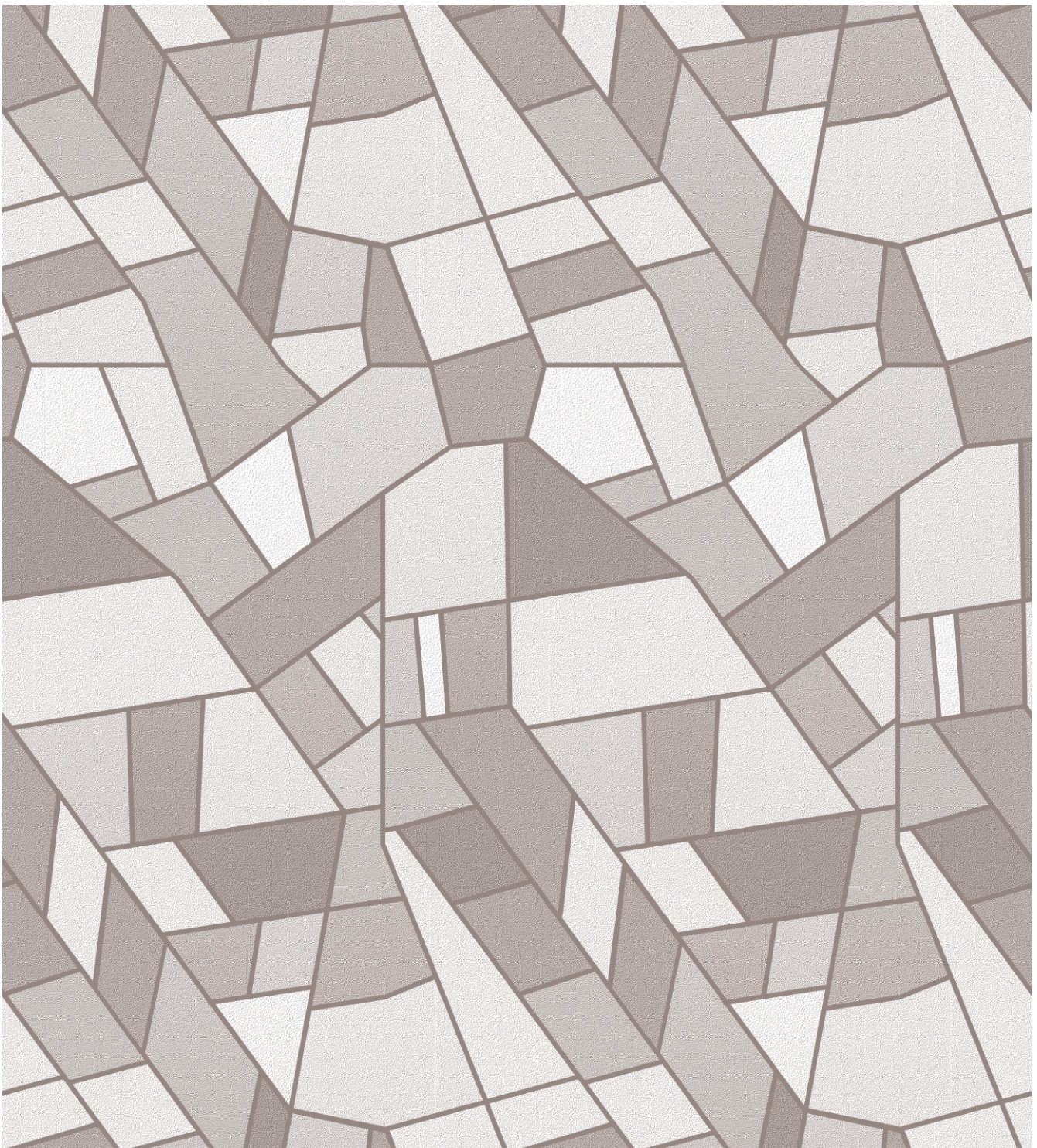


Aktualisierung Screening Personen- und Umweltrisiken 2018

Dokumentation Parameteraktualisierung
13. März 2020



Projektteam

Peter Locher
André Zehnder
Simon Ambühl

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

Druck: 10. Juni 2020
2020-03-13_Dokumentation_Parameteraktualisierung.docx
Projektnummer: 219155.00

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage und Zielsetzung	4
2.	Übersicht Parameteraktualisierung und methodische Anpassungen	5
3.	Aktualisierung ortsspezifischer Parameter	6
3.1	Gefahrgutmengen	6
3.2	Anzahl Reisezüge	9
3.3	Zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge	11
3.4	Abdeckung mit Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen	14
3.5	Exposition von Anwohnern und Personen an Arbeitsplätzen	17
3.6	Exposition von Reisenden in Perron- bzw. Bahnhofbereichen	17
3.7	Weichendichte	19
4.	Aktualisierung methodischer Parameter	23
4.1	Einleitung	23
4.2	Einflussgrößen auf die Häufigkeit von Freisetzungen	24
4.2.1	Trends Bahnunfälle und Freisetzungsraten	24
4.2.2	Einfluss Höchstgeschwindigkeit auf Freisetzungshäufigkeit	27
4.2.3	Einfluss Weichendichte auf die Freisetzungsraten	28
4.2.4	Zusammenfassung Freisetzungsraten	30
4.3	Berücksichtigung Höchstgeschwindigkeit beim Leitstoff Chlor	31
5.	Quellen	32

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Das IT-Tool TgG 2.1 [1] ist ein wichtiges Instrument, um die Risiken infolge des Gefahrguttransports auf Normalspurstrecken auf Stufe Kurzbericht zu ermitteln. Das untersuchte Netz (vgl. Abbildung 1) setzt sich aus 16'810 Streckenabschnitten zusammen, die in der grossen Mehrzahl der Fälle eine Länge von je 100 m aufweisen (aus historischen Gründen als Subelemente bezeichnet). Die umfangreichen Daten, die jedem Subelement zugeordnet sind, bedürfen einer periodischen Aktualisierung. Eine letzte umfassende Aktualisierung der Attribute, welche für die Ermittlung der Personenrisiken erforderlich sind, wurde im Jahr 2011 vorgenommen mit den aktuellsten, im Jahr 2010 verfügbaren Daten («Screening 2011», vgl. [2]). Seither wurden einzelne wenige wichtige Attribute (Gefahrgutmengen, Exposition von Anwohnern und Personen an Arbeitsplätzen) aktualisiert, letztmals im Jahr 2016 mit Daten für das Jahr 2014 («Screening 2014»).

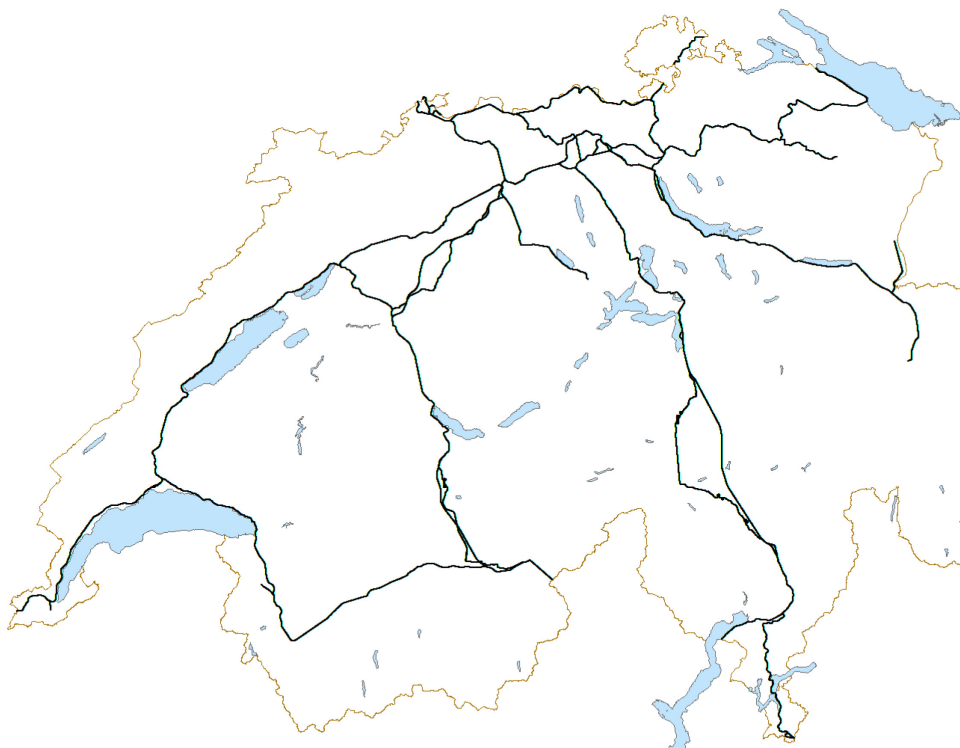


Abbildung 1: *Aktuelles Screening-Netz (gegenüber dem Stand aus dem Jahr 2011 kam 2016 die Gotthard-Basislinie sowie eine Strecke im Kanton Aargau dazu)*

Das BAV setzte sich das Ziel, im 2019 alle ortsspezifischen und methodischen Parameter, welche für die Ermittlung der Personenrisiken wichtig sind, mit Daten aus dem Jahr 2018 oder 2019 zu aktualisieren; dieses Projekt wird nachfolgend als «Aktualisierung Personenscreening 2018» bezeichnet.¹ Mit der Durchführung wurde die Firma EBP beauftragt. Der vorliegende Bericht

¹ Für die Ermittlung der Umweltrisiken wurden – neben einigen gemeinsam verwendeten Parametern – die Gefahrgutmengen angepasst. Andere Umweltparameter, die z.B. die Exposition von Grundwasserfassungen oder Oberflächengewässern charakterisieren, wurden nicht aktualisiert.

beschreibt das Vorgehen und stellt einzelne Ergebnisse der Datenaktualisierung in GIS-Abbildungen dar.

2. Übersicht Parameteraktualisierung und methodische Anpassungen

Gemäss den Vorgaben des BAV sind die folgenden ortsspezifischen Parameter (auch als Attribute bezeichnet) auf allen Subelementen des Screeningnetzes zu aktualisieren:

- Gefahrgutmengen (Gesamte Nettotonnage und gewichtete Mengen pro Leitstoff),
- Anzahl Reisezüge,
- Zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge,
- Abdeckung mit Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen (HFO),
- Exposition von Anwohnern und Personen an Arbeitsplätzen,
- Exposition von Reisenden in Perron- bzw. Bahnhofbereichen,
- Weichendichte (wobei zwei unterschiedliche Definitionen für diesen Begriff zu erarbeiten sind, die sich in der Länge des Streckenabschnitts unterscheiden, innerhalb dessen Weichen berücksichtigt werden).

Das Vorgehen zur Aktualisierung dieser Parameter ist in Kapitel 3 dokumentiert.

In Bezug auf die Methodik, die für das Personenscreening 2011 in [3] dokumentiert ist sollen folgende Aktualisierungen vorgenommen werden, vgl. dazu Kapitel 4:

- Einbezug der Daten zu Störfällen und Bahnunfällen aus den Jahren 2011 – 2018 mit dem Ziel, über eine Trendanalyse die aktuellen Werte für die Freisetzungshäufigkeit pro Leitstoff zu ermitteln (als normierte Häufigkeiten pro Kesselwagen-km)
- Anpassungen, die sich aus der Berücksichtigung der örtlich zulässigen Geschwindigkeit für Güterzüge sowie angepassten Werten für die Weichendichte ergeben.
- Berücksichtigung der Geschwindigkeitsbeschränkung von vollen Kesselwagen zum Transport von elementarem Chlor (UN 1017) auf 40 km/h, die seit 2019 netzweit gilt.

3. Aktualisierung ortsspezifischer Parameter

3.1 Gefahrgutmengen

Die Daten für die Aktualisierung der Gefahrguttransportmengen beziehen sich auf den Zeitraum vom 1.1. – 31.12.2018 und stammen aus den beiden folgenden Quellen:

- Strecken von SBB, BLS und der Hafenbahn Schweiz AG (HBS): Export aus dem System Anabel 2.0.² Jeder Datensatz bezieht sich auf eine von insgesamt 1'655 «Gefahrgutlinien». Diese sind definiert durch die (im allgemeinen benachbarten) Bahnbetriebspunkte an deren Beginn und Ende sowie die DfA-Linie. Ein Datensatz enthält pro Stoff – charakterisiert durch die UN-Nummer – die folgenden Attribute zur Charakterisierung des Gefahrguttransports auf der zugehörigen Gefahrgutlinie:

- Anzahl am Transport beteiligte Wagen (volle und leere)
- Nettotonnage (ohne Gewichtung)
- Zusätzlich gewichtete Nettotonnage, die jeweils den sechs Leitstoffen Benzin, Propan und Chlor (Personenrisiken) bzw. Mineralöl, Epichlorhydrin und Perchlorethylen (Umweltrisiken) zuzuordnen sind.

Ca. 5 Mio. t Gefahrgut, welche im System Anabel ausgewiesen sind, sind keiner Gefahrgutlinie zugeordnet und können deshalb im Screening nicht berücksichtigt werden. Da es sich lediglich um 8 Promille aller Fahrzeuge bzw. 5 Promille der gesamten Nettotonnage handelt, ist der damit verbundene Fehler klein.

- Strecken der Deutschen Infrastruktur auf Schweizer Hoheitsgebiet (Bundesbahnvermögen, DICH/BEV): Datensatz des BAV für insgesamt 8 Linien mit den Nettotonnagen pro UN-Nummer (keine Angaben zur Zahl der transportierten Wagen).

Die Aktualisierung der im Screening verwendeten Gefahrgutparameter (gesamte, ungewichtete Nettotonnage und gewichtete Tonnage pro Leitstoff) erfolgt in folgenden Schritten:

- Addition der gewichteten Mengen pro Gefahrgutlinie über alle UN-Nummern, die gemäss den Angaben aus Anabel 2.0 zu einem Leitstoff gehören. Für die 8 Linien aus dem DICH/BEV-Datensatz des BAV werden die Zuordnung bzw. die Gewichtungsfaktoren aus dem Screening 2011 verwendet.
- Zuordnung jeder Gefahrgutlinie zu den massgeblichen Subelementen basierend auf der DfA-Linie sowie dem Abstand (mittels GIS-Analysen).³

² Lieferung per E-Mail von Hr. Raimund Helfenberger, SBB-I, am 18.10.2019. Der Datensatz deckt das gesamte Normalspurnetz von SBB, BLS und HBS ab, also auch zahlreiche Strecken, die nicht Teil des Screeningnetzes sind.

³ Jedem möglichen Paar von Gefahrgutlinie und Subelement wird einer der beiden Werte 0 oder 1 zugeordnet, wobei 1 bedeutet, dass die Gefahrgutmengen dem jeweiligen Subelement zugeordnet werden.

Gehören mehrere Gefahrgutlinien zu einem Subelement, so werden die zugehörigen Gefahrgutmengen addiert.

- Aus den beiden obigen Zuordnungen lässt sich pro Subelement die gesamte Gefahrgutmenge (ungewichtet) sowie die sechs gewichteten Mengen pro Leitstoff erfassen.

Die Vollständigkeit bzw. Plausibilität der Gefahrgutmengen wurde wie folgt kontrolliert:

- Identifikation von Subelementen, denen keine Gefahrgutlinie zugeordnet werden konnte. Dabei zeigt sich, dass die obigen Quellen die folgenden Streckenabschnitte des Screeningnetzes nicht abdecken:
 - Les Paluds – Monthey (km 6.1 – 6.5 der Linie 131) und
 - km 9.8 – 10.2 der Linie 160 und km 10.3 – 11.1 der Linie 169 (beides Teile des Verbindungsbogens im südwestlichsten Bereich des RB Lausanne).

Mangels Daten wird angenommen, dass auf diesen Streckenabschnitten kein Gefahrgut verkehrt.

- Identifikation von Gefahrgutlinien im Datensatz der SBB, die keinem Subelement zugeordnet wurden. Über eine Visualisierung im GIS wurde bestätigt, dass diese nicht zum Screening-Netz gehören.⁴
- Prüfung auf offensichtlich unplausible Sprünge bei der gesamten Gefahrguttonnage sowie der Menge an Chlor (UN 1017)⁵ entlang von Strecken ausserhalb von Knoten. Auf den beiden folgenden Streckenabschnitten zeigten sich unplausible Werte:
 - Westlich von Sierre fällt die Gefahrgutmenge auf einem Abschnitt von einigen km auf 1/20 der Werte westlich bzw. östlich davon. Da es sich hier offensichtlich um einen Fehler in den Daten handelt, wird der Mittelwert zwischen den beiden benachbarten Gefahrgutlinien eingesetzt.
 - Auf der Linie 830 zwischen Bronschhofen und Bettwiesen beträgt die gesamte Gefahrgutmenge 214'000 t, auf der Verbindung zur Linie 850 bei Wil jedoch nur 3'400 t. Da die Menge auf einem isolierten, kurzen Abschnitt am Rande des Screeningnetzes nicht deutlich höher sein dürfte als auf dem Nachbarabschnitt, der die Verbindung zum restlichen Screeningnetz darstellt, werden für den Abschnitt Wil –

4 Dazu gehören auch die Linien 511 und 522 mit je etwa 0.7 Mio. t Gefahrgut, die durch den Rangierbahnhof Muttenz laufen. Diese gehören nicht zum Screeningnetz gemäss Anhang 1.2a StFV, so dass die zugehörigen Transportmengen nicht erfasst werden. Gefahrgutströme durch Rangierbahnhöfe (RB) werden nur dann berücksichtigt, wenn die zugehörigen Linien Teil des Screening-Netzes sind (dies gilt u.a. für die Rangierbahnhöfe Lausanne-Triage, Limmattal und Chiasso-Smistamento); sie werden jedoch nicht einer Linie zugeordnet, die ausserhalb des RB verläuft (z.B. der Linie 500 südlich des RB Muttenz).

5 Da Chlor nur an wenigen Orten innerhalb der Schweiz auf das Schienennetz zu- bzw. abgeführt wird, eignen sich die Chlorströme besonders gut für Plausibilitätskontrollen.

Bronschhofen dieselben (höheren) Werte wie für den Abschnitt Bronschhofen - Bettwiesen verwendet.

- Gemäss dem verwendeten Datensatz der SBB ändert die Gefahrgutmenge beim Bahnbetriebspunkt «Neuenhof» relativ stark (beim Leitstoff Benzin um etwa 120'000 t/J). Da dies unplausibel ist, wurde die Werte nördlich und südlich davon nochmals durch die SBB geprüft und korrigiert, so dass in den finalen Daten kein Sprung mehr vorhanden ist.
- Prüfung auf Konsistenz der Gefahrgutmengen im Schnittbereich der Netze von SBB und DICH/BEV Die Daten aus den beiden Quellen überlappen sich auf der Strecke zwischen dem Bahnhof Basel Bad und dem Bahnbetriebspunkt Gellert Nord unmittelbar südlich der Rheinbrücke. Die Gesamttonnage gemäss den Daten der SBB sind um ca. 20% höher als diejenigen des BAV. Im Sinne einer konservativen Herangehensweise werden dort die SBB-Werte verwendet. Zudem wird angenommen, dass im Bahnhof Basel Bad die gesamte Gefahrgutmenge nicht ändert.

Im Gegensatz zu früheren Screening wurde neu auch die Nettotransportmenge von elementarem Chlor (UN-Nummer 1017) erfasst, da für diesen Stoff als spezielle Massnahme aus der Gemeinsamen Erklärung II betreffend Chlortransporte in der Schweiz (vgl. [5]) seit 2019 auf dem gesamten Bahnnetz der Schweiz eine Beschränkung der Transportgeschwindigkeit auf 40 km/h gilt, was für die Ermittlung der Risiken relevant ist. Die Verwendung der Chlormenge für die Ermittlung der Risiken des Leitstoffs Chlor ist in Kapitel 4.3 beschrieben.

In Abbildung 2 sind die gesamten Nettotonnagen an gefährlichen Gütern dargestellt.

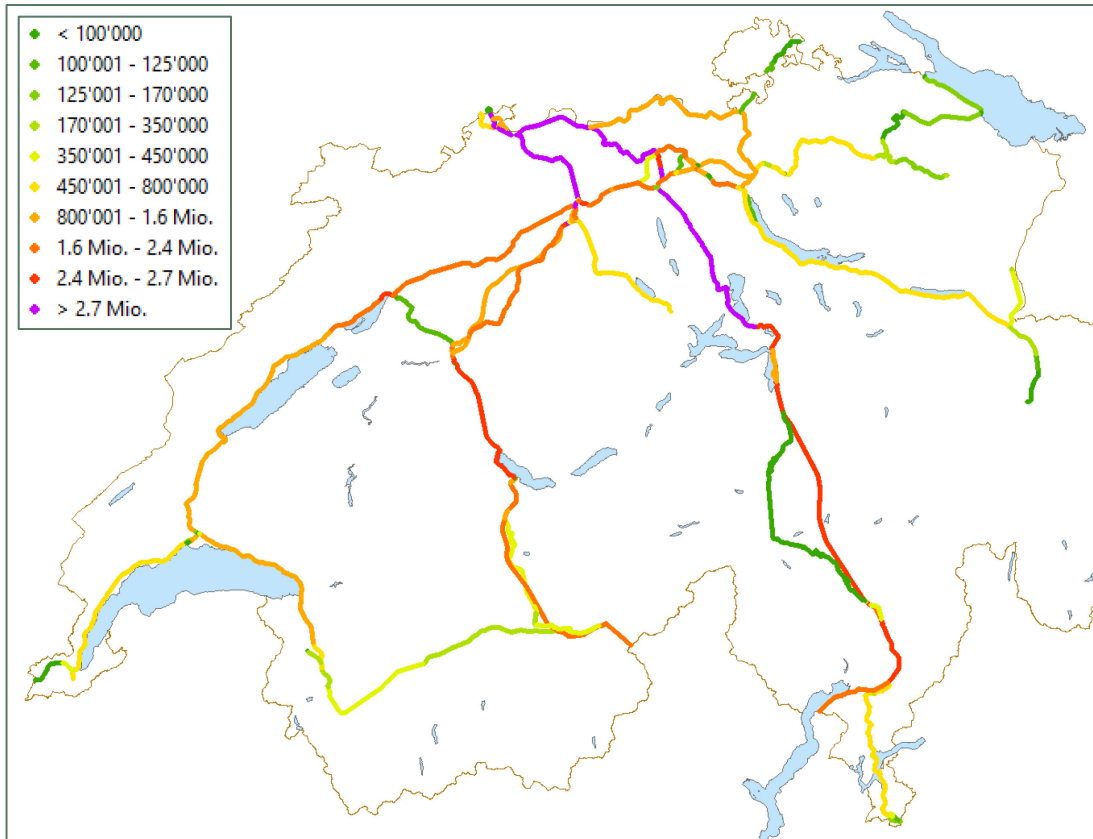


Abbildung 2: Gesamte Gefahrgutmenge im Jahr 2018 (Angaben in Nettotonnen)

3.2 Anzahl Reisezüge

Die Daten für die Aktualisierung der Anzahl Reisezüge beziehen sich auf das Jahr 2018 und stammen aus den folgenden Quellen:

- SBB-Strecken: Open-source-Datensatz auf <https://data.sbb.ch/explore/dataset/zugzahlen/> (heruntergeladen am 06.09.2019)
- BLS-Strecken: Die Daten wurden von der BLS Netz AG per Excel zur Verfügung gestellt (Datenstruktur analog zu den obigen SBB-Daten)⁶

In beiden Datensätzen ist die gesamte Zahl der im Jahr 2018 verkehrenden Züge aller EVU, welche Reisende transportieren (im Fernverkehr, Regionalverkehr, Autoverlad etc.) für Linien zwischen - im Allgemeinen benachbarten - Bahnbetriebspunkten festgehalten (im Gegensatz zu den Gefahrgutmengen jedoch ohne Angabe der DfA-Linie). Die Jahreswerte wurden mittels Division durch 365 auf einen mittleren Tag umgerechnet, da im Screening Tageswerte verwendet werden.

6 Zugestellt per E-Mail vom Erdal Bakan am 23.07.19.

Für folgende Linien standen keine elektronischen Daten aus obiger Quelle zur Verfügung, so dass die Daten zur Zahl der Reisezüge dem Fahrplan auf der Webseite der SBB entnommen wurden:

- Verbindung Furet – Jonction (Linie 154, Teil des direkten Wegs zwischen Genf-La Praille und Genf-Flughafen)
- Basel Bad – Abzweigung von der Linie 523 Richtung Weil am Rhein
- Basel Bad – Grenzach
- Schaffhausen Güterbahnhof – Thayngen
- Chur – Chur-West (nur RhB-Züge)

Auf folgenden Strecken des Screeningnetzes fehlen elektronische Daten zum Reisezugverkehr in den obigen Quellen; aufgrund von deren Lage und Informationen im Fahrplan kann davon ausgegangen werden, dass keine Reisezüge verkehren:

- Rangiergleise in den Rangierbahnhöfen Lausanne-Triage, Limmattal, Chiasso und Genf⁷
- Abzweigung der Linie Richtung Weil am Rhein - Basel Kleinhüningen Hafen (Teil der Linie 523)
- Basel SBB RB - Basel Auhafen (Linie 525)
- Verbindung Killwangen-West – Würenlos

Die Zuordnung der Reisezugzahlen zu den Subelementen erfolgte grundsätzlich analog wie bei den Gefahrgutmengen, nämlich mit Hilfe einer GIS-Analyse.

Die auf das Jahr 2018 aktualisierte Zahl der Reisezüge entlang des Screeningnetzes ist in Abbildung 3 visualisiert.

⁷ Wo für Gleise durch Rangierbahnhöfe Werte verfügbar waren (z.B. RB Biel), wurden diese übernommen. Die Zahl der RZ-Fahrten ist in diesen Fällen jedoch durchwegs äusserst klein.

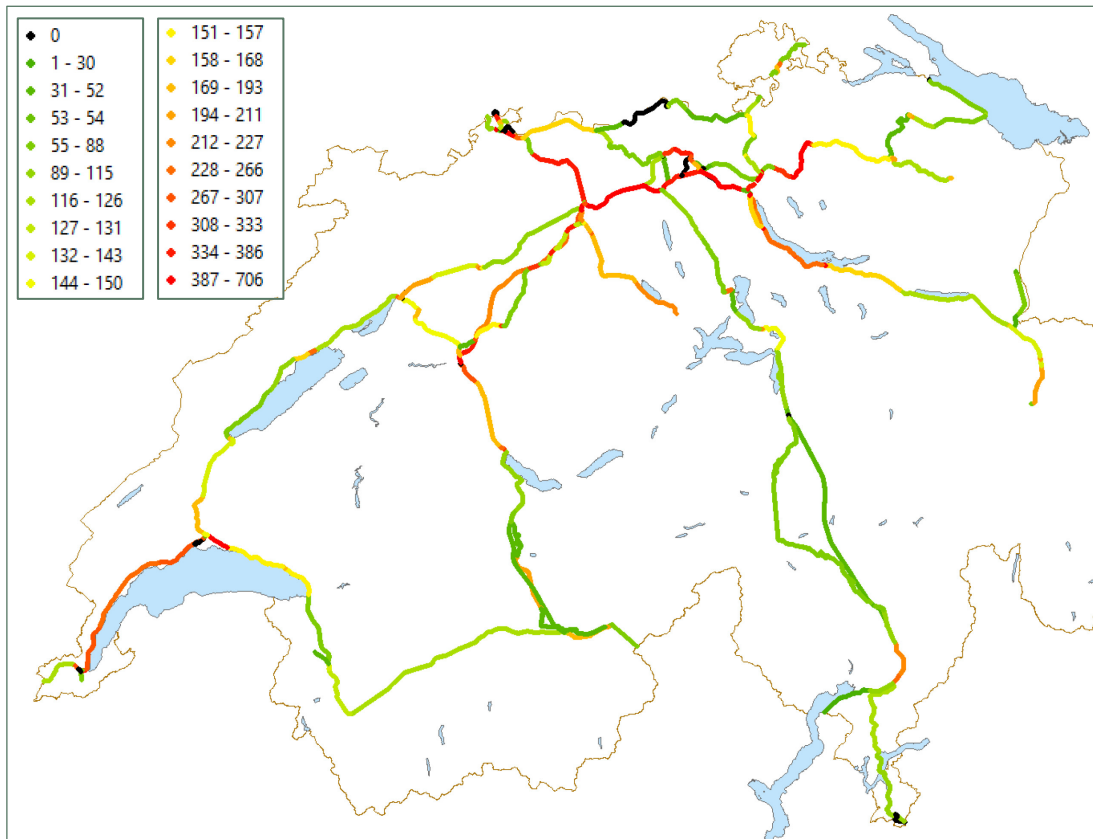


Abbildung 3: Anzahl Reisezugfahrten auf dem Screening-Netz im Jahr 2018 (Mittelwert pro Tag)

3.3 Zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge

Im Screening 2018 soll erstmals für das gesamte Screeningnetz die örtlich zulässige Höchstgeschwindigkeit von Güterzügen ermittelt und der Risikoberechnung zugrunde gelegt werden. Folgende Datenquelle mit den aktuell gültigen Werten wurde nach Rücksprache mit der SBB verwendet, welche sowohl die Strecken der SBB als auch der BLS umfasst:

- Zuglaufrechnungs-Toolbox (ZLR-Toolbox) in der Version 3.7.20 vom Oktober 2019.
- Das verwendete Tool innerhalb dieser Toolbox heisst «Fahrwegsuche NeTS»⁸
- Massgebender Datensatz: Geschwindigkeit der Kategorie «Kombi GV», separat für Hin- und Rückrichtung.

Die Daten wurden im November 2019 linienweise (d.h. zwischen Bahnbetriebspunkten am Anfang und am Ende einer DfA-Linie) direkt aus der SBB-Toolbox heruntergeladen und enthielten u.a. folgende Attribute:

- DfA-Linie,

8 NeTS: Network-wide Track Management System

- Fahrtrichtung,
- Maximale Geschwindigkeit für Bremsreihe A und Bremsverhältnis 95% (Vielfache von 5 km/h, Werte zwischen 25 und 140 km/h),
- DfA-km, bis zu dem diese Geschwindigkeit Gültigkeit hat.

Da die Subelement-Mittelpunkte durch DfA-Linie und DfA-km charakterisiert sind, können die zutreffenden Werte pro Fahrtrichtung grundsätzlich direkt einem Subelement zugeordnet werden. Da zu einer Linie im Screeningnetz oftmals noch weitere, parallel verlaufende Linien gehören, sind in Knoten teilweise mehrere unterschiedliche Geschwindigkeiten pro Fahrtrichtung dem gleichen Subelement zuzuordnen. Um einem Subelement in allen Fällen unabhängig von der Fahrtrichtung lediglich eine Geschwindigkeit zuzuordnen, wird wie folgt vorgegangen:

- Über alle Geschwindigkeitswerte wird der tiefste, der mittlere und der höchste Wert ermittelt.
- Der für die Risikoberechnung gemäss Screening-Methodik verwendete Wert (einer aus der Liste 30 / 40 / / 90 / 100 km/h), wird in Abhängigkeit dieser drei Werte gemäss Tabelle 1 zugeordnet. Dabei werden insbesondere Werte über 100 km/h auf diesen reduziert, da Güterwagen in «normalen» gemischten Güterzügen bzw. in Gefahrgut-Ganzzügen nur für eine Geschwindigkeit von 100 km/h zugelassen sind.

Bei fehlenden Werten wurde wie folgt vorgegangen:

- Kurze Endstücke von SBB- oder BLS-Stecken (nur wenige Subelemente): Übernahme des Werts vom benachbarten Subelement.
- Strecken der DICH/BEV: Annahme einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (da keine Angaben verfügbar sind).

Die Auswertung zeigt, dass für 71% des Netzes eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h resultiert. Lediglich 2.5% des Netzes weisen einen Wert von 60 km/h oder tiefer aus (vgl. Abbildung 4).

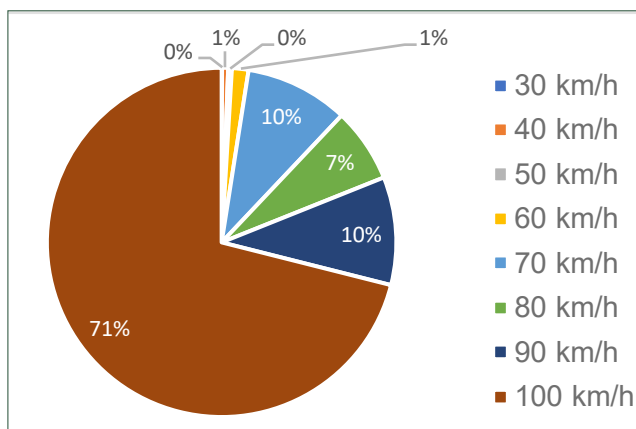


Abbildung 4: Verteilung der Anzahl Subelemente (bzw. der Länge des untersuchten Screening-Netzes) nach Geschwindigkeitsklassen. Geschwindigkeiten im Bereich des Höchstwerts von 100 km/h, für die «normale» Güterwagen zugelassen sind, kommen klar am häufigsten vor.

v _{max} Minimum	v _{max} Maximum	v _{max} Mittelwert	v _{max} Screening	Anz. betroffene Subelemente
30	60	45	40	8
30	95	70	70	7
35	35	35	30	2
40	60	46,7	50	5
40	60	50	50	17
40	75	58,8	60	1
40	80	56,7	60	5
40	80	60	60	2
40	90	56,7	60	1
40	115	94,5	90	3
40	120	80	80	1
50	60	55	50	3
50	120	85	80	8
50	120	89,5	90	3
55	55	55	50	26
55	80	71,25	70	350
55	115	95	90	1
55	120	93,9	90	2
60	65	62,5	60	1
60	70	65	60	3
60	75	67,5	70	6
60	80	70	70	5
60	85	72,5	70	1
60	85	76,7	80	11
60	95	77,9	80	2
60	115	86,7	90	2
65	65	65	60	13
65	65	65	60	25
65	90	83,3	80	1
65	90	83,75	80	8
65	95	80	80	29
65	95	81	80	3
70	75	72,5	70	14
70	105	78,75	80	3
70	140	96,9	100	1
75	75	75	70	165
75	75	75	70	827
75	75	75	70	12
75	75	75	70	5
75	80	77,5	80	7
75	85	78,3	80	58
75	85	80	80	80
75	85	80	80	1
75	95	81,7	80	4
75	105	90	90	3
75	115	90	90	1
75	115	95	90	11
75	115	101,7	100	1
75	120	97,5	100	1
75	120	103,3	100	4
75	120	105	100	13
75	140	102,5	100	5
80	90	85	80	17
80	100	90	90	3
80	110	95	90	3
80	120	99,2	100	152
80	120	100	100	1
80	120	100	100	1
85	85	85	80	32
85	85	85	80	332
85	85	85	80	47
85	85	85	80	11
85	90	87,5	90	57
85	90	88,3	90	1
85	95	90	90	10
85	100	92,5	90	16
85	100	93,3	90	6
85	105	95	90	26
85	110	93,75	90	7
85	110	95	90	8
85	110	97,5	100	5
85	110	100	100	5
85	120	102,5	100	31
85	140	108,75	100	2
90	95	92,5	90	69
90	95	93,3	90	1
90	100	95	100	44
90	105	97,5	100	4
90	105	97,5	100	11
90	110	95	100	4
90	110	100	100	2
90	115	102,5	100	8
90	120	101,7	100	1
90	120	105	100	12
95	95	95	90	3
95	95	95	90	982
95	95	95	90	1
95	95	95	90	42
95	100	97,5	100	229
95	105	100	100	30
95	110	102,5	100	1
95	115	105	100	14
95	120	107,5	100	3
≥ 100	(irrelevant)	(irrelevant)	100	11'133

Tabelle 1: Mindest-, Maximal- und Mittelwert für die lokale Höchstgeschwindigkeit von Güterzügen bei Subelementen mit mehreren Werten (alle Werte in km/h) und zugeordneter Wert für das Screening. Die letzte Spalte zeigt die Zahl der Subelemente, für welche diese Zuordnungsregel gilt. Triviale Fälle (alle drei Werte in den ersten drei Spalten gleich und Vielfache von 10 km/h) sind nicht dargestellt.

Die für das Screening verwendete Höchstgeschwindigkeit ist in Abbildung 5 visualisiert.

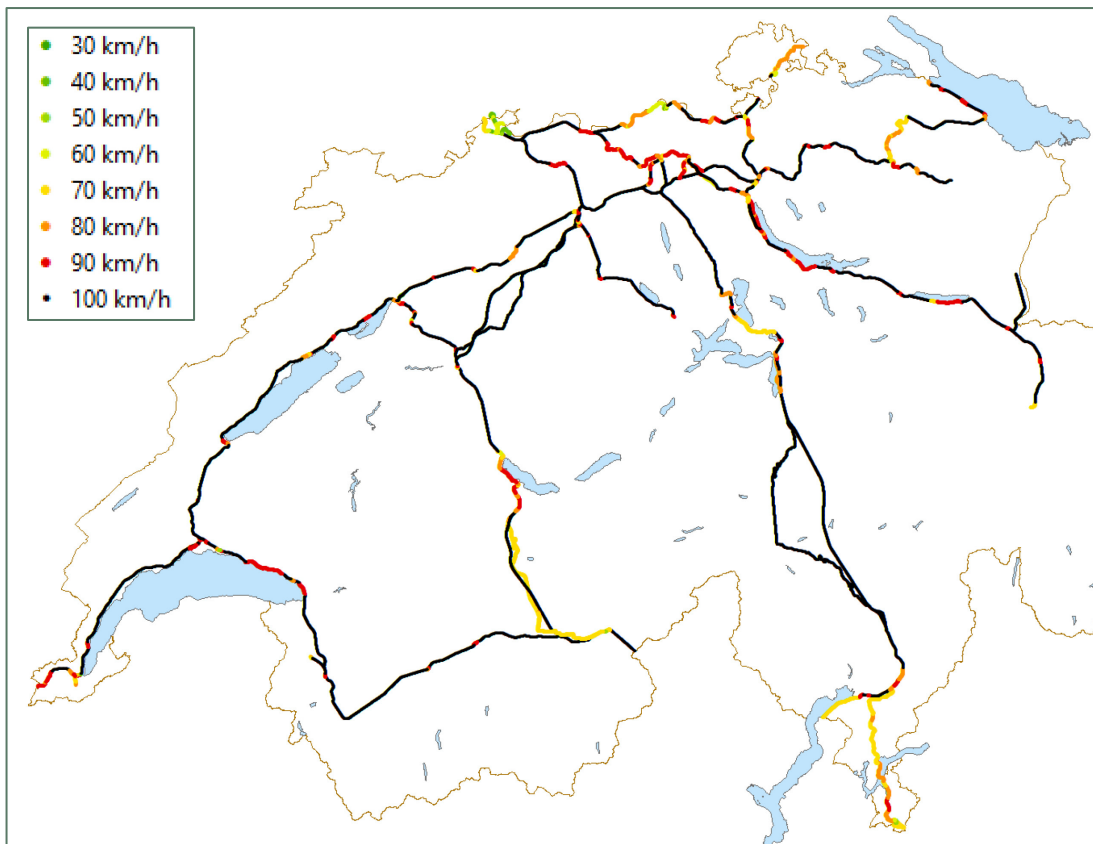


Abbildung 5: Maximale Geschwindigkeit von Güterzügen entlang des Screeningnetzes (Werte für Ermittlung der Risiken, mit Ausnahme von Chlor (UN 1017), für das eine Ausnahmeregelung mit $v_{max} = 40$ km/h gilt)

Ein Spezialfall stellt der Leitstoff Chlor dar, da Chlortransporte (UN-Nr. 1017) mit $v_{max} = 40$ km/h transportiert werden müssen, während für die restlichen Stoffe keine stoffspezifische Geschwindigkeitsbeschränkung gilt. Wie die unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten beim Leitstoff Chlor bei der Ermittlung der Risiken berücksichtigt werden, wird in Kapitel 4.2.3 dargestellt.

3.4 Abdeckung mit Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen

Stand Sommer 2019 sind auf dem Netz der SBB bzw. der BLS an insgesamt 53 Standorten Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen (HFO) installiert (vgl. Abbildung 6). An alle Standorten werden sämtliche Hauptgleise und damit auch alle Fahrrichtungen abgedeckt. Die Strecken der DICH/BEV weisen keine solchen Anlagen auf.

Um die in der Screening-Methodik verwendete Abdeckung durch HFO zu berücksichtigen, werden ausgehend von einem Subelement in beiden Fahrrichtungen die Distanz zur jeweils nächsten HFO mittels GIS ermittelt und vorgegebenen, gegenüber dem letzten Screening unveränderten Abstands-klasse zugeordnet. Fehlt in einer Fahrrichtung eine HFO bis zur Schweizer

Grenze, so wird die zugehörige Distanz der höchsten Abstandsklasse (entsprechend der schlechtesten Abdeckung durch HFO) zugeordnet; d.h. HFO anderer Bahnen im Ausland werden nicht berücksichtigt.⁹ Dies führt dazu, dass für Strecken aus dem Ausland in Grenznähe, d.h. bis zur ersten HFO, immer die schlechtest mögliche HFO-Abdeckung zugeordnet wird.¹⁰



Abbildung 6: Standorte der total 53 HFO auf dem Netz der SBB bzw. der BLS (schwarze Dreiecke) entlang des braun dargestellten Screeningnetzes

Die Ergebnisse der GIS-Analyse wurden auf ihre Plausibilität geprüft und bei Bedarf angepasst. Die für das Screening 2018 verwendeten Abdeckungsklassen sind in Abbildung 7 (Richtung mit der besten Abdeckung) und Abbildung 8 (Richtung mit der ungünstigsten Abdeckung) dargestellt.

9 Die HFO der SBB in der Nähe von Domodossola wird jedoch berücksichtigt.

10 Gleiches gilt für Screening-Strecken, die innerhalb der Schweiz beginnen.

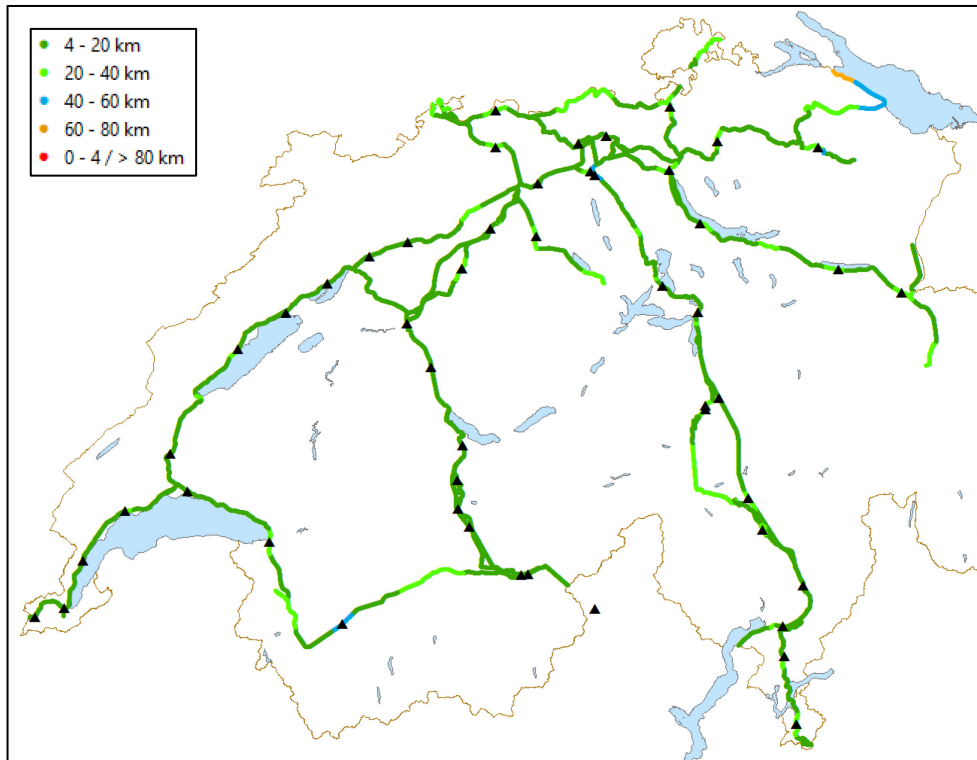


Abbildung 7: Abstandsklasse zwischen einem Subelement und der nächsten HFO

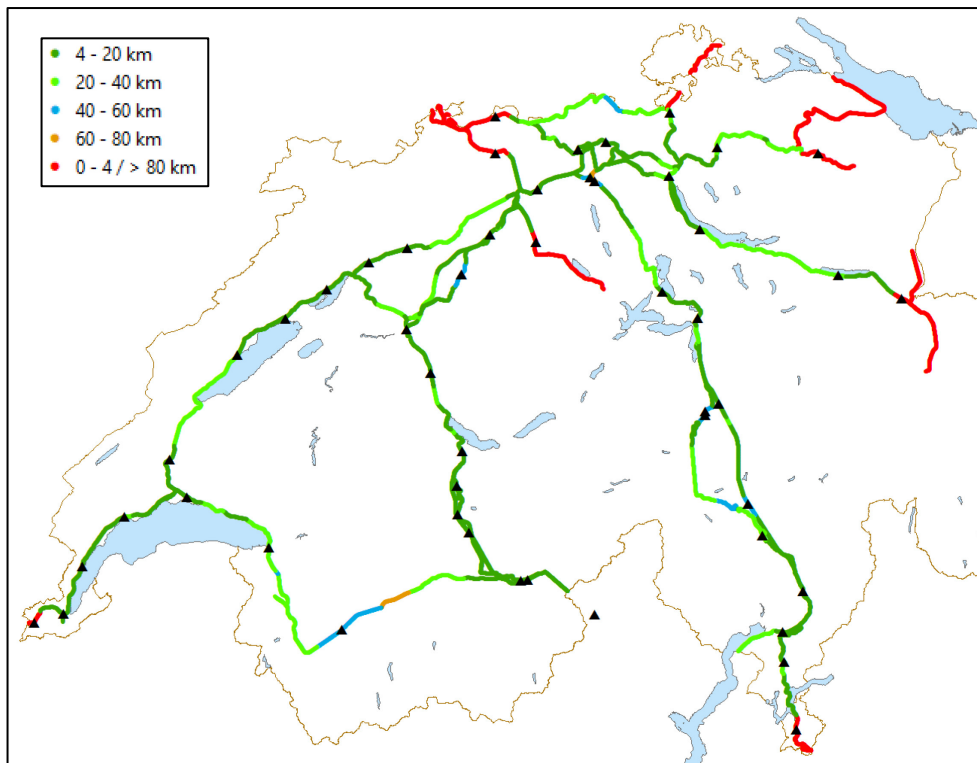


Abbildung 8: Abstandsklasse zwischen einem Subelement und dem HFO-Standort für die im Vergleich zur Darstellung in Abbildung 7 andere Fahrtrichtung (d.h. grösserer Abstand zur nächsten HFO und damit schlechtere (oder gleiche) Abdeckung)

3.5 Exposition von Anwohnern und Personen an Arbeitsplätzen

Die Daten für die Aktualisierung der Exposition von Anwohnern bzw. Personen an Arbeitsplätzen basieren auf den aktuellsten, gebäudescharf georeferenzierten Daten, die seitens des Bundesamt für Statistik per Oktober 2019 verfügbar waren. Folgende Quellen wurden verwendet:

- Anwohner: STATPOP 2017, d.h. Stand per 31.12.2017. Erfasst sind die Zahl der Anwohner für jedes von insgesamt 1.538 Mio. Gebäude
- Arbeitsplätze: STATENT 2015, d.h. Stand gemäss Betriebsbefragung im Jahr 2015 (provisorische Werte)¹¹. Erfasst sind die gesamte Zahl der beschäftigten Personen sowie die zugehörige Zahl der Vollzeit-Äquivalenten für ca. 676'000 Betriebsstätten.

Mittels GIS werden für jedes Subelement die Zahl der Anwohner sowie der Arbeitsplätze (in Vollzeit-Äquivalent) in radialen Abständen von 0 – 50, 50 – 250, 250 – 500 und 500 – 2'500 m um dessen Mittelpunkt ermittelt. Die Ergebnisse werden durch die zugehörige Fläche dividiert und so eine Personendichte (in Pers./km²) ermittelt. Die resultierenden Werte werden in den folgenden Fällen angepasst:

- Falls die berechnete Dichte der Arbeitsplätze (ausgedrückt in Vollzeit-Äquivalenten) im Abstandsbereich von 0 – 50 m den Grenzwert von 50'000 Pers./km² überschreitet, so wird der Wert 50'000 Pers./km² verwendet (dies betrifft insgesamt 9 Subelemente).¹² Werte über 50'000 Pers./km² sind unplausibel und in der Regel die Folge von Arbeitsplatzzahlen, die lediglich einem Gebäude zugeordnet sind, sich aber in Tat und Wahrheit über mehrere verschiedene Betriebsstätten einer Firma (im Allgemeinen in der gleichen Stadt oder Ortschaft) verteilen.
- Da Daten zu Anwohnern bzw. Arbeitsplätzen im Ausland fehlen, werden die ermittelten Daten in Grenznähe (Abstand < 500 m zur Grenze) plausibel korrigiert. Dies wurde lediglich im Raum Basel gemacht, da nur dort in einem Abstand bis 500 m ausländische Gebiete mit relativer starker Besiedlung und einem signifikanten Beitrag zur Personendichte vorkommen.

3.6 Exposition von Reisenden in Perron- bzw. Bahnhofbereichen

Im Screening 2011 wurde die Zahl der Personen, die sich in Bahnhof- bzw. Perronbereichen aufhalten, über die mittlere Zahl der täglichen Einsteiger, Aussteiger und Umsteiger abgeschätzt, zu welchen separate Zahlen vorlagen.

¹¹ Erfahrungsgemäss unterscheiden sich die definitiven Werte, die erst deutlich später publiziert werden, nicht wesentlich von den zuerst publizierten provisorischen Werte, so dass die Qualität der provisorischen Werte als sehr gut bezeichnet werden kann.

¹² Zum Vergleich: Die höchste Dichte an Anwohnern im Bereich 0 – 50 m beträgt ca. 41'000 Pers./km². Die Werte für die anderen Abstandsbereiche sind durchwegs kleiner, da die zugrundeliegende Fläche grösser ist und sich eine falsche bzw. ungenaue Georeferenzierung von Anwohnern oder Arbeitsplätzen weniger stark auswirkt.

Die Daten für die Aktualisierung der Exposition von Reisenden in Bahnhof- bzw. Perronbereichen basieren auf Angaben zu den Ein- und Aussteigern pro Bahnhof im Jahr 2018 (bezeichnet als DTV). Diese Daten werden aus Befragungen bzw. Zählungen von Reisenden in Zügen hinsichtlich Start und Ziel ihre Reise abgeleitet. Die verwendeten Daten stammen aus den folgenden Quellen:

- Strecken von SBB: Open-source-Datensatz auf <https://data.sbb.ch/explore/dataset/passagierfrequenz/> (Auszug aus der «Ein-Aussteiger Datenbank», heruntergeladen im September 2019)
- BLS-Strecken: Die Daten für die Bahnhöfe der BLS Netz AG wurden per Excel zur Verfügung gestellt¹³

Die Datenstruktur beider Datensätze ist identisch und beinhaltet pro Bahnhof bzw. Haltestelle das Jahresmittel der täglichen Ein- und Aussteiger im Jahr 2018. Die Ein- und Aussteiger liegen dabei kumuliert vor. Der Datensatz beinhaltet auch umsteigende Personen, die sowohl bei den Aus- als auch den Einsteigern erfasst werden.

Für das Screening wird eine mittlere Zahl von Personen benötigt, die sich gleichzeitig in einem Bahnhof bzw. auf dessen Perrons aufhalten. Um eine solche Zahl für den Tag bzw. die Nacht abzuleiten, wird wie folgt vorgegangen bzw. folgende Annahmen getroffen:

- 75% der Reisenden sind tagsüber zwischen 0700 und 1900 Uhr unterwegs, 25% während den Nachtstunden.¹⁴ Dies bedeutet, dass sich tagsüber im Mittel dreimal so viele Personen gleichzeitig in einem Bahnhof aufhalten wie nachts.
- Ein- bzw. Aussteiger halten sich im Mittel 4 Minuten in einem Bahnhof auf.¹⁵
Ausnahme: Für die 20 Bahnhöfe mit dem höchsten Aufkommen an Ein- und Aussteigern (Zürich HB, Bern, Basel SBB, Winterthur, Lausanne, Zürich Oerlikon, Olten, Bern, Genf, Zürich Hardbrücke, Biel/Bienne, St. Gallen, Aarau, Zürich Altstetten, Thun, Baden, Neuchâtel, Chur, Lenzburg, Brugg AG) wird ein doppelt so hoher Wert verwendet, um den längeren Wegen sowie gelegentlichen Einkäufen im Bahnhofbereich Rechnung zu tragen.
- Die mittlere Zahl von Personen, die sich gleichzeitig in einem Bahnhof bzw. Perronbereich *i* aufhalten, kann dann für den Tag wie folgt ermittelt werden:

$$n_{\text{Pers},i} = \frac{3}{4} \cdot \text{DTV}_i \cdot t_{\text{Aufenthalt}} / t_{\text{Tag}} \quad ^{16}$$

¹³ Zugestellt per E-Mail vom Erdal Bakan am 23.07.19.

¹⁴ Quelle: BFS, ARE - Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV), Tagesganglinie für den Bahnverkehr, abgeleitet aus einer Befragung von 57'000 Personen im Jahr 2015.

¹⁵ Beim Screening 2011 [3] wurden folgende Annahmen getroffen für die mittlere Aufenthaltsdauer in Bahnhöfen: Einsteiger: 5 Min., Aussteiger: 2 Min., Umsteiger: 10 Min. Die 4 Minuten entsprechen einem gewichteten Mittelwert.

¹⁶ Erklärung: Faktor $\frac{3}{4}$: DTV-Anteil tags, $t_{\text{Aufenthalt}}$: mittlere Aufenthaltsdauer in einem Bhf. (8 Min.), t_{Tag} : Dauer des Zeitabschnitts «Tag», d.h. 12*60 Min. Der Quotient $t_{\text{Aufenthalt}}/t_{\text{Tag}}$ entspricht der

- Die Personendichten pro Subelement werden wie folgt zugeordnet:
 - Analog zu Anwohnern und Arbeitsplätzen wird nach den 4 Abstandsbereichen 0 – 50, 50 – 250, 250 – 500 und 500 – 2'500 m unterschieden.
 - Der Anteil am DTV, der einem Subelement und einem Abstandsbereich zugeordnet wird, ist gleich dem Flächenanteil aller Perronbereiche im entsprechenden Abstandsbereich vom Subelementmittelpunkt. Dazu wurde eine GIS-Analyse durchgeführt unter Verwendung eines Datensatzes, welcher alle Perronflächen von Bahnhöfen der SBB (und teilweise der BLS) enthält.
 - Die Personenzahlen pro Subelement und Abstandsbereich werden in Dichten umgerechnet und bei den Attributen, die im Tool TgG 2.1 (bzw. in den Excel-Tabellen nach einem Download der Inputdaten bzw. der Ergebnisse) die Bezeichnungen «Zus_Pers._tags_x_ym» bzw. «Zus_Pers._nachts_x_ym» haben (Kurzbezeichnung für «zusätzliche Personen» tags bzw. nachts) eingetragen.
 - Im Weiteren wird angenommen, dass sich sowohl tags bzw. nachts 10% der Personen in einem Gebäude aufhalten bzw. anderweitig vor Störfallwirkungen geschützt sind, d.h. für den Parameter «Anteil Zusatzpersonen in Gebäuden» wird unabhängig vom Bahnhof 10% eingesetzt.

Für die drei Bahnhöfe Basel Bad, Herblingen und Thayngen standen aus den obigen Quellen keine Daten zur Zahl der Ein- bzw. Aussteiger zur Verfügung, da diese sich nicht im Zuständigkeitsbereich von Schweizer Bahnen befinden. Als Schätzwerte werden Zahlen für Bahnhöfe herangezogen, die eine vergleichbare Zahl von haltenden Zügen aufweisen. Unterschieden in der Zahl der haltenden Züge wird über einen Korrekturfaktor Rechnung getragen. Folgende Referenzbahnhöfe und Korrekturfaktoren werden verwendet:

- Basel Bad: Pratteln, Korrekturfaktor 0.7¹⁷
- Herblingen und Thayngen: Münsterlingen-Scherzingen, Korrekturfaktor je 1.2

3.7 Weichendichte

Die Daten für die Aktualisierung der Weichendichte stammen aus der DfA. Ein Datensatz mit Stand Juli 2019 wurde am 17.7.2019 von der SBB in Form einer csv-Datei per Mail geliefert. Die entsprechenden Daten für das BLS-Netz wurden von der gleichen Stelle aufbereitet und nach Kontrolle durch

Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Reisender zufällig zum Zeitpunkt eines Ereignisses im Bhf. bzw. auf einem Perron aufhält.

17 Der Korrekturfaktor 0.7 bedeutet, dass im Bahnhof Basel Bad die Zahl der haltenden Reisezüge 70% des Werts in Pratteln ausmachen. Folglich wird die Zahl der Reisenden in Basel Bad zu 70% des Werts für Pratteln eingesetzt.

die BLS am 21.7.2019 geliefert. Die Daten enthalten alle Weichen auf Hauptgleisen¹⁸ mit den zugehörigen X- und Y-Koordinaten.¹⁹ Für die Strecken der DICH/BEV wurden Luftbilder auf map.geo.admin.ch herangezogen, um die Lage von Weichen zu identifizieren.

Im Screening 2011 wurde die Weichendichte ausgewertet, indem die Zahl der Weichen in einem kreisförmigen Abstand von 150 vom Mittelpunkt jedes Subelements ermittelt wurde. Dies hat den Nachteil, dass die so ermittelte Zahl von Weichen in Bahnhofsbereichen mit vielen parallelen Gleisen systematisch höher liegt als die Zahl der Weichen längs eines typischen Fahrwegs von Güterzügen (bzw. Gefahrgutzügen). Aus diesem Grund wird die Auswertung für das Screening 2018 anders vorgenommen. Der Ansatz ist folgender:

- Es wird angenommen, dass die DfA-Linie in vielen Fällen eine gute Näherung an den effektiven Fahrweg darstellt.
- Entlang der DfA-Linien, die das Screening-Netz bilden, werden Korridore (Buffer) mit einer Breite von je 5 m beidseits der DfA-Linie gebildet. Ausgewertet wird pro Subelement dann die Zahl der Weichen, welche in diesem Korridor liegen und zudem nicht weiter als 150 m vom Mittelpunkt eines Subelements entfernt sind.
- Angesichts der Unschärfe, über welche Distanz die Lage von Weichen mit der Örtlichkeit von Bahnunfällen korreliert, wird zudem auch ein Abstandsbereich von +/- 500 m ausgewertet (bei gleicher Breite des Korridors um die DfA-Linien)²⁰.

Die nachfolgende Abbildung 9 illustriert die Auswertung der Weichendichte am Bsp. des Bahnhofs Basel SBB.

Eine statistische Auswertung der ausgewerteten Zahl von Weichen in den beiden oben definierten Abstandsbereichen ist in Tabelle 2 dargestellt. Ebenfalls angegeben ist eine Gliederung in drei Klassen (als Weichendichte bezeichnet). Die Klassenbildung erfolgt – qualitativ gesehen - analog wie im Screening 2011 auf Basis der drei Klassen «keine Weichen», «mittlere » und «hohe Weichendichte». Mit zunehmender Weichendichte nimmt die Zahl der zugehörigen Subelemente ab.

¹⁸ Gemäss Aussagen von Frau D. Winklehner (SBB I-AT-FW-SAFB-DMR) hat seit dem letzten Screening die Definition von Hauptgleisen geändert. Dieses wurde ausgedehnt und umfasst heute auch Gleise zu den Rangierfeldern, die früher als Nebengleise eingestuft waren. Die Zahl der Weichen auf Hauptgleisen wurde somit auch höher.

¹⁹ Die weiteren Attribute (Weichen-ID, (lokale) Weichennummer und zugehöriger Bahnbetriebspunkt) wurden für die Auswertung nicht verwendet, da diese keinen Nutzen gebracht hätten.

²⁰ Die Korridore von 2*150 m Länge überlappen mit den Korridoren von 2*500 m Länge, d.h. innerhalb des längeren Korridors liegen immer mindestens gleich viele Weichen wie innerhalb des kürzeren, vgl. auch Abbildung 9.



Abbildung 9: Standorte von Weichen (grüne Dreiecke), Korridor von 10 m Breite (hellgrünes Band) und resultierende Weichendichte (vgl. Punkte und zugehörige Legende) für den Abstandsbereich von 2*150 m, dessen Länge ausgehend vom Subelement in Bildmitte durch die orangen Striche dargestellt wird, am Beispiel des Bahnhofs Basel SBB. Die Grenzen des Korridors mit der Länge 2*500 m sind für dasselbe Sub-element mit violetten Strichen versehen. Für dieses resultiert für beide Korridorlängen eine Weichendichte von > 2.

Anzahl Weichen innerhalb eines 10 m breiten Bandes der Länge 2*150 m	Anzahl Subelemente	Anteil Subelemente [%]	Anteil bezogen auf Klassen 0, 1 - 2, > 2
0	12'449	74.1%	74.1%
1	1'636	9.7%	15.4%
2	954	5.7%	
3	823	4.9%	10.5%
4	433	2.6%	
5	234	1.4%	
6	95	0.6%	
7	53	0.3%	
8	41	0.2%	
9	26	0.2%	
10	21	0.1%	
>10	45	0.3%	

Anzahl Weichen innerhalb eines 10 m breiten Bandes der Länge 2*500 m	Anzahl Subelemente	Anteil Subelemente [%]	Anteil bezogen auf Klassen 0, 1 - 4, > 4
0	8'413	50.0%	50.0%
1	1'351	8.0%	30.4%
2	942	5.6%	
3	1'516	9.0%	
4	1'294	7.7%	
5	806	4.8%	19.6%
6	686	4.1%	
7	421	2.5%	
8	257	1.5%	
9	232	1.4%	
10	129	0.8%	
11	110	0.7%	
12	78	0.5%	
13	74	0.4%	
14	59	0.4%	
15	62	0.4%	
16	47	0.3%	
17	50	0.3%	
18	29	0.2%	
19	29	0.2%	
20	31	0.2%	
>20	194	1.2%	

Tabelle 2: Verteilung der Anzahl Weichen innerhalb eines 10 m breiten Bandes um die DfA-Linien, wobei die Länge des Bandes 2* 150 m bzw. 2*500 m beträgt. Ebenfalls dargestellt ist die Zusammenfassung zu je 3 unterschiedlich definierten Klassen (als Weichendichte bezeichnet); eine davon wird im Screening verwendet. (vgl. dazu die Ausführungen in Kapitel 4.2.3).

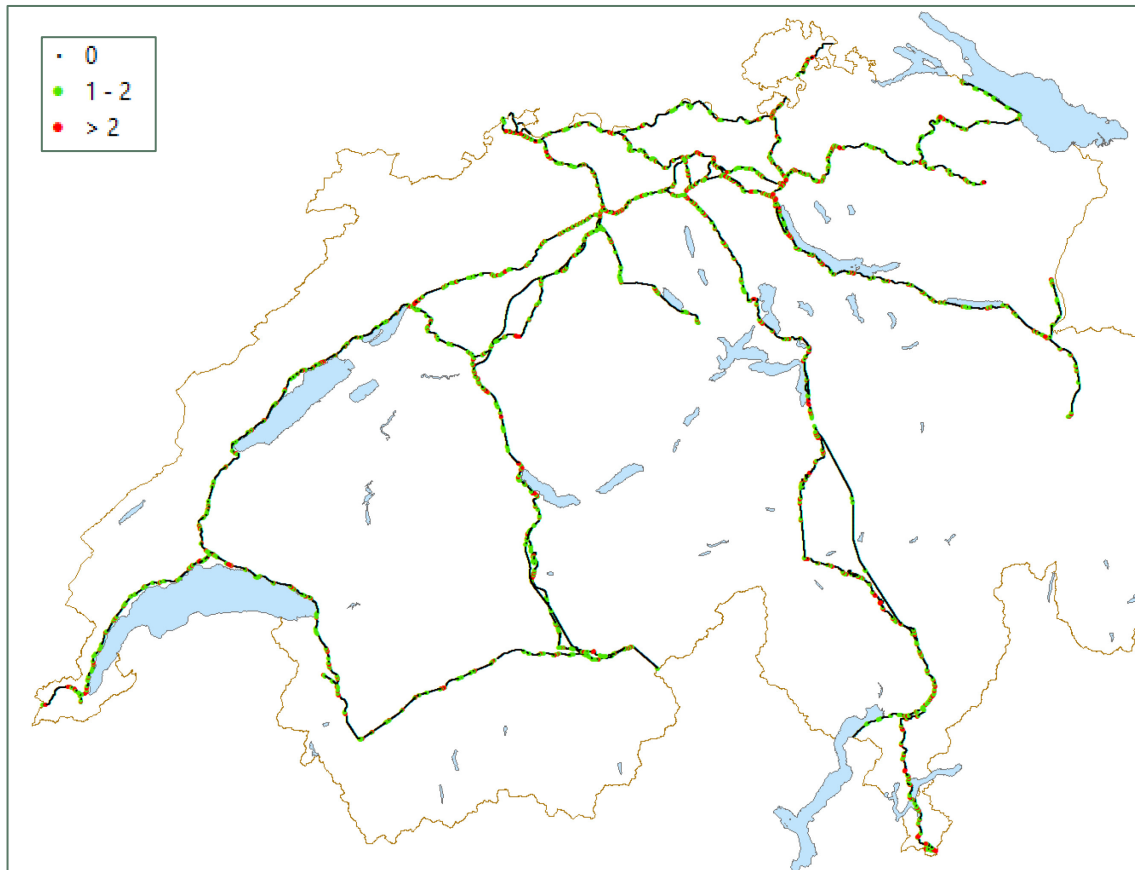


Abbildung 10: Übersicht über die Verteilung der Weichendichte im gesamten Screeningnetz (aufgrund der kleinräumig auftretenden Unterschiede zwischen den insgesamt 16'810 Subelementen lässt sich diese nur grob darstellen)

4. Aktualisierung methodischer Parameter

4.1 Einleitung

Im Zusammenhang mit der Aktualisierung der oben beschriebenen Parameter wurden auch Anpassungen an der Berechnungsmethodik [3] vorgenommen, d.h. bei den Rechenregeln, wie aus den obigen und einigen wenigen weiteren Attributen die Häufigkeits-Ausmass-Wertepaare für die betrachteten Störfallszenarien ermittelt werden. Dies gilt für die folgenden methodischen Aspekte:

- Fortschreibung der Trends bei der Häufigkeit von grösseren Gefahrgutfreisetzungen sowie bei den Bahnunfällen, welche erfahrungsgemäss die Hauptursachen von Störfällen darstellen (Entgleisungen und Zusammenstösse). Daraus können Änderungen an der Häufigkeit von Gefahrgutfreisetzungen auf dem gesamten Screeningnetz abgeleitet werden, was wiederum die Abschätzung der ortsspezifischen Risiken beeinflusst (vgl. Kapitel 4.2).

- Prüfung der Folgen der netzweiten Berücksichtigung der örtlich geltenden Höchstgeschwindigkeit im Güterverkehr mittels vorgegebener Korrekturfaktoren. Damit wird eine methodisch bedingte, methodisch aber nicht begründbare Erhöhung der netzweiten Freisetzungshäufigkeit kompensiert.
- Rechnerische Berücksichtigung der Weichendichte bei der Ermittlung der ortsspezifischen Häufigkeit von Störfällen (vgl. Kapitel 4.2.3). Auch hier geht es darum, plausible Korrekturfaktoren festzulegen unter der Randbedingung, dass die netzweit kumuliert Störfallhäufigkeit nicht methodisch bedingt zunimmt.
- Volle Chlor-Kesselwagen (UN-Nr. 1017) werden mit $v_{\max} = 40$ km/h transportiert, während für die restlichen dem LS Chlor zugeordneten Stoffe die lokal gültig Geschwindigkeitsbeschränkung für den Güterverkehr gilt. Es muss sichergestellt werden, dass die jeweiligen Geschwindigkeitsbeschränkungen unter Berücksichtigung der Transportmengen rechnerisch korrekt einfließen (vgl. Kapitel 4.2.3).

Alle anderen Elemente der Rechenmethodik (z.B. Störfallszenarien, Letalitätsmodelle, etc.), die hier keine Erwähnung finden, bleiben im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung des Screenings unverändert.

4.2 Einflussgrößen auf die Häufigkeit von Freisetzungen

4.2.1 Trends Bahnunfälle und Freisetzungsrate

Beim Screening 2011 wurden für die Ermittlung der Häufigkeit von Störfällen Gefahrgutfreisetzungen zwischen 1976 und 2010 berücksichtigt (vgl. [3]); gleiches gilt auch für Entgleisungen und Zusammenstöße von Zügen. Im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung wird auch die vollständige Statistik von Bahnunfällen zwischen Anfang 2011 und Ende 2018 einbezogen. Die verwendete Methodik ist unverändert, was wichtig ist, um vorhandene langjährige Trends nicht durch methodische Änderungen zu verfälschen.

Die Methodik kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Basiswert für die Häufigkeit eines Störfalles (hier definiert als Freisetzung von mindestens 1'000 l Gefahrgut) beim Transport auf einer Normalspurstrecke (ohne Rangieren) in der Schweiz wird über die beobachtete mittlere Häufigkeit solcher Ereignisse seit 1976 ermittelt. Zwischen 1976 und 2010 ereigneten sich insgesamt 6 solche Ereignisse (vgl. Tabelle 2 in [5]), wobei das letzte am 21.10.1994 eintrat.²¹ Am 25.04.2015 ereignete sich in Dailens nach 20 Jahren erstmals wieder ein Störfall (im Sinne der obigen Definition) während des Transports.²²

21 Die 6 Störfälle ereigneten sich am 4.6.84 in Sargans, am 19.9.88 in Au, am 4.1.91 in Stein-Säckingen, am 8.3.94 in Zürich-Affoltern, am 30.6.94 in Lausanne und am 21.10.94 in Amsteg.

22 Die Komposition umfasste insgesamt 22 Wagen. Sechs Tankwagen entgleisten, worauf 25 Tonnen Schwefelsäure und drei Tonnen Natronlauge ausliefen. Die Ursache lag beim Radlager, bei dem die zuletzt vorgenommene Wartung im Jahr 2011 nicht korrekt durchgeführt wurde.

- Die Statistik legt zwar den Schluss nahe, dass die Zahl der Störfälle in der Schweiz stark rückläufig ist, infolge der kleinen Zahl von Störfällen lässt sich das statistisch jedoch nicht eindeutig und mit der gewünschten statistischen Signifikanz belegen.
- Seit 1976 ist die jährliche Zahl der Bahnunfälle, welche grundsätzlich einen Störfall nach sich ziehen könnte, gemessen an der Fahrleistung (d.h. Anzahl Unfälle pro Zugkilometer) deutlich zurückgegangen. Es wird angenommen, dass der Trend bei den Störfällen in guter Näherung gleich verläuft wie bei Entgleisungen und Zusammenstößen. Der Trend bei der Zahl der Unfälle pro Zugkilometer wird somit bei Letzteren ermittelt und unverändert auf die Gefahrgutereignisse übertragen.
- Als massgebliche Bahnereignisse für die Trendanalyse werden wie schon in früheren Screenings folgende Unfälle auf Normalspurstrecken berücksichtigt:
 - Die Analyse beschränkt sich auf Unfälle bei der SBB (inkl. Turbo) oder bei der BLS. Damit sind schätzungsweise über 95% der Unfälle bzw. der Fahrleistung auf Schweizer Normalspurstrecken abgedeckt. Zudem werden nur Unfälle berücksichtigt, die einen Schaden von mindestens CHF 15'000.- verursacht haben.
 - Betrachtet werden Entgleisungen von Güter- oder Reisezügen auf der Fahrt (ohne Rangieren, d.h. der betroffene Zug ist mit einer Zugnummer unterwegs) sowie Zusammenstöße von Güter- oder Reisezügen auf der Fahrt (d.h. mit Zugnummer) mit einem ortsfesten Hindernis (Aufprall) oder einer anderen Fahrt (wobei diese auch eine Rangierfahrt sein kann).

In Tabelle 3 sind die jährlichen statistischen Kenngrössen der betrachteten Unfälle sowie die zugehörigen Fahrleistungen tabelliert. Die resultierende jährliche Rate an Entgleisungen bzw. Zusammenstößen pro Zug-km ist in Abbildung 11 dargestellt. Bis ca. 2005 zeigt sich ein klar sinkender Trend; seither sind die jährlichen Fluktuationen deutlich grösser als ein allfälliger Trend (auch bei Mittelung über mehrere Jahre). Ebenfalls dargestellt ist eine exponentielle Trendkurve, wie sie auch bei der analogen Analyse im Screening 2011 verwendet wurde.

Jahr	Anzahl Unfälle						Laufleistung RZ + GZ (Mio. Zug-km)			Unfallraten (Unfälle pro Zug-km)		
	SBB und Thurbo			BLS			SBB und Thurbo	BLS	total	Entgleisung	Zusammenstoss	beide
	Entgleisung	Zusammenstoss	beide	Entgleisung	Zusammenstoss	beide						
1976	10	10	20				92.3		92.3	1.1 E-7	1.1 E-7	2.2 E-7
1977	17	12	29				93.7		93.7	1.8 E-7	1.3 E-7	3.1 E-7
1978	13	4	17				94.2		94.2	1.4 E-7	4.2 E-8	1.8 E-7
1979	9	8	17				95.0		95.0	9.5 E-8	8.4 E-8	1.8 E-7
1980	4	9	13				96.3		96.3	4.2 E-8	9.3 E-8	1.3 E-7
1981	12	4	16				96.1		96.1	1.2 E-7	4.2 E-8	1.7 E-7
1982	7	5	12				102.4		102.4	6.8 E-8	4.9 E-8	1.2 E-7
1983	8	8	16				106.6		106.6	7.5 E-8	7.5 E-8	1.5 E-7
1984	13	5	18				107.0		107.0	1.2 E-7	4.7 E-8	1.7 E-7
1985	15	6	21				106.6		106.6	1.4 E-7	5.6 E-8	2.0 E-7
1986	13	6	19				106.6		106.6	1.2 E-7	5.6 E-8	1.8 E-7
1987	14	7	21				107.4		107.4	1.3 E-7	6.5 E-8	2.0 E-7
1988	9	9	18				118.3		118.3	7.6 E-8	7.6 E-8	1.5 E-7
1989	13	7	20				119.0		119.0	1.1 E-7	5.9 E-8	1.7 E-7
1990	15	7	22	1	1	2	124.9	7.8	132.7	1.2 E-7	6.0 E-8	1.8 E-7
1991	8	6	14	1	0	1	124.9	7.9	132.8	6.8 E-8	4.5 E-8	1.1 E-7
1992	4	4	8	0	2	2	122.9	8.0	130.9	3.1 E-8	4.6 E-8	7.6 E-8
1993	5	4	9	0	0	0	121.5	7.8	129.3	3.9 E-8	3.1 E-8	7.0 E-8
1994	6	11	17	0	0	0	119.2	7.6	126.8	4.7 E-8	8.7 E-8	1.3 E-7
1995	3	3	6	0	1	1	116.8	7.4	124.2	2.4 E-8	3.2 E-8	5.6 E-8
1996	2	3	5	1	0	1	116.1	7.2	123.3	2.4 E-8	2.4 E-8	4.9 E-8
1997	6	5	11	1	0	1	116.8	7.6	124.4	5.6 E-8	4.0 E-8	9.6 E-8
1998	2	3	5	0	0	0	117.5	7.9	125.4	1.6 E-8	2.4 E-8	4.0 E-8
1999	5	1	6	1	1	2	121.4	7.2	128.6	4.7 E-8	1.6 E-8	6.2 E-8
2000	6	4	10	0	0	0	125.9	7.9	133.8	4.5 E-8	3.0 E-8	7.5 E-8
2001	2	4	6	0	0	0	129.6	8.4	138.0	1.4 E-8	2.9 E-8	4.3 E-8
2002	1	2	3	1	0	1	131.8	8.6	140.4	1.4 E-8	1.4 E-8	2.8 E-8
2003	6	3	9	0	0	0	136.0	8.9	144.9	4.1 E-8	2.1 E-8	6.2 E-8
2004	4	3	7	0	0	0	137.4	9.1	146.5	2.7 E-8	2.0 E-8	4.8 E-8
2005	3	4	7	0	1	1	153.8	9.3	163.1	1.8 E-8	3.1 E-8	4.9 E-8
2006	8	3	11	1	1	2	152.0	12.9	164.9	5.5 E-8	2.4 E-8	7.9 E-8
2007	1	2	3	2	0	2	153.4	13.2	166.7	1.8 E-8	1.2 E-8	3.0 E-8
2008	3	2	5	0	0	0	158.6	13.2	171.9	1.7 E-8	1.2 E-8	2.9 E-8
2009	2	1	3	0	0	0	161.6	13.5	175.1	1.1 E-8	5.7 E-9	1.7 E-8
2010	3	4	7	0	1	1	163.5	13.7	177.2	1.7 E-8	2.8 E-8	4.5 E-8
2011	1	10	11	1	0	1	166.1	13.7	179.8	1.1 E-8	5.6 E-8	6.7 E-8
2012	1	6	7	0	3	3	166.4	13.8	180.2	5.5 E-9	5.0 E-8	5.5 E-8
2013	2	14	16	0	1	1	171.0	13.5	184.5	1.1 E-8	8.1 E-8	9.2 E-8
2014	0	2	2	0	1	1	174.3	13.5	187.8	0.0 E+0	1.6 E-8	1.6 E-8
2015	3	5	8	0	2	2	175.8	13.6	189.4	1.6 E-8	3.7 E-8	5.3 E-8
2016	1	0	1	0	1	1	179.3	13.9	193.2	5.2 E-9	5.2 E-9	1.0 E-8
2017	3	3	6	1	3	4	177.9	14.2	192.1	2.1 E-8	3.1 E-8	5.2 E-8
2018	2	5	7	0	0	0	178.0	13.9	191.9	1.0 E-8	2.6 E-8	3.6 E-8
Summe / Mittel	265	179	431	9	8	17	4'247	195	4'442	6.5 E-8	4.6 E-8	1.1 E-7

Tabelle 3: Jährliche Anzahl Entgleisungen bzw. Zusammenstösse sowie Laufleistung (in Zug-Kilometern) gegliedert nach Bahn (SBB mit Thurbo, BLS) und zugehörige Unfallraten

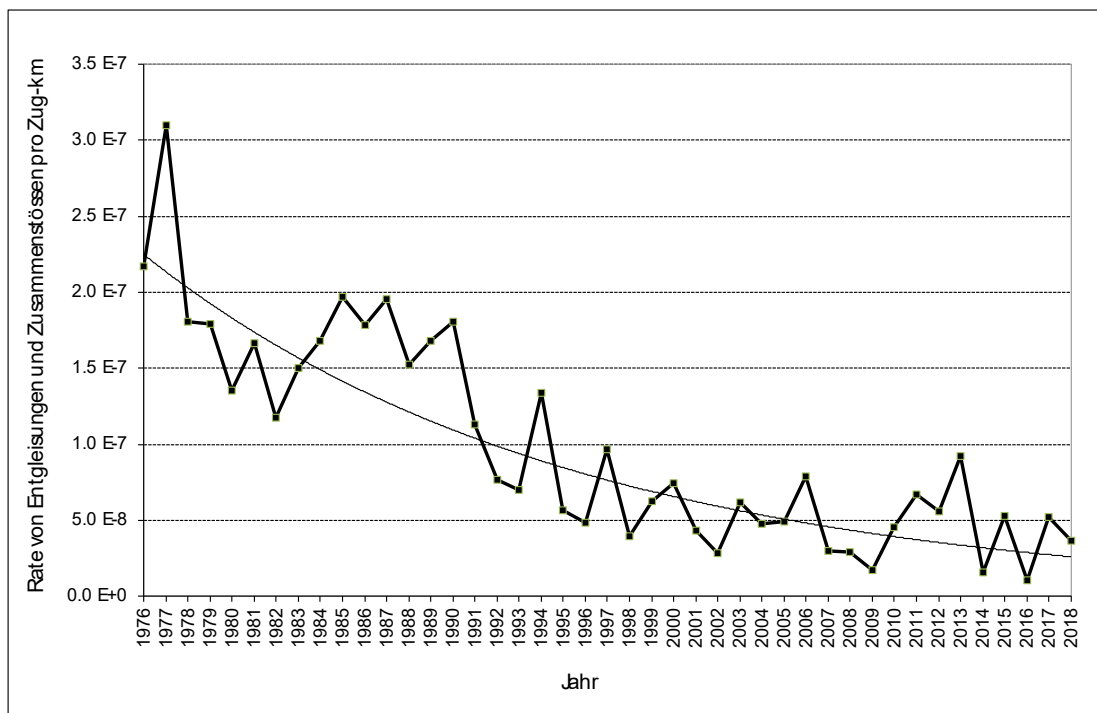


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf des Quotienten aus der jährlichen Zahl von Entgleisungen und Zusammenstössen sowie der zugehörigen Fahrleistung in Zug-km (gemäss Tabelle 3, Spalte ganz rechts)

Anhand der obigen Daten (Häufigkeit von Störfällen, Tabelle 3, Trendkurve in Abbildung 11) sowie den entsprechenden Werten aus der analogen Analyse im Rahmen des Screenings 2011 (Trendwerte per Ende 2010) ergeben sich folgende Resultate im Vergleich zum letzten Screening:

- Jährliche Häufigkeit von Störfällen 1976 – 2010: $6/35 /J = 0.171 /J$
dito für die Periode 1976 – 2018: $7/43 /J = 0.163 /J$
→ Rückgang um Faktor 0.95 seit 2010
 - Mittelwert für 1976 – 2010:²³ $1.11 \cdot 10^{-7} /Zug-km$
Trendwert für 2010: $3.12 \cdot 10^{-8} /Zug-km$ (vgl. Abb. 2 in [3])
→ Quotient zwischen Trendwert und Mittelwert: 0.281
- Mittelwert für 1976 - 2018: $9.95 \cdot 10^{-8} /Zug-km$
Trendwert für 2018: $2.75 \cdot 10^{-8} /Zug-km$ (vgl. Abbildung 11)
→ Quotient zwischen Trendwert und Mittelwert: 0.276
- Aus den obigen Werten ergeben sich folgende Trendwerte für die jährliche Häufigkeit von Störfällen:
für 2010: $0.171 /J * 0.281 = 0.0482 /J$ (bzw. 1 Ereignis alle 20.8 Jahre)
für 2018: $0.163 /J * 0.276 = 0.0450 /J$ (bzw. 1 Ereignis alle 22.1 Jahre)
→ Zwischen 2010 und 2018 hat man eine Reduktion bei der Häufigkeit von Störfällen um einen Faktor $0.045/0.0482 = 0.934$

Auf Basis der obigen Ereignisanalyse reduziert sich die Freisetzungshäufigkeit pro Kesselwagen-km um einen Faktor 0.934 im Vergleich zu den im Screening 2011 ausgewiesenen Werten.²⁴ Die Veränderung ist somit klein und beträgt nur ca. 7%. Dies deckt sich mit dem visuellen Eindruck in Abbildung 11, wonach seit ca. 2005 der Trend bei den Unfallhäufigkeiten pro Zug-km nur unbedeutend ist.

4.2.2 Einfluss Höchstgeschwindigkeit auf Freisetzungshäufigkeit

In den bisherigen Screenings 2011 wurde – mit wenigen Ausnahmen bei ausgeprägten Risikoschwerpunkten – mit einer netzweit einheitlichen Höchstgeschwindigkeit im Gefahrgutverkehr von 80 km/h gerechnet.²⁵ Durch die Berücksichtigung der örtlich gültigen Höchstgeschwindigkeit - auf 71% des Screeningnetzes (vgl. Abbildung 4) beträgt diese 100 km/h - ergibt sich bei der Verwendung der bisherigen Korrekturfaktoren eine rechnerische Erhöhung der über das gesamte Netz aufsummierten Freisetzungshäufigkeit. Eine Vergleichsrechnung basierend auf den Werten aus dem aktualisierten Screening 2018, einmal mit den Geschwindigkeiten aus dem

23 Aus der Trendanalyse im Screening 2011 basierend auf Daten zwischen 1976 und 2010, vgl. [3].

24 Diese Zahlen gelten unter der Voraussetzung von seit 2010 unveränderten Gefahrguttransportmengen (gemessen in Kesselwagen-km). Eine Zunahme der Transportmengen würde sich in höheren netzweiten Freisetzungshäufigkeiten niederschlagen.

25 Seit Dezember 2008 können GZ mit 100 km/h verkehren (statt 80 km/h). Vermutlich betrug schon im Jahr 2011 (d.h. im Referenzjahr des letzten Screenings) die am häufigsten gültige Höchstgeschwindigkeit 100 statt 80 km/h. Dies wurde im Screening 2011 jedoch nicht berücksichtigt.

Screening 2011 (weitestgehend Standardwert 80 km/h) und ein zweites Mal mit den Werten gemäss Abbildung 5, ergibt eine rechnerische Erhöhung der netzweiten Störfallhäufigkeit um 13%.

In der Unfallstatistik der Bahnen gibt es keinen Hinweis, dass infolge der Einführung der höheren Geschwindigkeit im Güterverkehr seit Dezember 2008 die Häufigkeiten von Entgleisungen oder Zusammenstössen signifikant zugenommen hat; dies dürfte u.a. eine Folge verschiedener kompensierender Sicherheitsmassnahmen sein. Es ist deshalb auch nicht anzunehmen, dass Freisetzungen dadurch häufiger wurden (z.B. infolge einer höheren Wahrscheinlichkeit für eine Leckage bei gewissen Unfällen).

Kann wie im vorliegenden Fall davon ausgegangen werden, dass die netzweite Störfallhäufigkeit unverändert bleibt, müssen die Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der örtlichen Höchstgeschwindigkeit so korrigiert werden, dass auch rechnerisch die netzweite Freisetzungshäufigkeit konstant bleibt.²⁶ Deshalb wird die obige Zunahme um 13% mittels eines ortsunabhängigen Korrekturfaktors von $1/(1+0.13) = 0.885$ kompensiert.

4.2.3 Einfluss Weichendichte auf die Freisetzungsrate

Analog wie die zusätzliche Berücksichtigung der örtlichen Höchstgeschwindigkeit im Güterverkehr muss auch die Korrektur aufgrund einer veränderten Definition der Einflussgrösse «Weichendichte» so umgesetzt werden, dass die netzweit kumulierte Freisetzungshäufigkeit pro Jahr nicht ändert.

Die nachfolgende Ausführung bezieht sich auf die Ermittlung der Weichendichte über einen Abstand von +/- 150 m in beiden Fahrtrichtungen (ausgehend von einem Subelement-Mittelpunkt). Aus folgenden Gründen ist aufgrund der Erfahrung der Autoren eine Korrelation zwischen Weichenstandort und Ort einer Freisetzung über 150 m deutlich stärker als über 500 m:

- Der Unterschied zwischen den Längenskalen 150 m und 500 m zeigt sich insbesondere in Bahnhöfen, also zwischen den Ein- bzw. Ausfahrbereichen, die viele Weichen enthalten (d.h. entlang praktisch aller Güterverkehrsstrassen ergibt sich eine mittlere oder hohe Weichendichte) und dem dazwischenliegenden Perronbereich von bis zu ca. 500 m Länge, in dem praktisch keine Weichen vorhanden sind. Berücksichtigt man die Zahl der Weichen über $2 \cdot 150$ m, so hat man in einem Teil des Perronbereichs die Weichendichte «Null». Geht man hingegen von $2 \cdot 500$ m aus, so hat man zwischen dem Ein- und dem Ausfahrbereich und deutlich darüber hinaus (d.h. über insgesamt ca. 1.5 km) in aller Regel eine mittlere oder hohe Weichendichte. Dies passt zur Erfahrung, dass Bahnunfälle in den Ein- und Ausfahrbereichen von Bahnhöfen deutlich häufiger sind als in Perronbereichen.

²⁶ Mit anderen Worten: Die Korrekturfaktoren sind so festzulegen, dass sie im netzweiten Mittel 1 betragen. Geht man von den bestehenden Korrekturfaktoren aus, welche die relativen Unterschiede in der Häufigkeit von Freisetzung in Abhängigkeit von v_{max} angemessen abbilden (es gibt dazu jedenfalls keine neuen Erkenntnisse), so ist ein zusätzlicher Skalierungsfaktor anzuwenden.

- Die Erfahrung zeigt, dass in der Regel sowohl bei Entgleisungen und beim Zusammenstoss von zwei Zügen eine nahe gelegene Weiche mitbestimmend war für den Ort, wo sich der Schadenfall ereignete (dies bedeutet nicht, dass die Weiche «ursächlich» den Schaden verursachte, z.B. durch eine defekte Weichenzunge).²⁷
- Es ist aus Sicht der Autoren nicht möglich, schlüssig zu begründen, dass eine angepasste Auswertung der Weichendichte über neu 2*500 m signifikant besser ist als die bisherige Auswertung.²⁸
- Die Auswertung der Weichendichte über einen Abstandsbereich von 2*150 m gibt die Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeit grösserer Bahnunfälle besser wieder als die Auswertung über 2*500 m; letztere würde die Risiken zu stark glätten. Eine Glättung der Risiken sollte erst durch Aggregation bzw. Mittelung über Segmente erfolgen und nicht bereits bei der Ermittlung der örtlichen Risiken.

Die Zuordnung von je einem Gewichtungsfaktor zu den drei Weichendichteklassen «0», «1 – 2» und «> 2» gemäss Tabelle 2 erfolgt wie folgt:

- Der Korrekturfaktor zur Klasse «0» wird gleich angenommen wie im Screening 2011.
- Der Quotient zwischen den Korrekturfaktoren für die Weichendichteklassen «0» und «1 – 2» wird gleich angenommen wie im Screening 2011 (d.h. Unterschied von einem Faktor 10).
- Der Korrekturfaktor für die Klasse «> 2» wird so bestimmt, dass nach netzweiter Summation die gleiche Freisetzungshäufigkeit resultiert wie mit den Weichendichteklassen bzw. zugehörigen Korrekturfaktoren aus dem Screening 2011 (unter Verwendung von allen anderen Attributen aus dem Screening 2018).

Die netzweite Hochrechnung ergibt, dass zur Sicherstellung der obigen Randbedingung der Korrekturfaktor für die Klasse «> 2» in guter Näherung um einen Faktor 2.0 grösser sein muss als für die Klasse «1 – 2» (beim Screening 2011 betrug der Quotient 3).

27 Unfallarten, deren Ort stark mit der Lage von Weichen korreliert, sind u.a. Folgende:

- Entgleisung infolge Rollmaterialdefekt (ein Radsatz kann irgendwo entgleisen und wird oft über grössere Distanz mitgeschleppt; ein Umstürzen ergibt sich aber meist unmittelbar nach dem Befahren einer Weiche), infolge enger Kurvenradien und anderen ungünstigen Einflüssen am Rande der zulässigen Toleranzen (i.A. bei tiefen Geschwindigkeiten), infolge überhöhter Geschwindigkeit (i.d.R. in weichennahen Bereichen mit engen Kurvenradien).
- Zusammenstösse Zug – Zug (z.B. in Form einer Flanken Flankenfahrt). Nicht an Weichen gebunden sind Aufpralle eines Zugs auf ortsfeste Hindernisse; allerdings sind solche nur selten die Ursache einer Freisetzung, da primär die Lokomotive und nur in Ausnahmefällen zusätzlich Wagen im Innern des Zugverbands betroffen sind.

28 Die neue Art der Auswertung (entlang eines 2*5 m breiten Bandes um die DfA-Linie statt über einen kreisförmigen Bereich) stellt aus Sicht der Autoren hingegen eine klare Verbesserung dar (Gruppen von Weichen auf parallelen Gleisen haben weniger «Gewicht» bzw. Einfluss also solche entlang typischer Fahrstrassen).

4.2.4 Zusammenfassung Freisetzungsraten

Zusammenfassend sind nachfolgend nochmals die zu berücksichtigenden Korrekturen an den im Screening 2011 ausgewiesenen Freisetzungsraten (vgl. Tabelle 4) zusammengestellt:

- Einfluss Störfall- und Unfallstatistik: Reduktion aller Raten um einen Faktor 0.934.
- Einfluss der zusätzlichen Berücksichtigung der örtlichen Höchstgeschwindigkeit mittels der vorgegebenen Faktoren: Multiplikation alle Raten – unabhängig von der örtlichen Höchstgeschwindigkeit - mit dem Korrekturfaktor 0.885.
- Einfluss der Anpassung der Weichendichteklassen: keine Korrektur bei den Klassen «0» und «1 – 2», Faktor 2 statt 3 Unterschied zwischen den Klassen «> 2» und «1 – 2». Die Notwendigkeit, letzteren anzupassen, ergibt sich primär aus der Veränderung der relativen Anteile der drei Weichendichteklassen.

Somit ergeben sich für das Screening 2018 die Freisetzungsraten gemäss Tabelle 5.

Freisetzungsraten R_{LS} pro (vollem) Kesselwagen und 100 m			
Leitstoff	Weichendichte > 4	Weichendichte 1- 4	keine Weichen
Benzin	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$3.5 \cdot 10^{-10}$	$3.4 \cdot 10^{-11}$
Propan und Chlor	$1.0 \cdot 10^{-10}$	$3.5 \cdot 10^{-11}$	$3.4 \cdot 10^{-12}$

Tabelle 4: Freisetzungsraten pro Kesselwagen und 100 m (für $v = 80$ km/h) gemäss Screening 2011

Freisetzungsraten R_{LS} pro (vollem) Kesselwagen und 100 m			
Leitstoff	Weichendichte > 2	Weichendichte 1 - 2	keine Weichen
Benzin ²⁹	$5.7 \cdot 10^{-10}$	$2.9 \cdot 10^{-10}$	$2.9 \cdot 10^{-11}$
Propan und Chlor	$5.7 \cdot 10^{-11}$	$2.9 \cdot 10^{-11}$	$2.9 \cdot 10^{-12}$

Tabelle 5: Freisetzungsraten pro Kesselwagen und 100 m (für $v = 80$ km/h) gemäss Screening 2018

Für die Berücksichtigung unterschiedlicher Geschwindigkeiten gelten weiterhin die gleichen Korrekturfaktoren wie in den bisherigen Screenings.

²⁹ Für die Leitstoffe zu den Umweltrisiken gelten die gleichen Faktoren wie für den LS Benzin (da es sich in allen Fällen um Flüssigkeiten handelt, die in vergleichbaren Kesselwagen transportiert werden).

4.3 Berücksichtigung Höchstgeschwindigkeit beim Leitstoff Chlor

Beim Leistoffe Chlor hat man je nach Stoff unterschiedliche maximale Transportgeschwindigkeiten, die bei der Ermittlung der Risiken zu berücksichtigen sind:

- Elementares Chlor (Cl_2 , UN-Nr. 1017) wird mit maximal 40 km/h transportiert.
- Für alle anderen Stoffe, die zum LS Chlor gehören, gilt die normale Höchstgeschwindigkeit im Güterverkehr.

Die beiden i.d.R. unterschiedlichen örtlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen lassen sich korrekt berücksichtigen, wenn die mit den relativen Transportmengen gewichteten Korrekturfaktoren verwendet werden.

Beispiel: In Pratteln entfallen 37% der Tonnage auf elementares Chlor. Die dortige Höchstgeschwindigkeit beträgt 100 km/h. Der Korrekturfaktor bzgl. der zulässigen Geschwindigkeit beim Leitstoff Chlor beträgt in diesem Fall:

$$K_{\text{LS Chlor}} = 0.37 * K_{40 \text{ km/h}} + (1-0.37) * K_{100 \text{ km/h}} = 0.37 * 0.1 + 0.63 * 1.3 = 0.86$$

Da es in der aktuell vorliegenden Version TgG 2.1 nicht vorgesehen ist, den Anteil Cl_2 am LS Chlor zu speichern und im Rahmen des vorgesehenen Projekts keine Anpassungen an der Datenbank in TgG 2.1 geplant ist, wird die bestehende Einflussgrösse «Anteil sicherheitstechnisch verbesserter Chlor-Kesselwagen» dafür verwendet.³⁰ In den Excel-Dateien (Daten- und Ergebnisdownload) wird der Name entsprechend angepasst und heisst neu «Anteil Chlor am LS Chlor».³¹

30 Der Anteil sicherheitstechnisch verbesserter Chlorkesselwagen der 1. Generation (d.h. im Sinne der sogenannten Gemeinsamen Erklärung I (vgl. [7]) beträgt immer 100%, so dass dieser Faktor de facto nicht mehr verwendet wird.

31 Im Info-Tool wird der Name jedoch nicht angepasst, da dies einen Eingriff in den Programmcode erfordern würde.

5. Quellen

- [1] Bundesamt für Verkehr, Bundesamt für Umwelt, SBB AG, BLS AG, «Screening-Tool TgG2.1», Zugriff über <http://www.screeningtgbahn.ch/TgG20.Web/>
- [2] Bundesamt für Verkehr, Schweizerische Bundesbahnen, BLS AG, Bundesamt für Umwelt, Partenariat RCAT; «Personenrisiken beim Transport gefährlicher Güter auf der Bahn - Aktualisierte netzweite Abschätzung der Personenrisiken (Screening 2011)», Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG), Dezember 2011
- [3] Bundesamt für Verkehr, «Dokumentation Grundlagen Screening Personenrisiken Bahn 2011», Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG), Februar 2014
- [4] Gemeinsame Erklärung II von scienceindustries (Wirtschaftsverband Chemie Pharma Biotech), der SBB AG, dem VAP (Verband der verladenden Wirtschaft), dem Bundesamt für Verkehr (BAV) und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) über die Reduktion der Risiken für die Bevölkerung infolge des Transports von Chlor in Kesselwagen, 2016 ([Link](#))
- [5] Schweizerische Bundesbahnen, Betriebsdirektion, «Risikoermittlung für den Transport gefährlicher Güter», Fallbeispiel nach Störfallverordnung, Anhänge zum Schlussbericht vom Februar 1998, Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG)
- [6] Unterarbeitsgruppe „Beurteilungskriterien Verkehrswege“, «Pilotrisikolanalyse für den Transport gefährlicher Güter - Fallbeispiel Bahn», Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG), Mai 1998
- [7] Gemeinsame Erklärung der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie (SGCI) und der Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB AG) sowie des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) über die Reduktion der Risiken beim Transport gefährlicher Güter mit sehr grossem Schadenspotenzial wie Chlor und Schwefeldioxid, 27. Juni 2002 ([Link](#))