



5.12.2013

---

# Beschreibung des Vorgehens zur Beurteilung der Akzeptanz der Risiken des Personals

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

## Inhaltverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Unterschied in der Beurteilung individueller Risiken von Reisenden und dem Personal	5
2	Grundlegende Prinzipien	7
3	Begriffe	8
4	Personengruppen	10
5	Risikobeurteilung	14
5.1	Risikoberechnung	14
5.1.1	Basisrisiko	14
5.1.2	Fallrisiko	15
5.1.3	Fallspezifisches Basisrisiko	16
5.1.4	Präzisierung des Fallrisikos	18
5.1.5	Individuelles Risiko eines Mitarbeiters	18
5.2	Risikobewertung	21
5.2.1	Auswirkung auf das bestehende individuelle Risiko	22
5.2.2	Sinkendes individuelles Risiko	22
5.2.3	Steigendes individuelles Risiko	23
5.2.4	Vereinfachtes Vorgehen	24
6	Empfehlung für die Grenzwerte	25
6.1	Grenzwert 1 für den Fall eines steigenden Risikos	25
6.2	Grenzwert 2 für den Fall eines sinkenden Risikos	27
7	Testbeispiele	31
7.1	Beispiel RBL	31
7.2	Beispiel Altdorf	32
7.3	Beispiel Oerlikon	34
8	Literatur	36
9	Verzeichnisse	37
9.1	Variablenverzeichnis	37
9.2	Abkürzungsverzeichnis	38
10	Anhang	39

# 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 Mitarbeiter<sup>1</sup> 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.

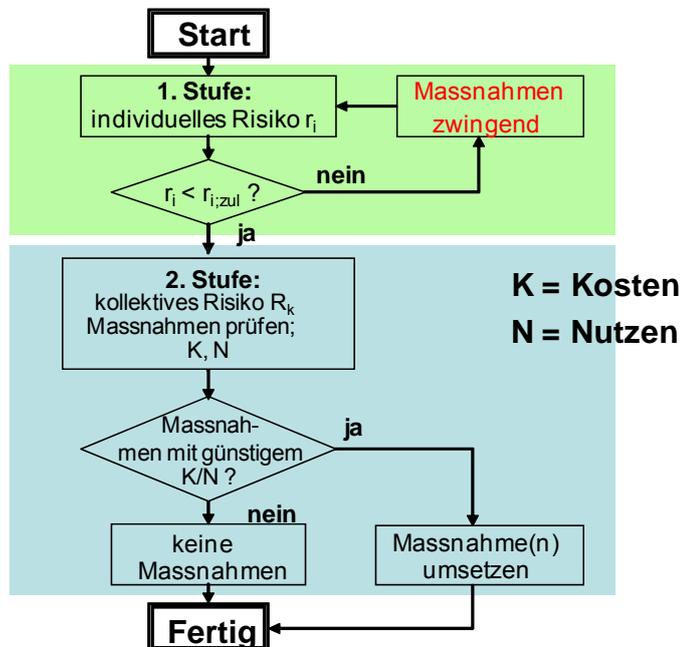


Abbildung 1: Schematischer Ablauf der zweistufigen Risikobeurteilung nach [4]

<sup>1</sup> Es besteht ein analoger Methodenbeschrieb für die Berechnung und Beurteilung des individuellen Risikos der Reisenden.

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 Methodenbeschriebs. 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 Methode zur Beurteilung der Risiken der Reisenden entwickelt und als vorläufiges Ergebnis durch die Arbeitsgruppe verabschiedet [5].

Diese Methode basiert auf der Betrachtung einer durchschnittlichen Bahnfahrt eines *Reisenden*. Das Ziel der Methode ist es nachzuweisen, dass eine bestimmte Änderung am System (ein "Fall") das individuelle Risiko eines Reisenden auf einer durchschnittlichen Bahnfahrt nicht inakzeptabel erhöht. Der Grenzwert wurde unter der Betrachtung einer maximal möglichen jährlichen Reisezeit eines Reisenden aus dem Wert  $10^{-5}$  T/P/J (MEM in CENELEC Norm 50 126 [1]) abgeleitet.

## 1.2 Unterschied in der Beurteilung individueller Risiken von Reisenden und dem Personal

Im Gegensatz zum Verhalten der Reisenden<sup>2</sup> weist das Verhalten des Personals meistens eine grosse Stabilität auf. Dies betrifft den Einsatzbereich, welcher bei einem Mitarbeiter mehr oder weniger konstant bleibt. Somit ist es im Gegensatz zu den Reisenden nicht notwendig zu berücksichtigen, dass ein Mitarbeiter vielen unvorhersehbaren individuellen Risiken aus verschiedenen Situationen ("Fällen") ausgesetzt sein könnte. Weiter ist die Länge der Exposition gegenüber Arbeitsrisiken im Falle der Mitarbeiter sehr stabil. Die durch das Gesetz vorgegebene maximale jährliche Arbeitszeit eines Mitarbeiters unterscheidet sich nicht wesentlich von der durchschnittlichen jährlichen Arbeitszeit.

Somit kann im Falle des Bahnpersonals auf die expositionsdauerbasierte Betrachtung des individuellen Risikos verzichtet werden. In Vergleich zum, expositionsdauerbasierten Ansatz führt die häufigkeitsbasierte Betrachtung zu gleichen, nur um einen konstanten Faktor abweichenden, Risikowerten. Dieser Faktor beträgt 4.5 und ist durch das Verhältnis zwischen der angenommenen durchschnittlichen Arbeitszeit eines Mitarbeiters von 1950 Stunden und einem Jahr (8760 Stunden) gegeben:

$$r_{iE} = 4.5 \cdot r_i [T / P / J]$$

Weiter muss nicht berücksichtigt werden, dass ein Mitarbeiter, welcher einem erhöhten Risiko ausgesetzt ist, gleichzeitig mit anderen sog. Fallrisiken (Begriffe siehe S. 9, Kap. 3) konfrontiert ist (abgebildet durch Faktor  $N_{ZR}$  in der Methode zu Beurteilung der individuellen Risiken der Reisenden). Es wird angenommen, dass solche Fälle bekannt sind und dass sie in der Risikobetrachtung eines Mitarbeiters berücksichtigt werden.

Ein weiterer Unterschied bei der Betrachtung der individuellen Risiken des Personals ist die festgestellte grosse Bandbreite der existierenden Risiken verschiedener Gruppen von Mitarbeitern im Vergleich zum wenig variablen Risiko verschiedener Reisender, die sehr oft Zug fahren. Das aus den existierenden Risiken resultierende und für die Berechnung notwendige Basisrisiko kann daher nicht für alle Mitarbeiter mit dem gleichen Wert abgeschätzt werden (wie im Falle der Reisenden). Daher müssen verschiedene Personengruppen der Mitarbeiter je mit spezifischen Basisrisiken separat betrachtet werden (s. Kapitel 4).

Der letzte Unterschied besteht darin, dass es für Mitarbeiter keine in Normen oder Gesetzen vorgegebenen Werte für das akzeptierbare individuelle Risiko gibt. Da der in der Praxis oft verwendete Wert

---

<sup>2</sup> Der Reiseweg und die Reisedauer der Reisenden weisen in der Realität eine grosse Varianz auf. Die durchschnittliche Reisezeit von 47min/Tag kann auch stark überschritten werden. Daher, wurde eine expositionsdauerbasierte Betrachtung des individuellen Risikos gewählt. Diese garantiert, 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.



Referenz/Aktenzeichen: BAV-023.11//

von  $10^{-4}$  T/P/J bei gewissen Personengruppen der Mitarbeiter schon mit dem Basisrisiko signifikant überschritten wird, muss ein Grenzwert auf der Basis des heutigen Standes der Sicherheit definiert werden. Dieses Vorgehen ist konform mit den Sicherheitsgrundsätzen des BAV [2].

## 2 Grundlegende Prinzipien

Die Akzeptanz der individuellen Risiken des Personals soll auf folgenden Prinzipien basieren:

1. Die Sicherheit im öffentlichen Verkehr soll im Vergleich zum heutigen Stand mindestens gleich bleiben<sup>3</sup>. Bezogen auf die im vorliegenden Methodenbeschrieb verwendeten Begriffe bedeutet dies, dass das durchschnittliche individuelle Risiko für das Personal im Eisenbahnverkehr nicht steigen darf.
2. Liegt das individuelle Risiko einer bestimmten Aktivität sehr tief, darf ein gewisser Anstieg des individuellen Risikos akzeptiert werden. Dies gilt nur, wenn das individuelle Risiko der Tätigkeit (der beantragten Abweichung von den Vorschriften) unterhalb des durchschnittlichen individuellen Risikos liegt.
3. Hohe Risiken sollen wo möglich reduziert werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass Prinzip 1 erreicht werden kann, obschon gemäss Prinzip 2 in gewissen Fällen ein Anstieg des Risikos toleriert wird. Werden hohe Risiken im Rahmen einer Risikoanalyse erkannt, sind sie zwingend zu reduzieren. Ein entsprechender Grenzwert ist zu definieren.
4. Der Grenzwert für den Nachweis, dass das individuelle Risiko des Personals nicht inakzeptabel ist, soll nicht tiefer als  $10^{-4}$  T/P/J liegen. Dieser Wert entspricht der bisherigen Praxis u.a. bei der SBB [4] (siehe auch [3]). Es kann gezeigt werden, dass dieser Wert auch in anderen vergleichbaren Beurteilungssituationen in der Schweiz und in Mitteleuropa Anwendung findet. Daher kann von einer gesellschaftlichen Akzeptanz dieses Risikos für (bestimmte) berufliche Tätigkeiten gesprochen werden.

---

<sup>3</sup> Dies entspricht dem Sicherheitsgrundsatz 2 gemäss Sicherheitskonzept BAV [2]

### 3 Begriffe

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der Akzeptanz der individuellen Risiken des Personals sind die folgenden Begriffe definiert worden:

- Fall: bezeichnet den Gegenstand des Bewilligungsverfahrens verbunden mit der Einführung von neuen oder der Anpassung von bestehenden Massnahmen im Eisenbahnbetrieb. Es bezieht sich auf eine Tätigkeit eines involvierten Mitarbeiters, welche sich innerhalb eines Jahres wiederholen kann und dessen Risiko auf seine Akzeptanz zu prüfen ist. Beispiele: Kuppeln von Fahrzeugen bei Nacht, Felsinspektion in Felssturzgebiet, Rangieren bei zu engem Gleisabstand etc.
- Kollektives Fallrisiko ( $R_{kFall}$ ): Das kollektive Risiko, welches sich für alle beteiligten Mitarbeiter aus dem untersuchten Fall innerhalb einer jährlichen Arbeitszeit ergibt (z.B. 3 Todesopfer in 100 Jahren).
- Fallrisiko ( $R_{iFall}$ ): Das individuelle Risiko, welches sich für einen beteiligten Mitarbeiter aus dem untersuchten Fall innerhalb einer jährlichen Arbeitszeit ergibt.
- Altes Fallrisiko ( $R_{iFallAlt}$ ): Das individuelle Risiko, welches sich für einen beteiligten Mitarbeiter aus dem untersuchten Fall ergibt, wenn die geplante Änderung nicht umgesetzt wird (bestehender Zustand).
- Basisrisiko ( $R_{iB}$ ): Das durchschnittliche individuelle Risiko eines Vollbeschäftigten bei der Eisenbahn (spezifisch für jede der noch zu definierenden Personengruppen).
- Fallspezifisches Basisrisiko ( $R_{iBfall}$ ): Vertieft berechneter Wert des Basisrisikos, der dem Wert  $R_{iB}$  entspricht, der um den Anteil, welcher bereits im Fallrisiko enthalten ist, reduziert wird.
- Individuelles Risiko eines Mitarbeiters ( $r_i$ ): entspricht dem jährlichen Risiko aus der Arbeitszeit eines Vollbeschäftigten bei der Eisenbahn, welcher im untersuchten Fall beteiligt ist.
- Altes individuelles Risiko eines Mitarbeiters ( $r_{iAlt}$ ): entspricht dem jährlichen Risiko aus der Arbeitszeit eines Vollbeschäftigten bei der Eisenbahn, welcher im untersuchten Fall beteiligt ist, wenn die geplante Änderung nicht umgesetzt wird (bestehender Zustand).
- In der Praxis akzeptiertes individuelles Risiko ( $R_{iPrakt}$ ): Das individuelle Risiko der Mitarbeiter, welches in heutiger Praxis als akzeptabel bezeichnet wird  $R_{iPrakt} = 10^{-4} T/P/J$  [3][4].
- Grenzwert: Wird der anwendbare Grenzwert für das individuelle Risiko nicht eingehalten, müssen risikoreduzierende Massnahmen zwingend umgesetzt werden (unabhängig von deren

Kosten-/Nutzenverhältnis; siehe obere Hälfte in Abbildung 1). Wird der anwendbare Grenzwert für das individuelle Risiko eingehalten, müssen weiterhin alle verhältnismässigen Massnahmen zur Reduktion des kollektiven Risikos umgesetzt werden (Massnahmen mit einem günstigen Kosten-/Nutzenverhältnis; siehe untere Hälfte in Abbildung 1).

- Grenzwert 1 bei steigendem Risiko ( $R_{iGr1}$ ): Maximal zulässiges individuelles Risiko des meistbetroffenen Mitarbeiters im Fall, dass das Risiko durch die geplante Änderung am System steigt: Dieser Grenzwert wird angewendet, wenn das Fallrisiko höher liegt als das alte Fallrisiko oder wenn das alte Fallrisiko nicht ausgewiesen werden kann.
- Grenzwert 2 bei sinkendem Risiko ( $R_{iGr2}$ ): Maximal zulässiges individuelles Risiko des meistbetroffenen Mitarbeiters im Fall, dass das Risiko durch die geplante Änderung am System sinkt. Dieser Grenzwert wird angewendet, wenn das Fallrisiko tiefer liegt als das alte Fallrisiko.

## 4 Personengruppen

Es kann aufgezeigt werden, dass die Tätigkeiten verschiedener Mitarbeitergruppen bei den Bahnen (wie Rangierdienst, Bauarbeiten, Arbeiten in einer Werkstatt) unterschiedlich risikobehaftet sind. Daher sollen Personengruppen gebildet werden, die ein innerhalb der Gruppe ähnliches individuelles Risiko aufweisen. Das Ziel ist die Bildung einer kleinen Anzahl von Personengruppen deren "gruppenspezifisches" Risiko mit statistischen Daten und Expertenschätzungen beschrieben, d.h. quantifiziert werden kann.

Im Rahmen der Entwicklung der Methodik zur Beurteilung der individuellen Risiken wurden statistische Daten der SUVA für die Eisenbahnbranche mit anderen Verkehrsbranchen sowie den Risiken privater Unternehmen (KTU) mit jenen der SBB verglichen. In den Abbildungen 2 und 3 sind Daten zu den Todesfällen im Zeitraum 2001-2010 ausgewertet worden.

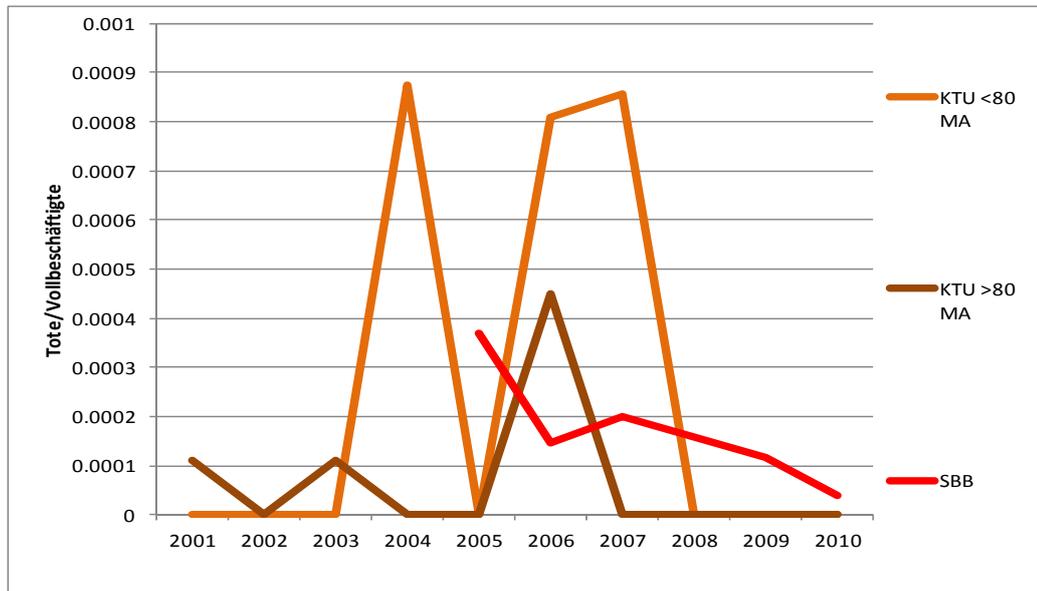


Abbildung 2: Verlauf des individuellen Risikos in Toten pro Vollzeitbeschäftigte für KTU mit weniger als 80 Mitarbeitern, für KTU mit mehr als 80 Mitarbeitern sowie für die SBB während des letzten Jahrzehnts,

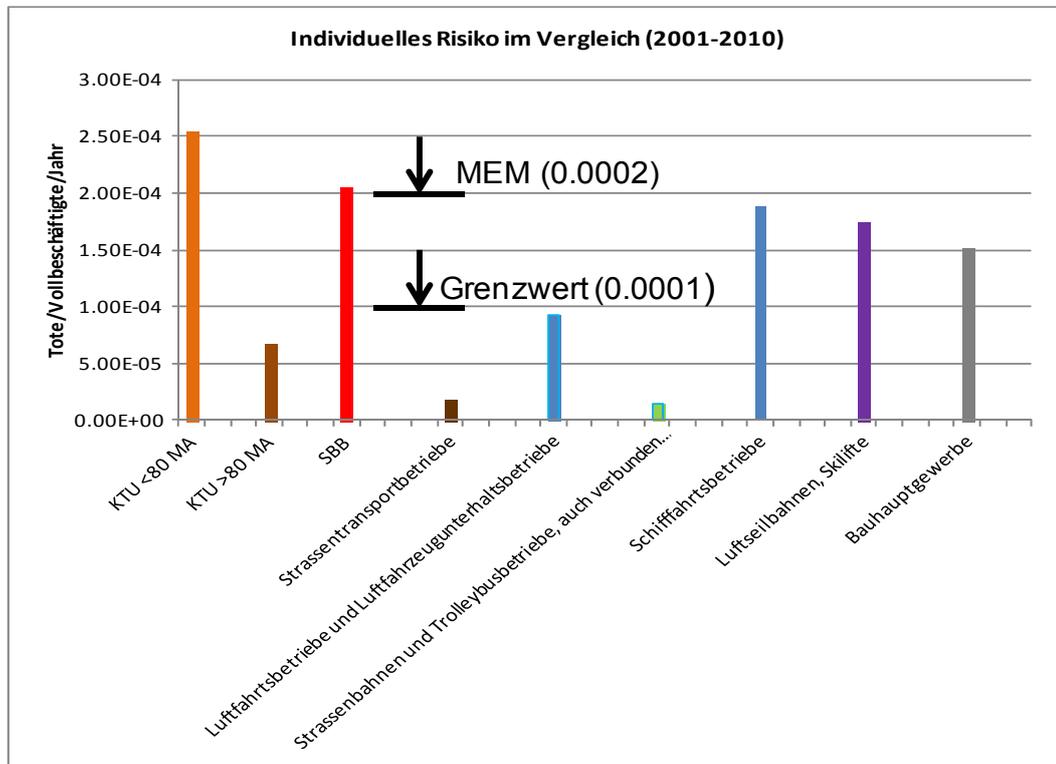


Abbildung 3: Über 10 Jahre gemittelte Werte für das individuelle Risiko in Toten pro Vollzeitbeschäftigte für verschiedene Berufsgruppen (vgl. auch Abbildung 2) und der Risikogrenzwert<sup>4</sup>

Aus der Analyse kann geschlossen werden, dass die Risiken der SBB mit den Risiken anderer Verkehrsbranchen recht gut übereinstimmen. Auch im Vergleich zu den KTU sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Aus diesem Grund ist es zulässig, die statistischen Zahlen und die Expertenschätzungen der SBB zur Definition der wichtigsten Personengruppen zu nutzen.

Die heute verfügbaren Unterlagen erlauben es, für die folgenden vier Personengruppen ein "gruppenspezifisches" individuelles Risiko zu quantifizieren<sup>5</sup>:

1. Mitarbeiter Rangieren (inkl. Visiteure)
2. Mitarbeiter Bau- und Unterhalt (inkl. Schienenfahrzeugführer)
3. Mitarbeiter Zugführung (Lokführer, Zugbegleiter)
4. Mitarbeiter Werkstatt (inkl. Reinigung, Fahrzeugunterhalt, Magazine)

<sup>4</sup> S. Kap 2, Punkt 4, S. 8

<sup>5</sup> Liegen neue Daten vor, welche eine andere (z.B. differenziertere) Gliederung des Personals in möglichst homogene Gruppen erlaubt, kann dies jederzeit erfolgen. Die Methode an sich ist davon nicht betroffen.

Entsprechend der Einschätzungen für die Safetyszenarien der SBB können die genannten Personengruppen mit folgenden Werten zur Mitarbeiteranzahl, dem kollektiven und dem individuellen Risiko charakterisiert werden:

Personengruppe	Anzahl Mitarbeitende $N_{Ma}$ [P]	Anteil an Personal im Bahnbereich [%]	Koll. Risiko $R_{kMa}$ [T/J]	Ind. Risiko nach Expertenschätzung Safetyszenarien SBB $R_{IBExp}$ [T/P/J]
Mitarbeiter Rangieren	1'700	12%	0.67	$3.9 \cdot 10^{-4}$
Mitarbeiter Bau und Unterhalt	2'600	18%	0.53	$2.0 \cdot 10^{-4}$
Mitarbeiter Zugführung	5'600	39%	0.27	$4.8 \cdot 10^{-5}$
Mitarbeiter Werkstatt	4'400	31%	0.03	$7.9 \cdot 10^{-6}$
<b>Total bezogen auf alle Mitarbeitenden im Bahnbereich</b>	<b>14'300</b>	<b>100%</b>	<b>1.50</b>	<b><math>1.0 \cdot 10^{-4}</math></b>

Tabelle 1: Einschätzung des gruppenspezifischen Risikos auf der Grundlage Safetyszenarien SBB

Parallel wurden auch die Ereigniszahlen zu Todesfällen bei den SBB und der BLS pro Personengruppe aus der Ereignisdatenbank BAV aus den Jahren 2000 - 2012 analysiert<sup>6</sup>. Die Ausgangsdaten und die entsprechenden durchschnittlichen individuellen Risiken sind in der Tabelle 2 enthalten:

Personengruppe	SBB (2002-2012) inkl. Drittfirmen auf der Infrastruktur SBB				BLS (2002-2011) inkl. Drittfirmen auf der Infrastruktur BLS			
	Anzahl MA $N_{Ma}$ [P]	Koll. Risiko $R_{k11.5J}$ [T/11J]	Koll. Risiko $R_{kMa}$ [T/ J]	Ind. Risiko $R_{IBStat}$ [T/P/J]	Anzahl MA $N_{Ma}$ [P]	Koll. Risiko $R_{k10J}$ [T/10J]	Koll. Risiko $R_{kMa}$ [T/ J]	Ind. Risiko $R_{IBStat}$ [T/P/J]
Mitarbeiter Rangieren	1'700	9	0.72	$4.2 \cdot 10^{-4}$	170	1	0.08	$4.7 \cdot 10^{-4}$
Mitarbeiter Bau und Unterhalt	2'600	15	1.20	$4.6 \cdot 10^{-4}$	260	4	0.32	$1.2 \cdot 10^{-3}$
Mitarbeiter Zugführung	5'600	0	0	0	560	0	0	0
Mitarbeiter Werkstatt	4'400	1	0.08	$1.8 \cdot 10^{-5}$	440	1	0.08	$1.8 \cdot 10^{-4}$
<b>Total bezogen auf alle Mitarbeitenden im Bahnbereich</b>	<b>14'300</b>	<b>25</b>	<b>2.00</b>	<b><math>1.4 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>1'430</b>	<b>6</b>	<b>0.48</b>	<b><math>3.3 \cdot 10^{-4}</math></b>

Tabelle 2: Todesfälle gemäss Ereignismeldungen an das BAV<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Quelle: Ereignisdaten BAV 2000-2012

<sup>7</sup> Die den Unternehmen SBB bzw. BLS zugeordneten Werte umfassen neben den Angestellten der entsprechenden Firmen auch Mitarbeiter von Drittfirmen, die im Auftrag von SBB bzw. BLS tätig waren.

Insgesamt kann eine hohe Übereinstimmung zwischen den Expertenschätzungen (Tabelle 1) und den statistischen Werten (Tabelle 2) festgestellt werden: Bezogen auf die SBB (auf welche sich die Expertenschätzung in Tabelle 1 bezieht) beträgt die Anzahl Tote pro Jahr 1.5 bis 2.0. Das durchschnittliche individuelle Risiko über alle betrachteten Personengruppen beträgt gemäss Expertenschätzung  $1.05 \cdot 10^{-4}$ , gemäss Statistik  $1.4 \cdot 10^{-4}$ . Die Differenz lässt sich u.a. damit erklären, dass in der Statistik den SBB neben den eigenen Mitarbeitenden auch die Mitarbeitenden von Drittfirmen zugeordnet werden.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, variiert das resultierende durchschnittliche Risiko zwischen den Personengruppen stark. Dies bestätigt die Annahme, dass es notwendig ist, die individuellen Risiken im Kontext der jeweiligen Personengruppe zu beurteilen. Während das durchschnittliche individuelle Risiko der Personengruppe 1 "Mitarbeiter Rangieren" (Tabelle 2) mit der Expertenschätzung (Tabelle 1) übereinstimmt ( $4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J), liegt im Falle der Personengruppe 2 "Mitarbeiter Bau- und Unterhalt" die Schätzung gemäss Safety-Szenarien der SBB um einen Faktor 2 (SBB) bzw. Faktor 6 (BLS) deutlich unter den Werten der BAV-Ereignisstatistik. Deshalb wird für die Mitarbeitenden Bau und Unterhalt das Basisrisiko auf den Wert der Ereignisstatistik von  $4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J festgelegt. Andererseits kann das geschätzte Risiko der Personengruppe 3 "Mitarbeiter Zugführung" statistisch nicht gut belegt werden (im untersuchten Zeitraum kam es zu keinem Todesopfer). Deshalb wird für die Mitarbeiter Zugführung das Basisrisiko auf den Wert der Expertenschätzung entsprechend den Safety-Szenarien der SBB von  $5 \cdot 10^{-5}$  T/P/J festgelegt. Auch im Falle der Personengruppe 4 "Mitarbeiter Werkstatt" weist die Statistik gegenüber der Expertenschätzung auf höhere Risiken hin (SBB Faktor 2, BLS Faktor 20). Weil die Statistik auf sehr wenigen Fällen beruht, wird für die Mitarbeitenden Werkstatt das Basisrisiko auf den Wert der Expertenschätzung entsprechend den Safety-Szenarien der SBB von  $8 \cdot 10^{-6}$  T/P/J festgelegt.

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die festgelegten Werte für das Basisrisiko zusammengefasst:

	Mitarbeiter Rangieren	Mitarbeiter Bau und Unterhalt	Mitarbeiter Zugführung	Mitarbeiter Werkstatt
<b>Basisrisiko Mitarbeitende <math>R_{iBMa}</math> [T/P/J]</b>	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 3: Basisrisiko Eisenbahn verschiedener Personengruppen

## 5 Risikobeurteilung

Gegenstand der Beurteilung bezüglich der Frage, ob ein inakzeptables Risiko besteht, ist das individuelle Risiko eines Mitarbeiters. Dies entspricht dem jährlichen Risiko aus der Arbeitszeit eines Vollbeschäftigten bei der Eisenbahn.

Die Risikobeurteilung besteht aus der Quantifizierung des individuellen Risikos (Risikoberechnung) und aus der Prüfung, ob ein inakzeptables Risiko vorliegt bzw. dem Nachweis, dass kein inakzeptables Risiko vorliegt (Risikobewertung). Die nächsten zwei Abschnitte beschreiben das Vorgehen dieser beiden Schritte der Risikobeurteilung.

### 5.1 Risikoberechnung

Das Ziel der Risikoberechnung ist die Quantifizierung des individuellen Risikos eines Mitarbeiters  $r_i$ . Diese Quantifizierung soll so präzise wie erforderlich erfolgen, wobei Aufwand und Nutzen für eine möglichst präzise Quantifizierung zu berücksichtigen sind. Das individuelle Risiko eines Mitarbeiters berechnet sich einerseits aus dem durchschnittlichen jährlichen Risiko (Basisrisiko) der betrachteten Personengruppe  $R_{iB}$ , zu welcher der Mitarbeiter gehört, und andererseits aus dem zu beurteilenden Fallrisiko  $R_{iFall}$ .

#### 5.1.1 Basisrisiko

Das Basisrisiko  $R_{iB}$  entspricht dem durchschnittlichen individuellen Risiko eines Vollbeschäftigten einer bestimmten Personengruppe, zum Beispiel der Rangierarbeiter. Es repräsentiert also die individuellen Risiken, welche auf den Mitarbeiter innerhalb eines Jahres wirken. Dies setzt nicht voraus, dass diese im Einzelnen bekannt sind. Das reale individuelle Risiko eines konkreten Mitarbeiters kann jedoch vom Durchschnitt (dem Basisrisiko) stark abweichen. Abbildung 4 stellt diese Annahme dar. Das Basisrisiko wird aus der Statistik abgeleitet und dient als Ersatzgrösse für die quantitativ unbekanntes Einzelrisiken  $R_{iA}$ ,  $R_{iB}$ ,  $R_{iC}$  und  $R_{iD}$  steht.

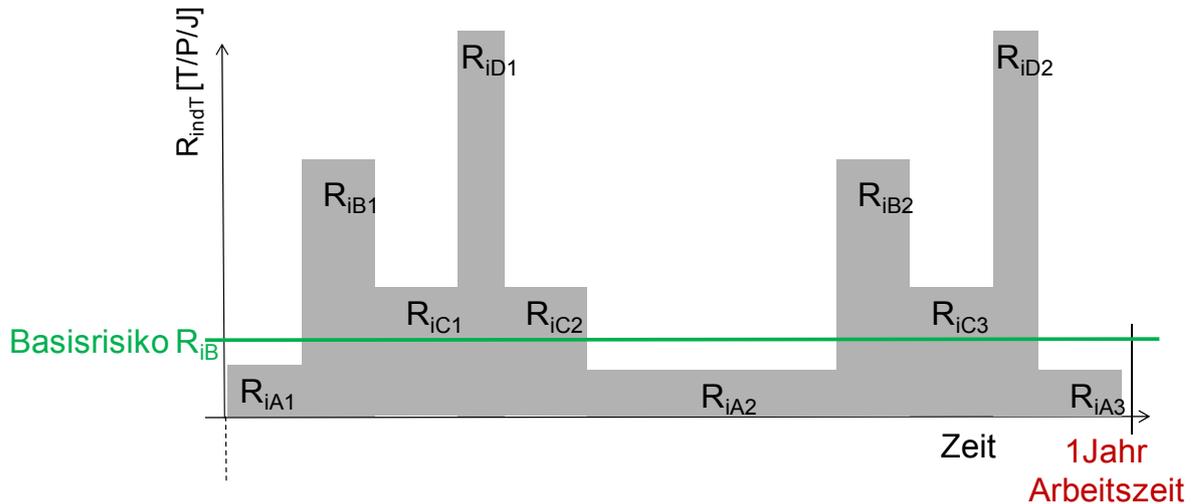


Abbildung 4: Schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Risiken eines Mitarbeiters. Der Durchschnitt der grauen Flächen über das Jahr gemittelt ergibt die grüne Linie – das Basisrisiko.

Das Basisrisiko  $R_{iB}$  eines Mitarbeiters wird aus dem jährlichen kollektiven Risiko der Personengruppe  $R_k$  sowie der Anzahl Mitarbeiter dieser Personengruppe berechnet:

$$R_{iB} = \frac{R_k}{N_{Ma}} [T / P / J] \quad (1)$$

wobei  $N_{Ma}$  der Anzahl der zur Gruppe gehörenden Mitarbeiter entspricht. Die Werte  $R_k$  und  $N_{Ma}$  basieren auf statistischen Daten und auf Expertenschätzungen<sup>8</sup>.

### 5.1.2 Fallrisiko

Das individuelle Fallrisiko wird aus dem jährlichen kollektiven Fallrisiko der beteiligten Mitarbeiter  $R_{kFall}$  berechnet:

$$R_{iFall} = \frac{R_{kFall}}{N_{MaFall}} [T / P / J] \quad (2)$$

wobei  $N_{MaFall}$  der Anzahl der in einem Fall gleichzeitig beteiligten Mitarbeiter entspricht (wichtig: nicht der Anzahl der innerhalb eines Jahres an einem Fall beteiligten Mitarbeiter, relevant ist die Grösse des gemeinsam tätigen Teams, nicht des gesamten Teams).

<sup>8</sup> Das Basisrisiko wird in diesem Methodenbeschrieb pro Personengruppe festgehalten und muss daher im Einzelfall nicht neu berechnet werden. Kann hingegen aufgezeigt werden, dass das Basisrisiko relevant vom in diesem Methodenbeschrieb festgehaltenen Wert abweicht, kann der besser hinterlegte Wert verwendet werden.

Abbildung 5 zeigt als Beispiel das Fallrisiko  $R_{iD}$  welches den Gegenstand der Beurteilung darstellt. Dargestellt wird der Fall einer Senkung des ursprünglichen individuellen Risikos  $R_{iFallAlt}$  (in diesem Fall  $R_{iDAit}$ ).

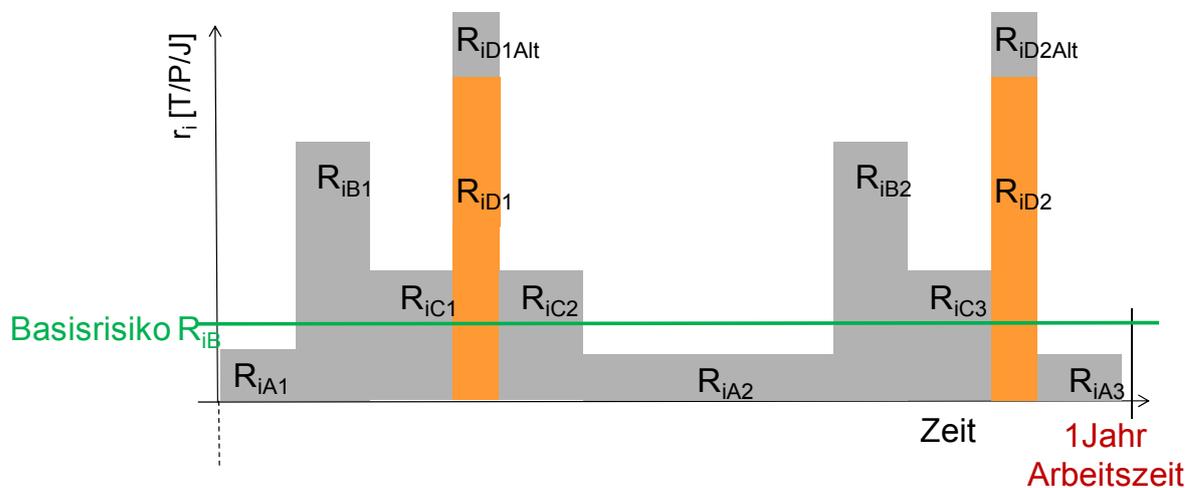


Abbildung 5: Wie Abbildung 4, aber mit reduzierten Risiken  $R_{iD1}$  und  $R_{iD2}$

### 5.1.3 Fallspezifisches Basisrisiko

Das Basisrisiko beschreibt das durchschnittliche individuelle Risiko eines Vollbeschäftigten einer bestimmten Personengruppe. Es umfasst damit auch das Fallrisiko. Damit wird ein Teil des Risikos doppelt gezählt, sowohl im Basisrisiko wie auch im Fallrisiko. Dieser Teil des Basisrisikos ist proportional dem prozentualen Anteil  $\alpha$  des kollektiven Gesamtrisikos der beteiligten Mitarbeiter, der durch das kollektive Fallrisiko abgedeckt wird.

Der Anteil  $\alpha$  des kollektiven Fallrisikos der beteiligten Mitarbeiter an deren Gesamtrisiko kann aus der Ereignisstatistik oder durch Expertenschätzungen ermittelt werden. Die fallspezifische Präzisierung des Basisrisikos wird dann durch das Subtrahieren des im Fallrisiko enthaltenen Basisrisikos berechnet.

$$R_{iB_{Fall}} = (1 - \alpha) \cdot R_{iB} [T / P / J] \quad (3)$$

Falls das kollektive Fallrisiko  $R_{kFall}$  alle bahnbezogenen Risiken umfasst (s. Abbildung 6 für das Fallrisikos  $R_{iD}$ ), welchen die beteiligten Mitarbeiter innerhalb der Expositionszeit  $E_{Fall}$  ausgesetzt sind, kann  $\alpha$  auch durch die folgende Näherung abgeschätzt werden:

$$\alpha = \frac{E_{Fall}}{E_{\emptyset Ma}} \quad (4)$$

Die Expositionszeit  $E_{Fall}$  entspricht dabei der maximalen möglichen Anzahl Stunden, während denen ein Mitarbeitender dem Fallrisiko innerhalb eines Jahres ausgesetzt werden kann.

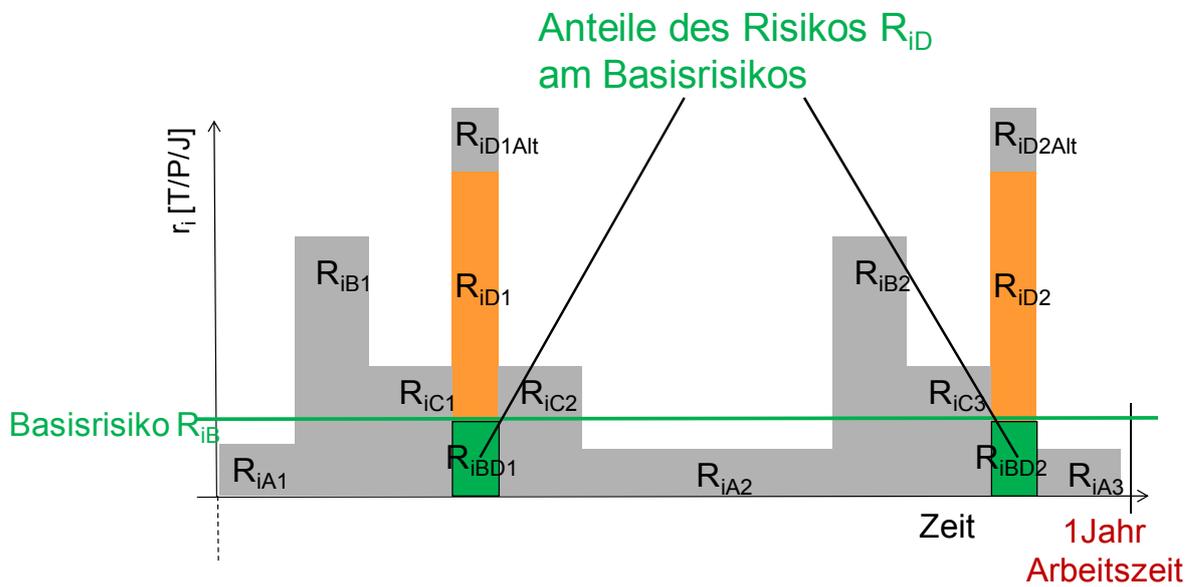


Abbildung 6: Wie Abbildung 5, aber mit präziserer Betrachtung der Basisrisiken bei  $R_{iD1}$  und  $R_{iD2}$

Abbildung 7 zeigt die resultierende Reduktion des individuellen Basisrisikos.

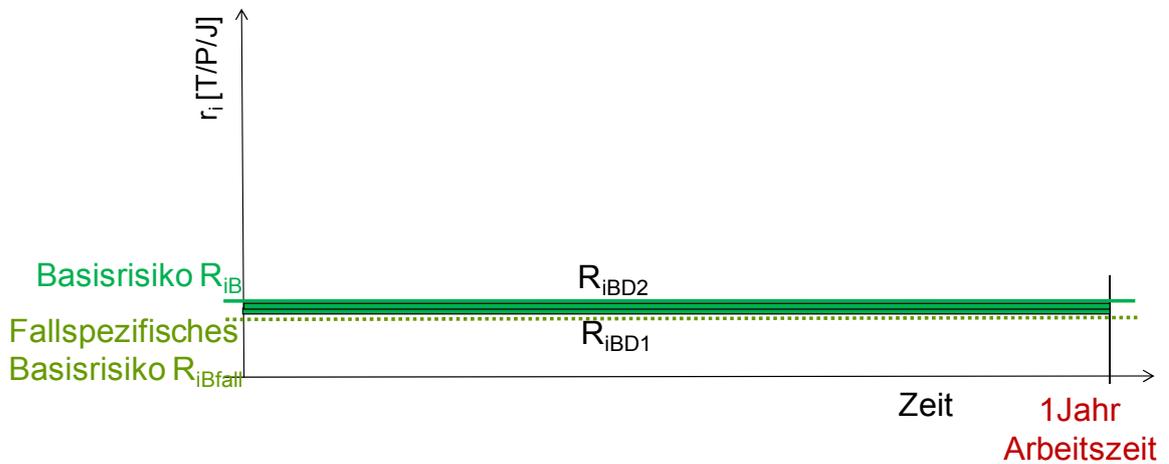


Abbildung 7:  $R_{iBD1}$  und  $R_{iBD2}$  aus Abbildung 6 wurden über das Jahr gleichmässig verteilt

In einem solchen Fall ist die Grösse von  $R_{iBD}$  abhängig von der Dauer des untersuchten Fallrisikos  $E_{Fall}$ . Entscheidend ist das Verhältnis dieser Dauer zur verbleibenden jährlichen Arbeitszeit innerhalb welcher das Fallrisiko  $R_{iD}$  nicht auf den Mitarbeiter einwirkt (das Fallrisiko kann innerhalb dieser Zeit kompensiert werden).

Bei sehr kurz dauernden Fallrisiken kann daher nur eine sehr kleine Reduktion des Basisrisikos erwartet werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, bei sehr kurz andauernden Risiken als Minimalwert für  $E_{Fall}$  eine Minute für die Berechnung zu verwenden.

#### 5.1.4 Präzisierung des Fallrisikos

Um das individuelle Risiko eines Mitarbeiters zu präzisieren, kann die Teamgrösse berücksichtigt werden. In der Realität ist es relativ selten, dass eine bestimmte Tätigkeit (das Fallrisiko) innerhalb eines Jahres immer von derselben Person ausgeführt wird. Daher wird das kollektive Fallrisiko auf mehrere Personen verteilt und damit das effektive individuelle Fallrisiko eines beteiligten Mitarbeiters präzisiert.

Beispiel: 100 gefährliche Handlungen werden von 5 Mitarbeitern ausgeführt. Der Mitarbeiter mit dem höchsten Risiko führt 70 dieser Handlungen aus.

Zentral ist die Schätzung der maximalen realistischen Wiederholungshäufigkeit der Tätigkeit (des Fallrisikos) eines bestimmten Mitarbeiters pro Jahr ( $W_{real}$ ), im Beispiel 70. Entscheidend ist das Verhältnis dieser Schätzung  $W_{real}$  zur jährlichen Wiederholungshäufigkeit der Tätigkeit (des Fallrisikos)  $W_{Fall}$ , im Beispiel 100. Es kann daher ein Reduktionsfaktor für das Fallrisiko aus dieser Teambetrachtung  $F_{KF}$  wie folgt definiert werden:

$$F_{KF} = \frac{W_{real}}{W_{Fall}} [\%] \quad (5)$$

Kann diese Schätzung der maximalen Wiederholungshäufigkeit der Tätigkeit (des Fallrisikos) eines Mitarbeiters pro Jahr  $W_{real}$  nicht vorgenommen werden, muss von der konservativen Annahme  $W_{real} = W_{Fall}$  ausgegangen werden.

Das resultierende präzierte Fallrisiko  $R_{iFallPr\ddot{a}z}$  kann dann wie folgt berechnet werden:

$$R_{iFallPr\ddot{a}z} = F_{KF} \cdot R_{iFall} [T / P / J] \quad (6)$$

#### 5.1.5 Individuelles Risiko eines Mitarbeiters

Mit dem fallspezifischen Basisrisiko  $R_{iBfall}$  und dem präzierten Fallrisiko  $R_{iFallPr\ddot{a}z}$  kann das individuelle Risiko eines Mitarbeiters  $r_i$  berechnet werden:

$$r_i = R_{iBfall} + R_{iFallPr\ddot{a}z} = F_{KB} \cdot R_{iB} + F_{KF} \cdot R_{iFall} [T / P / J] \quad (7)^9$$

Daraus kann die folgende Berechnungsvorschrift abgeleitet werden:

$$r_i = (1 - \alpha) \cdot R_{iB} + \frac{W_{real}}{W_{Fall}} \cdot \frac{R_{kFall}}{N_{Ma}} [T / P / J] \quad (8)$$

Dabei ist:

- $\alpha$ : Anteil des kollektiven Gesamtrisikos der beteiligten Mitarbeiter, der durch das kollektive Fallrisiko abgedeckt wird
- $R_{iB}$ : das durchschnittliche individuelle Risiko (Basisrisiko) der Personengruppe, zu welcher der Mitarbeiter gehört [T/P/J]
- $W_{real}$ : eine konservative Schätzung der Wiederholungshäufigkeit, mit welcher ein und derselbe Mitarbeiter dem Fallrisiko pro Jahr ausgesetzt werden kann
- $W_{Fall}$ : Wiederholungshäufigkeit des Fallrisikos aller Mitarbeitenden zusammen [pro Jahr]
- $R_{kFall}$ : das kollektive Fallrisiko der beteiligten Mitarbeiter [T/J]
- $N_{Ma}$ : Anzahl der in einem Fall gleichzeitig beteiligten Mitarbeiter [P]

Die Berechnungsvorschrift der Gleichung (8) ist anwendbar für die Berechnung der individuellen Risiken aus Tätigkeiten, bei welchen die Expositionsdauer für verschiedene Mitarbeiter etwa gleich gross ist und für die Risikobeurteilung keine wesentliche Rolle spielt.

Sind die Expositionszeiten einzelner Mitarbeiter sehr unterschiedlich und ist das resultierende individuelle Risiko der Mitarbeiter weniger von der Wiederholungshäufigkeit sondern vielmehr von der gesamten Expositionszeit eines Mitarbeiters abhängig, muss für die Berechnung des Fallrisikos die folgende, allgemeinere Berechnungsvorschrift angewendet werden:

$$R_{iFall} = \frac{E_{Fall}}{E_{FallN}} \cdot R_{kFall} [T / P / J] \quad (9)$$

Dabei entspricht der Wert von  $E_{FallN}$  der Summe der Personenstunden pro Jahr, während denen alle beteiligten Mitarbeiter zusammen dem untersuchten Fallrisiko ausgesetzt sind. Der Wert  $E_{Fall}$  ent-

<sup>9</sup> Im Rahmen der Entwicklung der Methodik zu Beurteilung des individuellen Risikos der Mitarbeiter wurden nur zwei risikoreduzierende Einflussfaktoren (repräsentiert durch  $F_{KB}$  und  $F_{KF}$ ) identifiziert. Es ist vorstellbar, dass während der praktischen Anwendung der Methodik weitere Einflussfaktoren erkannt werden. Aus diesem Grund können die Faktoren  $F_{KB}$  und  $F_{KF}$  allgemein als eine Multiplikation von mehreren Faktoren betrachtet werden. Die Gleichung (7) hätte dann die folgende allgemeine

Form:

$$r_i = \prod_i F_{KBi} \cdot R_{iB} + \prod_j F_{KFj} \cdot R_{iFall} [T / P / J]$$

spricht der maximalen jährlichen Expositionsdauer eines einzelnen (des meist-exponierten) Mitarbeiters.

Für die Berechnung des individuellen Risikos eines Mitarbeiters ist dann die folgende Berechnungsvorschrift anzuwenden:

$$r_i = (1 - \alpha) \cdot R_{iB} + \frac{E_{Fall}}{E_{FallN}} \cdot R_{kFall} [T / P / J] \quad (10)$$

- $\alpha$ : Anteil des kollektiven Gesamtrisikos der beteiligten Mitarbeiter, der durch das kollektive Fallrisiko abgedeckt wird
- $R_{iB}$ : das durchschnittliche individuelle Risiko (Basisrisiko) der Personengruppe, zu welcher der Mitarbeiter gehört [T/P/J]
- $R_{kFall}$ : das kollektive Fallrisiko der beteiligten Mitarbeiter [T/J]
- $E_{Fall}$ : Maximal mögliche Anzahl Stunden pro Jahr, während denen ein Mitarbeiter dem untersuchten Fallrisiko ausgesetzt ist [Std]
- $E_{FallN}$ : Summe der Personenstunden pro Jahr, während denen alle beteiligten Mitarbeiter zusammen dem untersuchten Fallrisiko ausgesetzt sind [Std]

Durch die Anwendung der Gleichungen 6 und 9 wird praktisch die effektive Höhe der Einzelrisiken (hier am Beispiel  $R_{iD}$ ) entsprechend der effektiven Dauer auf ein Jahr Arbeitszeit verteilt. Dies ermöglicht eine Addition mit dem fallspezifischen Basisrisiko  $R_{iBFall}$ . Das resultierende individuelle Risiko eines Mitarbeiters  $r_i$  im Beispiel des Risikos  $R_{iD}$  ist in Abbildung 8 dargestellt.

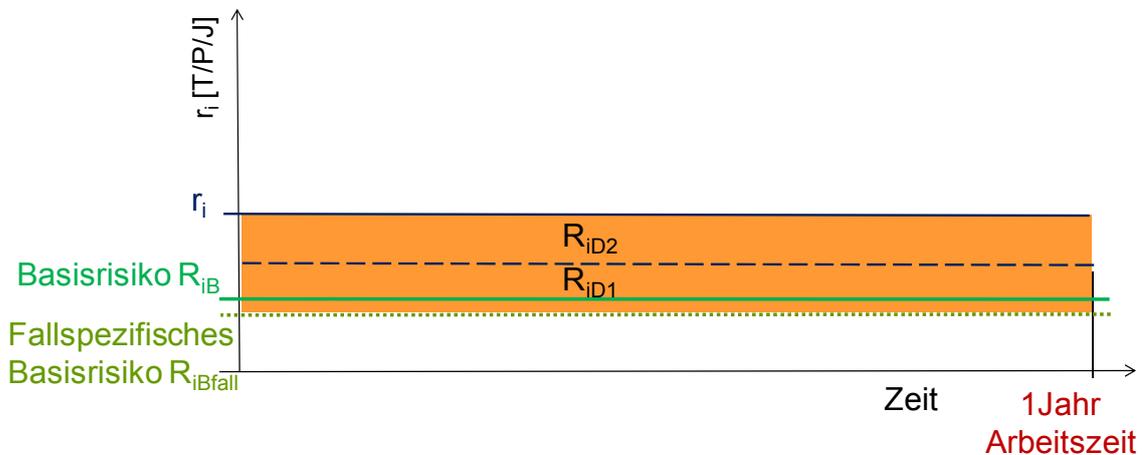


Abbildung 8: Das individuelle Risiko des Mitarbeiters  $r_i$  als Summe des fallspezifischen Basisrisikos  $R_{iBFall}$  und der Fallrisiken  $R_{iD1}$  und  $R_{iD2}$

Es muss darauf geachtet werden, dass für die Berechnung von  $r_i$  immer der Jahreswert des Fallrisikos verwendet wird. Allfällige wiederholte Wirkungen des Fallrisikos, sofern die betrachtete Tätigkeit häufiger als einmal pro Jahr durchgeführt wird, müssen berücksichtigt werden.

## 5.2 Risikobewertung

Das vorgeschlagene Vorgehen bei der Bewertung der individuellen Risiken des Personals ist in Abbildung 9 dargestellt. Ziel der Bewertung ist es nachzuweisen, dass mit der beantragten Abweichung von den Vorschriften kein inakzeptables individuelles Risiko für die betroffenen Mitarbeitenden verbunden ist.

Als Schritt 1 sieht dieses Vorgehen vor, die Analyse des individuellen Risikos entsprechend der Gleichung (8), bzw. (10) in Abschnitt 5.1.5 durchzuführen. Dazu sind sowohl das individuelle Risiko des alten Zustandes  $r_{iAlt}$  (ohne Einführung der fallspezifischen Massnahmen) als auch des neuen Zustandes  $r_i$  zu berechnen.

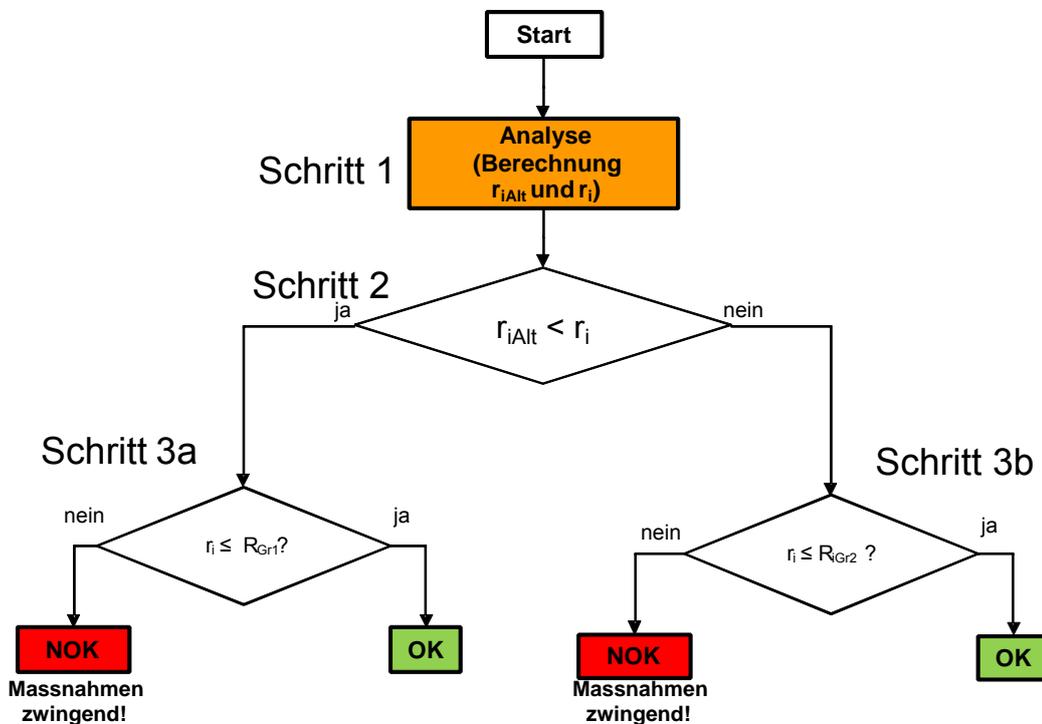


Abbildung 9: Vorgehen bei der Bewertung der individuellen Risiken des Personals

### 5.2.1 Auswirkung auf das bestehende individuelle Risiko

In Schritt 2 des Vorgehens soll entschieden werden, ob der untersuchte Fall zu einer Steigerung oder zu einer Senkung des individuellen Risikos des meist betroffenen beteiligten Mitarbeiters führt. Dabei sind die individuellen Risiken aller beteiligten Mitarbeiter zu prüfen, welche durch den untersuchten Fall direkt oder indirekt beeinflusst werden. Sollte das individuelle Risiko des meistbetroffenen beteiligten Mitarbeiters steigen ( $r_{iAlt} < r_i$ ), wird die Prüffrage in Schritt 2 mit "Ja" beantwortet und es folgt als Nächstes Schritt 3a. Kann von einem sinkenden individuellen Risiko ausgegangen werden, wird die Prüffrage mit "Nein" beantwortet und es ist mit Schritt 3b weiterzurechnen.

Kann der Wert  $r_{iAlt}$  nicht berechnet werden (z.B. da das Fallrisiko vorher nicht existierte), ist mit dem Schritt 3a fortzufahren.

### 5.2.2 Sinkendes individuelles Risiko

Konnte in Schritt 2 aufgezeigt werden, dass das individuelle Risiko des meist betroffenen beteiligten Mitarbeiters sinkt, kann in Schritt 3b das individuelle Risiko  $r_i$  mit dem Grenzwert 2 ( $R_{iGr2}$ ) verglichen werden.

Liegt dieses Risiko unter dem anwendbaren Grenzwert 2 ( $R_{iGr2}$ ) (wie im Beispiel auf Abbildung 10), kann das untersuchte individuelle Risiko als akzeptabel bezeichnet werden. Damit ist die erste Stufe der Risikobeurteilung gemäss Abbildung 1 erfolgreich abgeschlossen, es liegt kein inakzeptables individuelles Risiko vor.

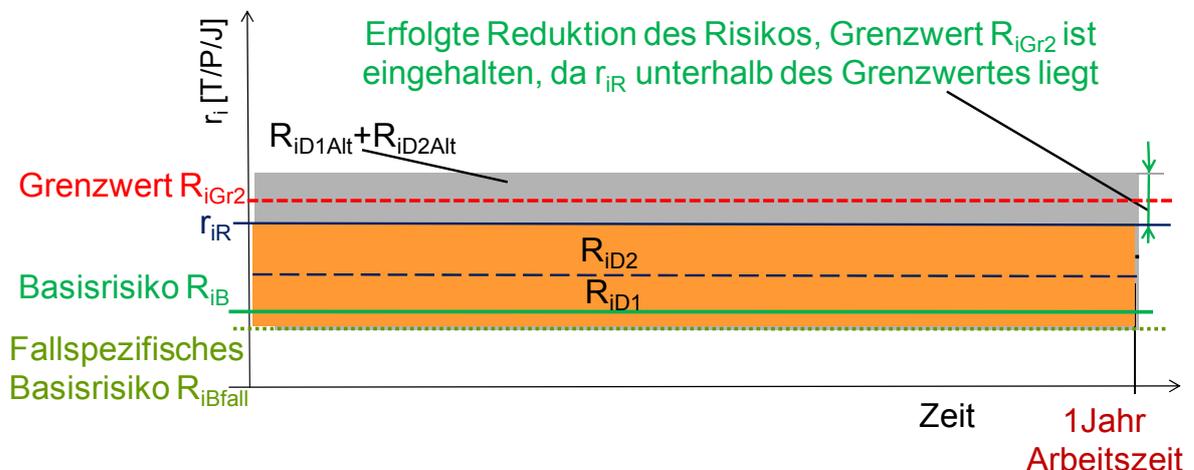


Abbildung 10: Prüfung des sinkenden individuellen Risikos des Mitarbeiters (bestehend aus  $R_{iD1}$  und  $R_{iD2}$ ) gegen den Grenzwert  $R_{iGr2}$

Es folgt nun entsprechend der Stufe 2 im Vorgehen der Nachweis, dass alle verhältnismässigen risikoreduzierenden Massnahmen ergriffen wurden.

Kann der Grenzwert 2 durch die vorgeschlagene Massnahmen nicht eingehalten werden, müssen Massnahmen zur weiteren Risikoreduktion umgesetzt werden. Im Rahmen der Einführungsphase dieses methodischen Vorgehens kann in gut begründeten Fällen (z.B. beim Vorliegen einer wesentlichen Reduktion des individuellen Risikos) von dieser Anforderung abgewichen werden.

### 5.2.3 Steigendes individuelles Risiko

Konnte in Schritt 2 nicht aufgezeigt werden, dass das individuelle Risiko des meist betroffenen beteiligten Mitarbeiters sinkt, muss der Nachweis, dass kein inakzeptables individuelles Risiko entsteht, durch einen Vergleich mit dem (strengeren) Grenzwert 1 ( $R_{iGr1}$ ) erfolgen (Schritt 3a). Nur wenn das Fallrisiko tiefer liegt als Grenzwert 1 ( $R_{iGr1}$ ) kann gewährleistet werden, dass das neue Fallrisiko beim beteiligten Personal nicht zu einem inakzeptablen Risiko führt.

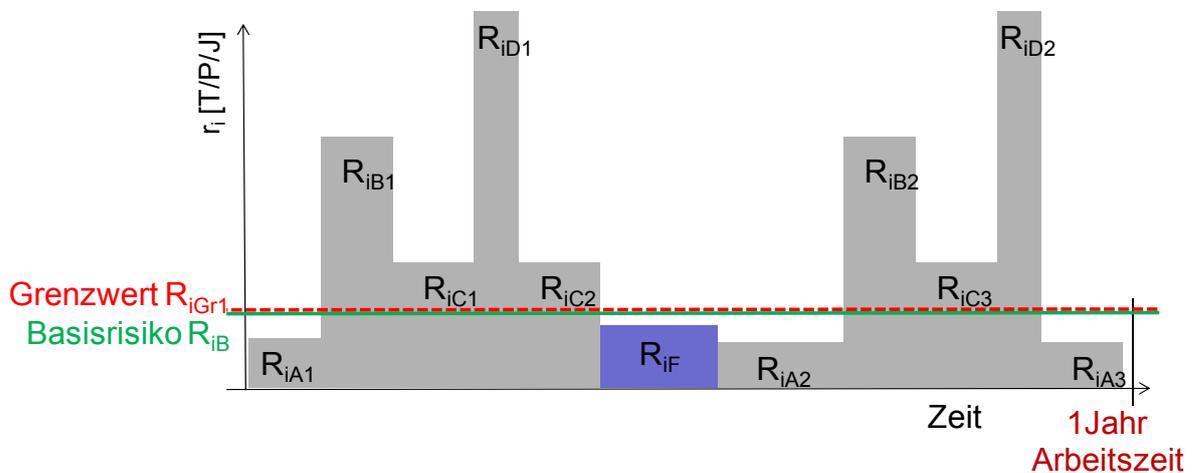


Abbildung 11: Prüfung des steigenden individuellen Risikos des Mitarbeiters  $R_{iF}$  gegen den Grenzwert  $R_{iGr1}$

Wie in Abbildung 11 ersichtlich, ist für die Akzeptanz eines steigenden individuellen Risikos eines Mitarbeiters der Abstand zum Grenzwert 1 massgebend. Grenzwert 1 wird vom Basisrisiko der jeweiligen Personengruppe der Mitarbeiter abgeleitet. Der Grenzwert liegt jedoch nicht tiefer als das in der heutigen Praxis akzeptierte individuelle Risiko  $R_{iPrakt} = 10^{-4} T/P/J$  (s. weitere Begründung im Abschnitt 6.1).



## 6 Empfehlung für die Grenzwerte

Gemäss Abbildung 1 sieht der methodische Rahmen der Risikoanalysen ein zweistufiges Vorgehen vor, in welchem die Beurteilung der individuellen Risiken nur die erste Stufe darstellt. Das Ziel des Vorgehens ist einerseits zu garantieren, dass die maximalen individuellen Risiken nicht überschritten werden, andererseits zu erreichen, dass die finanziellen Mittel für die Sicherheit optimal investiert werden. Die Durchführung der zweiten Stufe des Vorgehens wird also als zwingender Schritt angesehen. Dies bedeutet, dass die bei der Analyse des kollektiven Risikos (zweite Stufe) geprüfte risikoreduzierende Massnahmen mit einem günstigen Kosten-/Nutzenverhältnis zwingend umzusetzen sind. Dies gilt auch, wenn das individuelle Risiko in der ersten Stufe des Vorgehens als akzeptabel beurteilt wird.

Die Methode zur Führung des Nachweises, dass kein inakzeptables individuelles Risiko des Personals vorliegt, bedingt die Definition von Grenzwerte für die folgenden Situationen:

- Grenzwert 1 ( $R_{iGr1}$ ) für den Fall eines steigenden Risikos
- Grenzwert 2 ( $R_{iGr2}$ ) für den Fall eines sinkenden Risikos

Die Tabelle 4 enthält die beiden Grenzwerte für die vier Personengruppen. Die anschliessenden zwei Abschnitte erklären die Hintergründe dieser Festlegung.

Personengruppe	Grenzwert für das individuelle Risiko	Grenzwert 1 $R_{iGr1}$ [T/P/J]	Grenzwert 2 $R_{iGr2}$ [T/P/J]
Mitarbeiter Rangieren		$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Mitarbeiter Bau und Unterhalt		$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Mitarbeiter Zugführung		$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Mitarbeiter Werkstatt		$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 4: Grenzwerte für das individuelle Risiko von Mitarbeitenden

### 6.1 Grenzwert 1 für den Fall eines steigenden Risikos

Grenzwert 1 ( $R_{iGr1}$ ) wird dann angewendet, wenn das individuelle Risiko für eine bestimmte Tätigkeit für die betroffenen Mitarbeitenden (den meistbetroffenen Mitarbeiter) ansteigt. Dies ist grundsätzlich eine nicht erwünschte Entwicklung, da damit das Basisrisiko für das betroffene Personal ansteigt (Grundsatz 1 wird verletzt). Gemäss Grundsatz 2 kann aber ein gewisser Anstieg des individuellen Risikos einer bestimmten Aktivität akzeptiert werden, wenn das erhöhte Risiko unterhalb des Basisrisikos liegt.

Daher bildet das Basisrisiko einer Personengruppe die erste Bezugsgrösse für die Herleitung von Grenzwert 1.

Das Basisrisiko wird spezifisch für jede der vier definierten Personengruppen betrachtet. Als Grundlage für die Definition des Basisrisikos dienen die Expertenschätzungen aus den SBB Safety Szenarien (siehe Tabelle 1). Ebenso wird die Auswertung der dem BAV gemeldeten statistischen Ereignisdaten der SBB und BLS (inkl. Mitarbeitenden von Drittfirmen, welche für die SBB bzw. die BLS im Einsatz sind, siehe Tabelle 2) berücksichtigt. Die statistischen Ereignisdaten werden dort berücksichtigt, wo der Unterschied zu den Risikowerten gemäss den Expertenschätzungen aus den Safety Szenarien SBB gross ist.

Mit diesem Vorgehen kann sichergestellt werden, dass die Wirkung der Methode umso konservativer ist, je tiefer der Wert des Basisrisikos einzelner Personengruppe festgelegt wird. Aus diesem Grund betrachtet die Arbeitsgruppe es als sinnvoll, sich an den tiefer liegenden Werten der individuellen Risiken der Expertenschätzungen der SBB zu orientieren und diese für die Definition der Grenzwerte  $R_{iGr1}$  zu verwenden. Im Falle der Personengruppe 2 wird jedoch eine Korrektur des Basisrisikos um Faktor 2 nach oben aufgrund der statistischen Ereignisse durchgeführt.

Die Praxis zeigt, dass ein gewisses Risiko für spezifische berufliche Tätigkeiten faktisch von den Behörden und der Gesellschaft akzeptiert wird. So wird u.a. bei den SBB als Grenzwert für das akzeptable individuelle Risiko von Mitarbeitenden oft der Wert  $10^{-4}$  T/P/J praktisch angewendet. Dieser basiert auf dem Wert für die minimale endogene Mortalität (MEM) von  $2 \cdot 10^{-4}$  T/P/J [3]. Es kann gezeigt werden, dass dieser Wert auch in anderen vergleichbaren Beurteilungssituationen in der Schweiz und in Mitteleuropa Anwendung findet.

Der Wert  $10^{-4}$  T/P/J entspricht dem Grenzwert der Risikoklasse 2, zu welcher Risiken gehören, welche den beteiligten Personen bekannt sind (z.B. durch Ausbildung) und daher in gewissem Mass beeinflusst werden können. Dazu gehören die Mitarbeiter der Eisenbahn, welche in der Produktion oder im gewerblichen Bereich tätig sind.

Der Wert  $10^{-4}$  T/P/J soll dann als Grenzwert 1 angewendet werden, wenn das Basisrisiko (das von den Experten der SBB geschätzte Risiko und das Todesfallrisiko gemäss BAV-Ereignisstatistik) tiefer liegt.

Damit soll vermieden werden, dass auch sehr tiefe Risiken durch nicht kosteneffektive Massnahmen zwingend reduziert werden müssen. Dies hat zur Folge, dass bei gewissen Personengruppen ein Ansteigen des Basisrisikos zugelassen wird. Durch die weiterhin zwingende Prüfung und Umsetzung aller kostenwirksamen Massnahmen (Stufe 2 in der Risikobeurteilung gemäss Abbildung 1) ist ein Anstieg des Basisrisikos dieser Personengruppen trotzdem sehr unwahrscheinlich.

Für die Beurteilung der Akzeptanz des individuellen Risikos von Mitarbeitenden werden folgende (provisorischen) Grenzwerte  $R_{iGr1}$  festgelegt:

- Mitarbeiter Rangieren (inkl. Visiteure):  
 **$4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J** (gem. Expertenschätzung Safetyszenarien SBB)
- Mitarbeiter Bau- und Unterhalt (inkl. Schienenfahrzeugführer):  
 **$4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J** (gem. Ereignisstatistik BAV, Expertenschätzung Safetyszenarien SBB liegt Faktor 2 tiefer)
- Mitarbeiter Zugführung (Lokführer, Zugbegleiter):  
 **$1 \cdot 10^{-4}$  T/P/J** (gem. Praxis SBB, Expertenschätzung Safetyszenarien SBB liegt um Faktor 2 tiefer, keine statistisch erfassten Todesfälle)
- Mitarbeiter Werkstatt (inkl. Reinigung, Fahrzeugunterhalt, Magazine):  
 **$1 \cdot 10^{-4}$  T/P/J** (gem. Praxis SBB, Expertenschätzung Safetyszenarien SBB liegt um Faktor 10, BAV-Statistik um Faktor 5 tiefer)

Die Tabelle 5 zeigt zusammenfassend alle Inputgrössen für die Festlegung des Grenzwertes 1  $R_{iGr1}$  für jede Personengruppe:

Grenzwert für das individuelle Risiko Personengruppe	Praxis SBB $R_{iPrakt}$ [T/P/J]	Ereignisstatistik BAV $R_{iBStat}$ [T/P/J]	Expertenschätzung Safetyszenarien SBB $R_{iB}$ [T/P/J]	Grenzwert 1 $R_{iGr1}$ [T/P/J]
<b>Mitarbeiter Rangieren</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-4}$	$3.9 \cdot 10^{-4}$	<b><math>4 \cdot 10^{-4}</math></b>
<b>Mitarbeiter Bau und Unterhalt</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	<b><math>4 \cdot 10^{-4}</math></b>
<b>Mitarbeiter Zugführung</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	0.0	$4.8 \cdot 10^{-5}$	<b><math>1 \cdot 10^{-4}</math></b>
<b>Mitarbeiter Werkstatt</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$7.9 \cdot 10^{-6}$	<b><math>1 \cdot 10^{-4}</math></b>

Tabelle 5: Inputgrössen für die Festlegung des Grenzwertes 1 für jede Personengruppe

Bei den Personengruppen „Mitarbeiter Rangieren“ und „Mitarbeiter Bau und Unterhalt“ ist der Grenzwert im Fall eines steigenden individuellen Risikos gleich hoch wie das Basisrisiko. Daher können Zusatzrisiken grundsätzlich nicht bewilligt werden, da nicht nachgewiesen werden kann, dass keine inakzeptablen Risiken entstehen. In Einzelfällen kann eine geringfügige Steigerung der individuellen Risiken aufgrund einer plausiblen Begründung trotzdem als vertretbar beurteilt werden.

## 6.2 Grenzwert 2 für den Fall eines sinkenden Risikos

Der Grenzwert 2 ( $R_{iGr2}$ ) kommt dann zur Anwendung, wenn durch den Vergleich mit dem ursprünglichen individuellen Risiko  $r_{iAlt}$  gezeigt wird, dass das Risiko durch die untersuchte Massnahme für den meistbetroffenen Mitarbeiter sinkt (Schritt 2 des Vorgehens in Abbildung 9).

Bei der Festlegung dieses Grenzwertes sind verschiedene Aspekte bzw. Interessen zu berücksichtigen:

Grundsätzlich soll eine Senkung des individuellen Risikos unterstützt werden. Es sollte verhindert werden, dass auf eine Verbesserung verzichtet wird, weil trotz dieser Verbesserung der Grenzwert für das individuelle Risiko nicht eingehalten wird. Dies kann dann eintreten, wenn zu strenge Grenzwerte festgesetzt werden. Dieser Fall könnte dann verhindert werden, wenn jegliche auch noch so geringe Senkung des Risikos als Nachweis für ein nicht inakzeptables Risiko genügen würde.

Dies würde aber zulassen, dass auch sehr hohe individuelle Risiken bei der Prüfung deren Vertretbarkeit nicht relevant gesenkt werden müssen. Da in einem gewissen Rahmen bei der Anwendung der vorliegenden Methode ein Ansteigen des Risikos zugelassen wird, ist es aus Sicht der Arbeitsgruppe erforderlich, dass dieser mögliche Anstieg durch eine relevante Senkung bestehender hoher Risiken kompensiert wird.

Würden alle sinkenden Risiken, unabhängig von der effektiven Höhe, akzeptiert, würde möglicherweise Grundsatz 6 des Sicherheitskonzeptes BAV verletzt, dass Restrisiken nur akzeptiert werden dürfen, wenn u.a. kein unvertretbares Risiko entsteht. Ein hohes Risiko kann durchaus ein inakzeptables Risiko darstellen, auch wenn eine geringe Senkung dieses Risikos nachgewiesen werden kann.

Die Arbeitsgruppe BAV-SBB-BLS ist daher der Meinung, dass erkannte hohe individuelle Risiken nicht nur reduziert, sondern auf einen zu bestimmenden Wert reduziert werden müssen. Abweichung von dieser Forderung sollen nur in sehr gut begründeten Fällen zugelassen werden.

Grenzwert 2 für das maximal zulässige jährliche individuelle Risiko eines Mitarbeiters ist wie Grenzwert 1 personengruppenspezifisch zu betrachten. Bei seiner Definition wird eine lineare Abhängigkeit zum entsprechenden Basisrisiko angenommen, d.h. je höher das Basisrisiko desto höher auch der Grenzwert  $R_{iGr2}$ . Grenzwert 2 steht somit in einem konstanten Verhältnis zum personengruppenspezifischen Basisrisiko.

$$R_{iGr2} = a \cdot R_{iB} [T / P / J] \quad (11)$$

Der Grenzwert für das Personal (bzw. für die vier definierten Personengruppen) wird vom Grenzwert für die Reisenden wie folgt abgeleitet:

Aus dem Verhältnisses zwischen dem expositionsdauerbasierten Basisrisiko ( $R_{iEB} = 1.5 \cdot 10^{-5} T/P/J$ ) und dem Grenzwert für das jährlich zulässige individuelle Risiks bei den Reisenden ( $R_{iEakzFg} = MEM_{CENELEC} = 10^{-5} T/P/J$ ) [1] kann unter Berücksichtigung der unterschiedlichen maximalen Expositionsdauer von Reisenden und Mitarbeitenden für das Personal ausgehend vom Basisrisiko der Grenzwert 2 ( $R_{iGr2}$ ) abgeleitet werden. Dieser Grenzwert 2 liegt um den Faktor  $a = 2.8$  oberhalb des Basisrisikos (s. Ableitung im Anhang).

Damit können für das maximal zulässige jährliche individuelle Risiko eines Mitarbeiters die folgenden personengruppenspezifischen Grenzwerte 2 ( $R_{iGr2}$ ) abgeleitet werden (berechnete Beträge abgerundet):

- Mitarbeiter Rangieren (inkl. Visiteure):  **$1 \cdot 10^{-3}$  T/P/J**
- Mitarbeiter Bau- und Unterhalt (inkl. Schienenfahrzeugführer):  **$1 \cdot 10^{-3}$  T/P/J**
- Mitarbeiter Zugführung (Lokführer, Zugbegleiter):  **$2 \cdot 10^{-4}$  T/P/J**
- Mitarbeiter Werkstatt (inkl. Reinigung, Fahrzeugunterhalt, Magazine):  **$1 \cdot 10^{-4}$  T/P/J** (hier  $R_{iGr1}$  wegen tieferem Basisrisiko)

Die Tabelle 6 zeigt zusammenfassend alle Inputgrössen für die Festlegung des Grenzwertes 2  $R_{iGr2}$  für jede Personengruppe:

Grenzwert für das individuelle Risiko Personengruppe	Praxis SBB $R_{iPrakt}$ [T/P/J]	Ereignisstatistik BAV $R_{iBStat} \times \text{Faktor } a$ [T/P/J]	Expertenschätzung Safetyszenarien SBB $R_{iB} \times \text{Faktor } a$ [T/P/J]	Grenzwert 2 $R_{iGr1}$ [T/P/J]
<b>Mitarbeiter Rangieren</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	<b><math>1 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>Mitarbeiter Bau und Unterhalt</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$5.7 \cdot 10^{-4}$	<b><math>1 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>Mitarbeiter Zugführung</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	0.0	$1.4 \cdot 10^{-4}$	<b><math>2 \cdot 10^{-4}</math></b>
<b>Mitarbeiter Werkstatt</b>	$1 \cdot 10^{-4}$	$5.1 \cdot 10^{-5}$	$2.2 \cdot 10^{-5}$	<b><math>1 \cdot 10^{-4}</math></b>

Tabelle 6: Inputgrössen für die Festlegung des Grenzwertes 2 für jede Personengruppe

Diese Werte sind nur gültig, sofern die Berechnung gemäss der in diesem Dokument beschriebenen Methode und den vorliegenden Inputwerten erfolgt.

Wird der Grenzwert nicht eingehalten, müssen zwingend risikoreduzierende Massnahmen ergriffen werden, bis das Risiko tiefer liegt als Grenzwert 2. Die Erfahrung zeigt, dass das fast immer auch möglich ist.

Wird der Grenzwert 2 eingehalten, muss in einem zweiten Arbeitsschritt geklärt werden, ob das Risiko mit weiteren verhältnismässigen Massnahmen (Massnahmen mit einem günstigen Kosten-/Nutzenverhältnis) gesenkt werden kann. Verhältnismässige Massnahmen müssen umgesetzt werden.

### Schlussbemerkungen

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



Referenz/Aktenzeichen: BAV-023.11//

## 7 Testbeispiele

Die entwickelte Methode wird an folgenden drei Testbeispielen angewendet:

### 7.1 Beispiel RBL

Mitarbeiter des RBL werden beim Aufgleisen der Güterwagen vergleichsweise hohen Risiken ausgesetzt. Das Ergebnis der Risikobeurteilung soll Hinweise geben, ob das erreichte Sicherheitsniveau akzeptabel ist.

Entsprechend der Ereignisstatistiken gibt es Hinweise auf ein kollektives Risiko von  $3.33 \cdot 10^{-3}$  T/J. Pro Jahr kommt es durchschnittlich zu 4 Fällen, wobei jeweils 5 Mitarbeiter aus einem Team von insgesamt 20 Personen beteiligt sind.

Durch Implementierung einer technischen Massnahme kann die Häufigkeit der Entgleisungen der Güterwagen etwa auf die Hälfte reduziert werden. Damit sinkt auch das Risiko.

Die beteiligten Mitarbeiter gehören alle zur Personengruppe 1 (Mitarbeiter Rangieren). Diese Gruppe weist ein individuelles Basisrisiko von  $4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J aus.

Aus der Fallbeschreibung ist ersichtlich, dass es sich in diesem Fall um eine Senkung des bestehenden Risikos handelt, ohne dass das bestehende Risiko explizit berechnet werden müsste. Aus diesem Grund ist es zweckmässig, eine grobe Schätzung des individuellen Risikos der beteiligten Mitarbeiter gemäss dem vereinfachten Vorgehen (Abschnitt 5.2.4) durchzuführen und mit Schritt 3 des Vorgehens fortzufahren.

Gemäss Gleichung (2) ergibt sich für das Fallrisiko  $R_{iFallRBL}$ :

$$R_{iFallRBL} = \frac{R_{kFallRBL}}{N_{Ma}} = \frac{1.67 \cdot 10^{-3}}{5} = 3.33 \cdot 10^{-4} T / P / J$$

Die resultierende grobe Schätzung des individuellen Risikos kann dann gemäss Gleichung (11) berechnet werden und mit dem Grenzwert  $R_{iGr2}$  verglichen werden:

$$r_{iGrobRBL} = R_{iB} + R_{iFallRBL} = 4 \cdot 10^{-4} + 3.33 \cdot 10^{-4} = 7.33 \cdot 10^{-4} T / P / J < R_{iGr2} = 1 \cdot 10^{-3} T / P / J$$

Das resultierende individuelle Risiko  $r_{iGrobRBL}$  ist somit kleiner als der Grenzwert  $R_{iGr2}$  und kann als akzeptabel bezeichnet werden. Mit der vorgeschlagenen Massnahme kann das individuelle Risiko beim Aufgleisen unter den gegebenen Randbedingungen (wie Teamgrösse und reduzierte Anzahl Aufgleisungen pro Jahr) auf ein Mass reduziert werden, welches keine weiteren zwingenden Massnahmen erfordert. Stehen weitere kostenwirksame Massnahmen zur Verfügung, sollten auch diese umgesetzt werden.

## 7.2 Beispiel Altdorf

Im Bahnhof Altdorf befindet sich eine Gleisverbindung, bei welcher der Gleisabstand auf einem Abschnitt von 15-20 m nur 3.50 m statt 4.20 m beträgt. Aus diesem Grund besteht beim Befahren dieser Stelle für den Rangierer bei einer gleichzeitigen Zugdurchfahrt ein erhöhtes Risiko. Auf der Basis einer Detailanalyse wurde das entsprechende kollektive Risiko der beteiligten Mitarbeiter auf  $2.2 \cdot 10^{-2}$  T/J geschätzt. Pro Tag kommt es durchschnittlich zu 2 solchen Rangierfahrten, wobei jeweils 1 Mitarbeiter aus einem Team von insgesamt 10 Personen beteiligt ist. Es liegt ein Massnahmenvorschlag vor, der das kollektive Risiko auf den Wert  $1 \cdot 10^{-3}$  T/J reduziert. Dieser Wert des kollektiven Risikos umfasst alle bahnbezogene Risiken, welchen der Mitarbeiter während des kritischen Rangiervorganges ausgesetzt ist.

Die beteiligten Mitarbeiter gehören alle zur Personengruppe 1 (Mitarbeiter Rangieren). Diese Gruppe weist ein individuelles Basisrisiko von  $4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J aus.

Aus der Fallbeschreibung ist wiederum ersichtlich, dass im vorliegenden Fall eine Senkung des bestehenden Risikos vorliegt, ohne dass das bisherige Risiko explizit berechnet werden müsste. Deswegen kann auch hier zuerst eine grobe Schätzung des individuellen Risikos der beteiligten Mitarbeiter gemäss dem vereinfachten Vorgehen (Abschnitt 5.2.4) durchgeführt werden.

Gemäss Gleichung (2) ergibt sich für das Fallrisiko  $R_{iFallAltdorf}$ :

$$R_{iFallAltdorf} = \frac{R_{kFallAltdorf}}{N_{Ma}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 1 \cdot 10^{-3} T / P / J$$

Die grobe Schätzung des individuellen Risikos kann dann gemäss Gleichung (11) berechnet werden und mit dem Grenzwert  $R_{iGr2}$  verglichen werden:

$$r_{iGrobAltdorf} = R_{iB} + R_{iFallAltdorf} = 4 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-3} = 1.4 \cdot 10^{-3} [T / P / J] > R_{iGr2} = 1 \cdot 10^{-3} T / P / J$$

Das resultierende individuelle Risiko  $r_{iGrobAltdorf}$  ist höher als der Grenzwert  $R_{iGr2}$  und kann nicht als akzeptabel bezeichnet werden. Aus diesem Grund muss bei der Bewertung gemäss dem Vorgehen auf Abbildung 6 vorgegangen werden.

In Schritt 1 ist die Berechnung von  $r_i$  und  $r_{iAlt}$  gemäss der Gleichung (8) durchzuführen:

$$r_i = (1 - \alpha) \cdot R_{iB} + \frac{W_{real}}{W_{Fall}} \cdot \frac{R_{kFall}}{N_{Ma}} [T / P / J]$$

Um die Gleichung auszuwerten, ist es notwendig, Werte für die Variablen  $\alpha$  und  $W_{real}$  festzulegen.

Da das kollektive Fallrisiko  $R_{kFall}$  alle bahnbezogenen Risiken umfasst, ist es möglich den Parameter  $\alpha$  auch durch die Näherung aus der Gleichung (4) abzuschätzen:

$$\alpha = \frac{E_{Fall}}{E_{\emptyset Ma}}$$

$E_{Fall}$  entspricht der jährlichen Dauer der Aussetzung des Rangierers gegenüber dem Fallrisiko in Stunden. Aufgrund der Fallbeschreibung ist ersichtlich, dass die Zeitdauer einer Einzelaussetzung sehr kurz ist und kann somit mit dem Minimalwert von 1 Minute angenähert werden (s. Abschnitt 5.1.3). Die jährliche Expositionszeit ergibt sich dann aus der Multiplikation mit dem Wert  $W_{Fall} = 730$  pro Jahr (entspricht der Wiederholungshäufigkeit von 2-mal pro Tag).

$W_{real}$  ist eine konservative Schätzung der Wiederholungshäufigkeit, mit welcher ein und derselbe Mitarbeiter dem Fallrisiko pro Jahr ausgesetzt werden kann. Die kritischen Rangierfahrten in Altdorf finden 2-mal pro Tag, also 730-mal pro Jahr statt. Es ist kaum vorstellbar, dass diese Tätigkeit das ganze Jahr von ein und demselben Mitarbeiter durchgeführt wird. Als konservative Schätzung wird hier angenommen, dass ein Mitarbeiter durchschnittlich höchstens einmal pro Tag die Rangierfahrt durchführt. Daher wird für den Parameter  $W_{real}$  ein Wert von 250 gesetzt, welcher etwa der jährlichen Zahl der Arbeitstage eines Mitarbeiters entspricht.

Nach der Einsetzung der Gleichung (4) in die Gleichung (8) ergibt sich für das individuelle Risiko die folgende Gleichung:

$$r_i = \left(1 - \frac{E_{Fall}}{E_{\emptyset Ma}}\right) \cdot R_{iB} + \frac{W_{real}}{W_{Fall}} \cdot \frac{R_{kFall}}{N_{Ma}} [T / P / J]$$

Das resultierende individuelle Risiko des Mitarbeiters beträgt nach dem Einsetzen der Zahlenwerte:

$$r_i = 1 - \frac{(1/60) \cdot 730}{1950} \cdot 4 \cdot 10^{-4} + \frac{250}{730} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 3.98 \cdot 10^{-4} + 3.42 \cdot 10^{-4} = 7.4 \cdot 10^{-4} [T / P / J]$$

Das bisherige Risiko betrug:

$$r_{iAlt} = 1 - \frac{(1/60) \cdot 730}{1950} \cdot 4 \cdot 10^{-4} + \frac{250}{730} \cdot \frac{2.20 \cdot 10^{-2}}{1} = 7.9 \cdot 10^{-3} [T/P/J]$$

Die Ergebnisse der Berechnung bestätigen, dass es sich im Fall Altdorf um eine Senkung des bestehenden Risikos handelt ( $r_{iAlt} < r_i$ ). Der Wert des bestehenden individuellen Risikos  $r_{iAlt}$  beträgt  $7.9 \cdot 10^{-3}$  T/P/J, welcher grösser ist als der Wert des maximal zulässigen Risikos  $R_{iGr2} = 1 \times 10^{-3}$  T/P/J, weist darauf hin, dass dieses Risiko zwingend mit Massnahmen zu reduzieren ist. Hingegen ist der Wert  $r_i = 7.4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J kleiner als der Grenzwert  $R_{iGr2} = 1 \cdot 10^{-3}$  T/P/J. Somit kann die vorgeschlagene Massnahme als ausreichend bezeichnet werden. Weitere Massnahmen sind dann umzusetzen, wenn diese ein günstiges Kosten-/Nutzenverhältnis aufweisen (Prüfung auf Basis kollektiver Risiken, 2. Stufe gemäss Abb. 1).

### 7.3 Beispiel Oerlikon

Im Bahnhof Oerlikon kann beim Umbau der minimale durch das Gesetz geforderte Gleisabstand ebenfalls nicht eingehalten werden (3.50 m statt 4.20 m). Aus diesem Grund besteht beim Befahren dieser Gleise für den Rangierer bei einer gleichzeitigen Zugdurchfahrt auf dem Nebengleis ebenfalls ein erhöhtes Risiko.

Auf der Basis einer Detailanalyse liegen zwei Massnahmenvorschläge vor, welche zu einem zusätzlichen kollektiven Risiko aus dem zu kleinem Gleisabstand von  $1.5 \cdot 10^{-3}$  T/J bzw.  $3 \cdot 10^{-5}$  T/J führen.

Pro Jahr wird durchschnittlich 15-mal das betreffende Gleis zum Rangieren benutzt, wobei jedes Mal von 4 Rangiervorgängen ausgegangen werden kann. Dabei ist jeweils 1 Mitarbeiter aus einem Team von insgesamt 10 Personen beteiligt.

Die beteiligten Mitarbeiter gehören alle zu der Personengruppe 1 (Mitarbeiter Rangieren). Diese Gruppe weist ein individuelles Basisrisiko von  $4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J auf.

In diesem Fall handelt es sich um ein individuelles Risiko, welches bislang in dieser Form in Oerlikon nicht vorhanden war. Daher ist der Anteil des Fallrisikos am Basisrisiko  $\alpha$  des Mitarbeiters gleich Null. Es kann auch kein  $r_{iAlt}$  ausgewertet werden und entsprechend dem Vorgehen auf Abbildung 9 muss nach den Schritten 1 und 2 mit Schritt 4 fortgefahren werden.

Entsprechend Schritt 1 wird das individuelle Risiko  $r_i$  für die beiden Massnahmenvorschläge (M1 und M2) mit Hilfe der Gleichung (8) berechnet:

$$r_i = (1 - \alpha) \cdot R_{iB} + \frac{W_{real}}{W_{Fall}} \cdot \frac{R_{kFall}}{N_{Ma}} [T/P/J]$$

Der Wert des Parameters  $W_{real}$  wird mit maximal 20 Aussetzungen ein und desselben Mitarbeiters pro Jahr geschätzt.

$$r_{iM1} = (1-0) \cdot 4 \cdot 10^{-4} + \frac{20}{60} \cdot \frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{1} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ T/P/J}$$

$$r_{iM2} = (1-0) \cdot 4 \cdot 10^{-4} + \frac{20}{60} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-5}}{1} = 4.1 \cdot 10^{-4} \text{ T/P/J}$$

Die Verringerung des Gleisabstandes führt zu einem zusätzlichen kollektiven Risiko und bedeutet für die beteiligten Mitarbeiter ein steigendes individuelles Risiko. Die Werte der resultierenden individuellen Risiken  $r_{iM1}$  und  $r_{iM2}$  werden daher mit dem Grenzwert  $R_{iGr1}$  der entsprechenden Personengruppe (Rangierer)  $R_{iGr1}=4 \cdot 10^{-4}$  T/P/J verglichen. Es ist ersichtlich, dass mit keiner der beiden Massnahmen der Grenzwert eingehalten werden kann. Während die Massnahme 1 als unzureichend zu betrachten ist, kann bei der Massnahme 2 nur ein geringfügiger Anstieg des jährlichen individuellen Risikos eines Mitarbeiters (2%) festgestellt werden. Auf der Grundlage des prognostizierten Risikos kann in Diskussion mit dem BAV im Einzelfall geklärt werden, ob nach Umsetzung aller verhältnismässigen Massnahmen damit ein akzeptables Risiko erreicht wird.

## 8 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 Risikokzept zur Beurteilung von technischen Risiken zur Schutz von Reisenden und Angestellten, SBB 2008

[5] Beschreibung des Vorgehens zur Akzeptanz der Risiken der Reisenden, Arbeitsgrundlage BAV, SBB, BLS

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Variablenverzeichnis

Variable	Bedeutung
$R_{kMa}$	Kollektives Risiko einer Personengruppe der Mitarbeitenden
$r_i$	Individuelles Risiko (nutzungshäufigkeitsbasiertes Ansatz)
$r_{iE}$	Jährliches expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko
$N_{MaGruppe}$	Anzahl der Mitarbeitenden einer Personengruppe
$N_{Ma}$	Anzahl der Mitarbeiter
$N_{ZR}$	Anzahl der Zusatzrisiken aus der Akzeptanz des untersuchten Restrisikos
$R_{KFall}$	Kollektives Fallrisiko
$R_{iFall}$	Individuelles Fallrisiko
$R_{iFallAlt}$	Altes individuelles Fallrisiko
$R_{iFallpräz}$	Präzisiertes fallspezifisches Basisrisiko
$R_{iB}$	Individuelles Basisrisiko
$R_{iBExp}$	Individuelles Basisrisiko berechnet nur aus der Expertenschätzungen
$R_{iBStat}$	Individuelles Basisrisiko berechnet nur aus der statistischen Ereignisdaten
$R_{iBfall}$	Fallspezifisches Basisrisiko
$r_i$	Individuelles Risiko eines Mitarbeiters
$r_{iAlt}$	Altes individuelles Risiko eines Mitarbeiters
$r_{iGrob}$	Grobe Schätzung des individuellen Risikos eines Mitarbeiters
$R_{iGr1}$	Grenzwert 1
$R_{iGr2}$	Grenzwert 2
$R_{iPrakt}$	In der Praxis akzeptiertes individuelles Risiko
$R_{iA}, R_{iC}, R_{iD}, R_{iF}$	Beispiele individueller Fallrisiken
$R_{iDAlt}$	Beispiel eines altes individuelles Fallrisikos
$R_{iBD}$	Beispiel eines Basisrisikos
$E_{Fall}$	Jährliche Expositionsdauer des Mitarbeiters dem Fallrisiko
$E_{FallIN}$	Summe der Personenstunden pro Jahr, während denen alle beteiligten Mitarbeiter zu-sammen dem untersuchten Fallrisiko ausgesetzt sind
$E_{\phi Ma}$	Durchschnittliche jährliche Arbeitszeit eines Mitarbeiters bei der Eisenbahn
$F_{KF}$	Faktor der Kürzung (Reduktion) des Basisrisikos durch die Teambetrachtung
$F_{KB}$	Faktor der Kürzung (Reduktion) des Basisrisikos durch das Fallrisiko
$W_{Fall}$	Jährliche Wiederholungshäufigkeit des Fallrisikos bezüglich aller beteiligten Mitarbeitenden

$W_{real}$	Schätzung der maximalen jährlichen Wiederholungshäufigkeit der Tätigkeit eines Mitarbeitenden
$R_{IEB}$	Expositionsdauerbasierte individuelle Basisrisiko der Reisende
$R_{IEakzFg}$	Jährliches zulässiges individuelles Risiks der Reisenden (expositionsdauerbasierte Berechnung)
$MEM_{CENELEC}$	Jährliches zulässiges individuelles Risiks einer Person nach [1]
$R_{IEakzFg}$	Akzeptiertes expositionsdauerbasiertes individuelles Risiko der Reisenden
$R_{IEBFg}$	Expositionsdauerbasierte individuelle Basisrisiko der Reisende
$R_{IEakzMa}$	Akzeptiertes expositionsdauerbasiertes individuelles des Personals
$R_{IEBMa}$	Expositionsdauerbasierte individuelle Basisrisiko des Personals
$\alpha$	Anteil des kollektiven Gesamtrisikos der beteiligten Mitarbeiter, der durch das kollektive Fallrisiko abgedeckt wird [%]

## 9.2 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
MA, Ma	Mitarbeitende
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
KTU	Konzessionierte Transportunternehmen
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
SBB	Die schweizerische Bundesbahnen
BLS	Das Transportunternehmen BLS AG
RBL	Rangierbahnhof Limmattal
M1, M2	Massnahmenvorschlag 1, Massnahmenvorschlag 2
EN	Europäische Norm
RAMS	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit
I-SA	Abteilung Infrastruktur – Sicherungsanlagen der SBB, heute I-AT-SAL

## 10 Anhang

### Herleitung des maximal zulässigen individuellen Risikos für Mitarbeiter

In Anlehnung an die Anwendung des MEM-Kriteriums für die Beurteilung des individuellen Risikos für Reisende und unter Berücksichtigung des höheren Grades der Selbstverantwortung der Mitarbeitenden gegenüber den Reisenden

#### Einleitung

Die Beurteilung der Akzeptanz der individuellen Risiken der Reisenden basiert auf dem Kriterium MEM (Minimale Endogene Mortalität).

Das MEM-Kriterium soll gemäss Norm für Fälle angewendet werden, bei denen der Betroffene keinen relevanten Einfluss auf das Risiko hat. Dies trifft für Reisende zu. Für Mitarbeitende trifft dies hingegen nicht zu, beeinflussen sie ihr Risiko doch mindestens teilweise durch ihr Verhalten.

Daher ist es nicht zielführend, das MEM-Kriterium als Grenzwert für das maximal zulässige individuelle Risiko für Mitarbeitende anzuwenden.

Ein möglicher Ansatz zur Herleitung eines Grenzwertes für das individuelle Risiko von Mitarbeitenden ist der Vergleich zwischen dem bestehenden expositionsdauerbasierten Risiko der Reisenden  $R_{iEBFg}$  (Basisrisiko) und dem jährlichen Grenzwert für Reisende  $R_{iEakzFg}$ . Dieses Verhältnis könnte analog auf das Risiko der Mitarbeitenden übertragen und für die Ableitung des Grenzwertes des individuellen Risikos der Mitarbeitenden  $R_{iEakzMa}$  angewendet werden (Annahme 1).

$$\frac{R_{iEakzFg}}{R_{iEBFg}} = \frac{R_{iEakzMa}}{R_{iEBMa}} \quad (\text{Annahme 1})$$

In einem ersten Schritt wird das Verhältnis zwischen dem expositionsdauerbasierten Basisrisiko der Reisenden während einer mittleren Fahrt und dem Grenzwert für ein Jahr berechnet. Dies ergibt den "Faktor 1".

$$Faktor1 = \frac{R_{iEakzFg}}{R_{iEBFg}}$$

In einem zweiten Schritt wird das Basisrisiko der Mitarbeiter (einer Personengruppe)  $R_{iEBMaB}$  mit diesem "Faktor 1" multipliziert und damit ein jährlicher Grenzwert für Mitarbeiter  $R_{iEakzMa}$  berechnet.

Anschliessend wird dieser "Grenzwert pro Jahr" ( $R_{iEakzMa}$ ) auf einen "Grenzwert pro Arbeitsjahr" ( $R_{iE-maxMa}$ ) umgerechnet. Für die praktische Anwendung wird abschliessend das Verhältnis zwischen Basisrisiko  $R_{iEBMa}$  und Grenzwert pro Arbeitsjahr  $R_{iE-maxMa}$  gebildet. Dieser "Faktor a" wird in der Praxis Anwendung finden.

### Schritt 1.1: expositionsdauerbasiertes Basisrisiko der Reisenden $R_{iEFgB}$

Gemäss der Berechnungsvorschrift für das expositionsdauerbasierte individuelle Risiko der Reisenden  $R_{iEBFg}$  [5] kann aus dem jährlichen kollektiven Risiko der Reisenden und den statistischen betrieblichen Daten das mittlere individuelle Risiko eines Reisenden auf einer durchschnittlichen Bahnfahrt (von  $E_{\phi Fg} = 47$  Minuten Dauer ) berechnet werden (das Basisrisiko des Reisenden):

$$R_{iEBFg} = \frac{R_{k\phi}}{N_{\phi Fg} E_{\phi Fg}} [T / P / J]$$

$$R_{iEBFg} = \frac{0.012}{(129 \cdot 125.8 \cdot 365) \cdot (47 / 60 / 24 / 365)} = 2.23 \cdot 10^{-5} [FWI / P / J] = 1.5 \cdot 10^{-5} [T / P / J]$$

**Das Basisrisiko für Reisende  $R_{iEBFg}$  beträgt  $1.5 \cdot 10^{-5} T/P/J$ .**

### Schritt 1.2: Grenzwert für Reisende (Grenzwert für ein Jahr) $R_{iEakzFg}$

Die Arbeitsgruppe BAV-SBB-BLS hat - in Anwendung des MEM-Kriteriums - den Grenzwert  $10^{-5} T/P/J$  als maximal zulässiges individuelles Risiko eines Reisenden bei der Benutzung des Eisenbahnsystems festgelegt. Dieser Wert wird von dem Wert der kontinuierlich wirkenden minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) von  $2 \cdot 10^{-4} T/P/J$  abgeleitet.

**Der Grenzwert für Reisende  $R_{iEakzFg}$  beträgt  $1 \cdot 10^{-5} T/P/J$ .**

Exkurs:

In der konkreten Anwendung wird nicht direkt dieser Wert als Grenzwert eingesetzt, sondern ein auf die maximale jährliche Nutzungszeit der Bahn durch einen "Superpendler" (1000 Stunden) umgerechneter Grenzwert (s. Abbildung 15).

$$R_{iE-maxFg} = \frac{R_{iEakzFg} \cdot 8760}{1000} = \frac{1 \cdot 10^{-5} \cdot 8760}{1000} = 8.8 \cdot 10^{-5} T / P / J$$

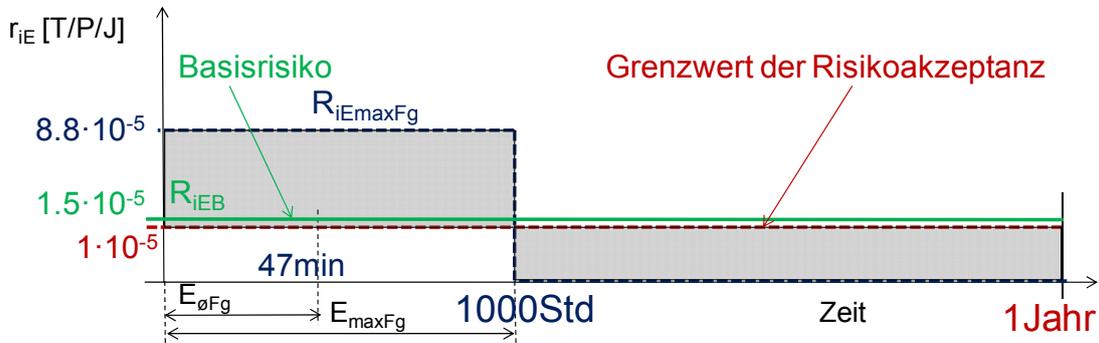


Abbildung 15 Herleitung des Grenzwertes des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos der Reisende

Schritt 1.3: Verhältnis zwischen Basisrisiko und Grenzwert der Reisenden (Faktor 1)

Das expositionsdauerbasierte Basisrisiko für Reisende  $R_{iEBFg}$  beträgt  $1.5 \cdot 10^{-5}$  T/P/J.

Der Grenzwert für das maximal zulässige individuelle Risiko für Reisende  $R_{iEakzFg}$  beträgt  $1 \cdot 10^{-5}$  T/P/J.

**Ergebnis 1: Das Verhältnis zwischen expositionsdauerbasiertem Basisrisiko und Grenzwert der Reisenden ist 0.67.**

$$Faktor1 = \frac{R_{iEakzFg}}{R_{iEBFg}} = \frac{10^{-5}}{1.5 \cdot 10^{-5}} = 0.67$$

**(Der auf das gesamte Jahr bezogene Grenzwert liegt tiefer als das expositionsdauerbasierte Basisrisiko.)**

Schritt 2.1: Basisrisiko für Mitarbeitende

Auf die gleiche Weise wie bei den Reisenden kann das expositionsdauerbasierte Basisrisiko eines Mitarbeiters (welches sich auf die durchschnittliche jährliche Arbeitszeit  $E_{øMa}$  von 1950 Stunden bezieht) berechnet werden:

$$R_{iEBMa} = \frac{R_{kMa}}{N_{Ma} E_{øMa}} [T / P / J]$$

Für einen Mitarbeiter z.B. der Personengruppe 1 (Rangierer) kann dann der folgende Wert des expositionsdauerbasierten Basisrisikos ermittelt werden:

$$R_{iEBMa} = \frac{0.67}{1700 \cdot (1950 / 24 / 365)} = 1.77 \cdot 10^{-3} [T / P / J]$$

Das Basisrisiko für Mitarbeitende der Personengruppe Rangierer  $R_{iEBMa}$  beträgt  $1.77 \cdot 10^{-3} T/P/J$ .

Schritt 2.2: Berechnung des "Jahres-Grenzwertes" für Mitarbeitende

Der Grenzwert (bezogen auf ein ganzes Jahr) für Mitarbeitende berechnet sich (gemäss Annahme 1) als Multiplikation von Basisrisiko und Faktor 1:  $1.77 \cdot 10^{-3} T/P/J \times 0.67 = 1.19 \cdot 10^{-3} T/P/J$  (Personengruppe Rangierer)

Schritt 2.3: Berechnung des "Grenzwertes für ein Arbeitsjahr" für Mitarbeitende  $R_{iEMaMAX}$

Ausgangspunkt für die Herleitung des Grenzwertes für ein Arbeitsjahr für Mitarbeitende bildet der Wert des akzeptablen auf ein Jahr bezogenen individuellen Risikos  $R_{iEakzMa} = 1.19 \cdot 10^{-3} T/P/J$ . (s. Abbildung 16).

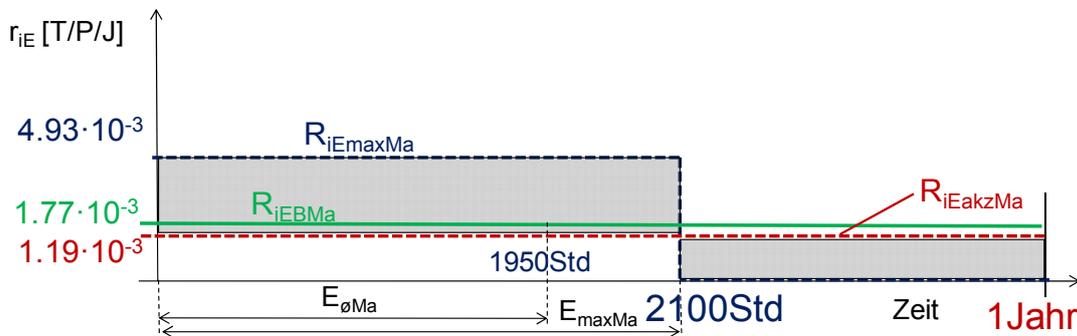


Abbildung 16: Herleitung des Grenzwertes des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos der Mitarbeiter

Unter Berücksichtigung der gesetzlich maximal möglichen Arbeitszeit  $E_{maxMa}$  von 2100 Stunden pro Jahr kann aus dem jährlich zulässigen individuellen Risiko  $R_{iEakzMa}$  von  $1.19 \cdot 10^{-3} T/P/J$  der arbeitszeitbezogene Grenzwert des expositionsdauerbasierten individuellen Risikos von  $R_{iE_{maxMa}} = 4.93 \cdot 10^{-3} T/P/J$  berechnet werden. Dieser Wert berechnet sich über das Verhältnis zwischen Anzahl Stunden pro Jahr (8760) und Anzahl der maximalen Arbeitsstunden pro Jahr (2100):

$$R_{iE_{maxMa}} = \frac{R_{iEakzMa} \cdot 8760}{2100} = \frac{1.19 \cdot 10^{-3} \cdot 8760}{2100} = 4.93 \cdot 10^{-3} T / P / J$$

**Ergebnis 2: Der arbeitszeitbezogene Grenzwert für das maximal zulässige individuelle Risiko für Mitarbeitende der Personengruppe Rangierer beträgt  $R_{iE_{maxMa}} = 4.93 \cdot 10^{-3} T/P/J$ .**

Damit der Grenzwert ausgehend vom personengruppenspezifischen Basisrisiko  $R_{iEBMa}$  ohne Umweg über das maximal zulässige jährliche Risiko  $R_{iEakzMa}$  berechnet werden kann, wird direkt das Verhältnis zwischen Basisrisiko  $R_{iEBMa}$  und arbeitszeitbezogenem Grenzwert  $R_{iEmaxMa}$  berechnet. Dieses Verhältnis wird als "Faktor a" bezeichnet.

$$a = \frac{R_{iE \max Ma}}{R_{iEBMa}} = \frac{4.93 \cdot 10^{-3}}{1.17 \cdot 10^{-3}} = 2.8$$

Dieser Faktor "a" von 2.8 dient somit der Herleitung des Grenzwertes des maximal zulässigen individuellen Risikos für Mitarbeitende. Der Grenzwert berechnet sich als Multiplikation von Basisrisiko  $R_{iEBMa}$  und Faktor a.

Der Faktor a kann auch wie folgt abgeleitet werden:

$$a = \frac{R_{iE \max Ma}}{R_{iEBMa}} = \frac{\frac{R_{iEakzMa} \cdot 8760}{2100}}{R_{iEBMa}} = \frac{\frac{R_{iEBMa} \cdot 0.67 \cdot 8760}{2100}}{R_{iEBMa}} = \frac{0.67 \cdot 8760}{2100} = 2.8$$

Es kann somit gezeigt werden, dass der Wert des Faktors  $a = 2.8$  unabhängig von der Grösse des Basisrisikos der Personengruppe  $R_{iEBMa}$  ist. So kann dieser Faktor auch für die Definition des Grenzwertes  $R_{iEmaxMa}$  für andere Personengruppen übernommen werden.

Bei der Beurteilung der individuellen Risiken des Personals besteht der Unterschied zwischen den Ergebnissen des expositionsdauerbasierten Ansatzes und des häufigkeitsbasierten Ansatzes in einem konstanten Faktor von 4.49. Aus diesem Grund kann das Verhältnis zwischen dem maximal zulässigen individuellen Risiko und dem Basisrisiko (Faktor a) auch für den häufigkeitsbasierten Ansatz zur Berechnung des Grenzwertes  $R_{iGr2}$  direkt übernommen werden.

## Fazit

Es konnte dargestellt werden, wie für Mitarbeitende ein Grenzwert für das maximal zulässige individuelle Risiko berechnet werden kann, der in einem analogen Verhältnis zum für Reisende zulässigen Risiko steht und gleichzeitig die höhere Selbstverantwortung der Mitarbeitenden berücksichtigt.

**Der arbeitszeitbezogenen Grenzwert für das maximal zulässige individuelle Risiko für Mitarbeitende entspricht dem mit dem Faktor  $a = 2.8$  multiplizierten Basisrisiko.**