des Reisenden auf mehrere, einzeln je akzeptierte Risiken innerhalb einer Systembenutzung zu einer Überschreitung des maximal zulässigen Gesamtrisikos führt. Dies könnte bei einem Individuum dann zutreffen, wenn das zu beurteilende Projekt (Element, Verfahren) in der Zukunft mehrfach eingesetzt werden kann und es nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Reisender bei einer Benutzung der Eisenbahn Zusatzrisiken von mehreren solchen Anwendungen ausgesetzt wird.

Aus diesem Grund muss das zu beurteilende Projektrisiko alle die Zusatzrisiken umfassen, denen ein Reisender (zukünftig) innerhalb der angenommenen Durchschnittstrecke (50.5 km) ausgesetzt sein könnte (unter Berücksichtigung der zukünftigen Anwendungswiederholung). Die Berechnungsformel (15) ist daher mit einem zusätzlichen Faktor W_{Fall} wie folgt zu erweitern:

$$r_{iE} = \frac{N_{Fälle} \frac{R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{N_{FgFall}} + E_{\emptyset Fg} R_{iEB}}{E_{\emptyset Fg}} \leq R_{iE \max Fg} \quad (16)$$

Dabei ist W_{Fall} die durchschnittliche Anzahl der Orte auf einer Durchschnittstrecke, an welcher die Anwesenheit des gleichen Fallrisikos in der Zukunft vorstellbar ist. Es handelt sich dabei um eine Abschätzung unter Berücksichtigung der aktuellen Strategie der Entwicklung des Systems Eisenbahn.

3.3 Ableitung projektspezifischer Akzeptanzgrenzen

Nach dem Einsetzen von $N_{Fälle} = 10$ und der Zahlen aus Gleichung 6 in die Gleichung 16 folgt:

$$r_{iE} = \frac{10 \frac{R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{N_{FgFall}} + (47 / 60 / 24 / 365) \cdot 1.5 \cdot 10^{-5}}{47 / 60 / 24 / 365} \leq 8.8 \cdot 10^{-5} [T / P / J] \quad (17)$$

und daraus:

$$r_{iE} = \left(\frac{10 \cdot R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{8.9 \cdot 10^{-5} N_{FgFall}} + 1.5 \cdot 10^{-5} \right) \leq 8.8 \cdot 10^{-5} [T / P / J] \quad (18)$$

$$r_{iE} = \left(\frac{1.1 \cdot 10^5 \cdot R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{N_{FgFall}} + 1.5 \cdot 10^{-5} \right) \leq 8.8 \cdot 10^{-5} [T / P / J] \quad (19)$$

Der in der Gleichung 19 vorhandene Ausdruck $\frac{R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{N_{FgFall}}$ entspricht dem nutzungshäufigkeitsbasierten individuellen Risiko des Reisenden R_{i1Fg} , welches sich aus einer einzelnen Aussetzung bezogen auf ein einzelnes Fallrisiko ergibt (s. Gleichung 1, wobei $W_{max}=1$). Durch die Umformung der Gleichung 19 kann für die Akzeptanzgrenze dieses Risikos abgeleitet werden:

$$R_{i1akzFg} = \frac{R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{N_{FgFall}} \leq 6.5 \cdot 10^{-10} [T / P / \text{Gefährdungsaussetzung}] \quad (20)$$

wobei $R_{koFall} \cdot W_{Fall}$ das gesamte kollektive Zusatzrisiko des zu beurteilenden Projektes mit Berücksichtigung der potenziellen Wiederholung auf der Durchschnittstrecke darstellt und N_{FgFall} der Anzahl der jährlichen Personenaussetzungen entspricht.

Die Gleichung 20 stellt für die Praxis die einfachste Anwendung der Methode für die Beurteilung des individuellen Risikos der Reisenden im Eisenbahnverkehr dar.



4 Zusammenfassung

Die entwickelte Methode basiert auf der Berechnung des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos eines Reisenden innerhalb der Nutzung des Eisenbahnsystems. Diese Berechnung ist unabhängig von der Anzahl der Systemnutzungen durch den Reisenden. Als Grundlage für die Berechnung wurde eine durchschnittliche Nutzungszeit pro Fahrt von 46.6 Min. angenommen, was dem Befahren einer Durchschnittstrecke der SBB entspricht. Diese gewählte Nutzungszeit dient als elementare zeitliche Betrachtungseinheit für die Wirkung von verschiedenen unterschiedlich lang wirkenden Projektrisiken. Die effektive Länge der Systemnutzung ist lediglich durch den Parameter $E_{maxFg} = 1000$ Std/Jahr eingeschränkt, welcher einer Systemaussetzung eines „Superpendlers“ entsprechen könnte. Als vorläufige durchschnittliche Anzahl von Beurteilungsprojekten mit erhöhten Risiken wurde $N_{Fälle} = 10$ festgesetzt. In der Praxis können jegliche projektspezifische individuelle Risiken mit Hilfe der Gleichung

$$R_{i1akzFg} = \frac{R_{kFall} \cdot W_{Fall}}{N_{FgFall}} \leq 6 \cdot 10^{-10} [T / P / \text{Gefährdungsaussetzung}]$$

auf ihre Akzeptanz geprüft werden.

5 Anwendungsbeispiele

5.1 Betriebsartenumschaltung in Gümligen

Das Risiko behandelt eine mögliche Flankenfahrt auf einer Weiche im Bahnhof Gümligen. Das kollektive Risiko beträgt $8.4 \cdot 10^{-4}$ Tote/Jahr. Die Weiche wird von 160 Zügen täglich mit im Schnitt 140 Personen befahren. Daraus ergibt sich mit Formel (19) ein aussetzungsdauerbasiertes individuelles Risiko einer Bahnreise, welche über den Bahnhof Gümligen führt, von

$$R_{iEGümligen} = \frac{1.1 \cdot 10^5 \cdot 8.4 \cdot 10^{-4} \cdot 1}{160 \cdot 140 \cdot 365} + 1.5 \cdot 10^{-5} = 1.2 \cdot 10^{-5} + 1.5 \cdot 10^{-5} = 2.7 \cdot 10^{-5} [T / P / J]$$

Dieses Risiko ist kleiner als der Grenzwert $R_{iEmaxFg} = 8.8 \cdot 10^{-5}$ und daher akzeptabel. Die Akzeptanz des Risikos geht auch aus der Verwendung der Formel 20 hervor.

$$R_{iFgGümligen} = \frac{8.4 \cdot 10^{-4} \cdot 1}{160 \cdot 140 \cdot 365} = 1. \cdot 10^{-10} \leq 6 \cdot 10^{-10} [T / P / Gefährdungsaussetzung]$$

Aus dem Ergebnis ist ersichtlich, dass das individuelle Risiko der Reisenden mehr als sechs Mal kleiner ist als der Grenzwert. Daraus folgt, dass eine ähnliche technische Lösung auf einer Durchschnittsstrecke (50.5 km) mit gleichen betrieblichen Bedingungen insgesamt noch sechs Mal eingebaut werden könnte (Parameter $W_{FälleGümligen} = 6$), ohne dass das individuelle Risiko des Reisenden den Grenzwert überschreiten würde.

5.2 Entgleisungen von Neigezugfahrten

Dieses Risiko behandelt mögliche Entgleisungen von Neigezügen, die aufgrund der höheren Geschwindigkeit ein höheres Entgleisungsrisiko im Vergleich mit konventionellen Zügen aufweisen. Dieses Risiko ist ein andauerndes Risiko, da es permanent während der ganzen Fahrt besteht (dies ist natürlich nur eine Näherung, da ein Neigezug nicht überall schneller als ein konventioneller Zug verkehrt und das Risiko v.a. in Kurven etwas erhöht ist). Die Entgleisungswahrscheinlichkeit beträgt $2.5 \cdot 10^{-9}$ pro Kilometer. Pro Entgleisung gibt es im Schnitt 0.25 Tote. Der Zug ist im Schnitt mit 200 Personen besetzt.

Das kollektive Risiko einer Fahrt des Neigezuges auf der Durchschnittsstrecke von 50.5 km kann wie folgt berechnet werden:

$$R_{k1Fahrt1Neigezug} = 2.5 \cdot 10^{-9} \cdot 50.5 \cdot 0.25 = 3.2 \cdot 10^{-8} [T/Zugfahrt]$$

Nach Gleichung 18 ist das entsprechende individuelle Risiko der Reisenden dieses Zuges:

$$R_{iENeigezug} = \left(\frac{1.1 \cdot 10^5 \cdot 3.2 \cdot 10^{-8} \cdot 1}{200} + 1.5 \cdot 10^{-5} \right) = 1.8 \cdot 10^{-5} + 1.5 \cdot 10^{-5} = 3.3 \cdot 10^{-5} [T / P / J]$$



ubs



SBB CFF FFS

Referenz/Aktenzeichen: BAV-023.11//

Dieses Risiko ist kleiner als der Grenzwert $R_{iEmaxFg} = 8.8 \cdot 10^{-5}$ und daher akzeptabel. Die Akzeptanz des Risikos geht auch aus der Verwendung der Formel 20 hervor.

$$R_{ind \setminus Fg \setminus Neigezug} = \frac{3.2 \cdot 10^{-8} \cdot 1}{200} = 1.6 \cdot 10^{-10} \leq 6 \cdot 10^{-10} [T / P / \text{Gefährdungsaussetzung}]$$

Da es sich im Falle dieses Beispiels um ein kontinuierliches Risiko der Reisenden handelt, hat der Parameter $W_{Fälle}$ keine praktische Anwendung (dieses Risiko kann bei einer Fahrt des Reisenden nicht mehrfach vorkommen). Jedoch ist ersichtlich, dass dieses Risiko mehr als 4 mal kleiner ist als der entsprechende Grenzwert.

6 Literatur

[1] EN 50126: Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS), 1999

[2] BAV: Sicherheitskonzept BAV, 2013,

<http://www.bav.admin.ch/themen/verkehrspolitik/00501/01579/index.html?lang=de>

[3] Merz, Schneider, Bohnenblust: Bewertung von technischen Risiken, Verlag der Fachvereine Zürich 1995

[4] Schlatter, H., Einer, S.: Sicherheit bei der SBB, I-SA - das Risikokonzept zur Beurteilung von technischen Risiken zur Schutz von Reisenden und Angestellten, SBB 2008

[5] Braband J., Schäbe H.: Das kollektive Risiko, das individuelle Risiko und die Abhängigkeit von der Expositionszeit, ETR, Oktober 2011

[6] Die SBB in Zahlen und Fakten 2010, SBB 2010

7 Verzeichnisse

7.1 Variablenverzeichnis

Variable	Bedeutung
R_k	Kollektives Risiko
N_P	Anzahl beteiligter Personen
W_{max}	maximale Anzahl der Systemnutzungen pro Zeiteinheit einer Person
r_i	Jährliches individuelles Risiko (nutzungshäufigkeitsbasierter Ansatz)
E_i	Expositionsdauer einer Person
E_P	Expositionsdauer aller beteiligten Personen (kumulierte Expositionsdauer)
r_{iE}	Jährliches expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko
r_{iE1}	Expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko pro Expositionsdauer E_1
E_\emptyset	Durchschnittliche Expositionsdauer einer der beteiligten Personen
$R_{k\emptyset}$	Kollektives Risiko der Reisenden auf einer Durchschnittstrecke
R_{iEB}	Expositionsdauerbasierte individuelle Basisrisiko der Reisende
$N_{\emptyset Fg}$	Anzahl der Reisende auf der Durchschnittstrecke pro Jahr
$E_{\emptyset Fg}$	Expositionsdauer eines Reisenden auf der Durchschnittstrecke
$R_{iEakzFg}$	Akzeptiertes expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko der Reisenden
E_{maxFg}	Maximale jährliche Expositionsdauer der Reisenden
$R_{iEmaxFg}$	Akzeptiertes expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko der Reisenden unter Berücksichtigung der maximalen jährlichen Expositionsdauer
R_{kFall}	Kollektives Fallrisiko
R_{iEFall}	Expositionsdauerbasiertes individuelles Fallrisiko
E_{Fall} , E_{Fallj}	Expositionsdauer eines Reisenden dem Fallrisiko pro eine Aussetzung
$N_{Fälle}$	Anzahl der verschiedenen Fallrisiken auf einer Durchschnittstrecke
N_{FgFall}	Jährliche Anzahl der Personenaussetzungen bezüglich dem Fallrisiko
W_{Fall}	Durchschnittliche Anzahl der Orte auf einer Durchschnittstrecke an welcher das gleiche Fallrisikos in der Zukunft geplant oder vorstellbar ist
R_{i1Fg}	Individuelles Risiko des Reisenden aus einer Aussetzung dem Fallrisiko (nutzungshäufigkeitsbasierter Ansatz)
$R_{i1akzFg}$	Akzeptiertes individuelles Risiko des Reisenden aus einer Aussetzung dem Fallrisiko (nutzungshäufigkeitsbasierter Ansatz)

7.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BAV	Bundesamt für Verkehr
GAMAB	Risikoakzeptanzkriterium Globalement Au Moins Aussi Bon gemäss [1]
MEM	Minimale endogene Mortalität
T	Tote
P	Person, Personen
J	Jahr
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
SBB	Die schweizerische Bundesbahnen
BLS	Das Transportunternehmen BLS AG
EN	Europäische Norm
RAMS	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit
I-SA	Abteilung Infrastruktur – Sicherungsanlagen der SBB (heute I-AT-SAL)