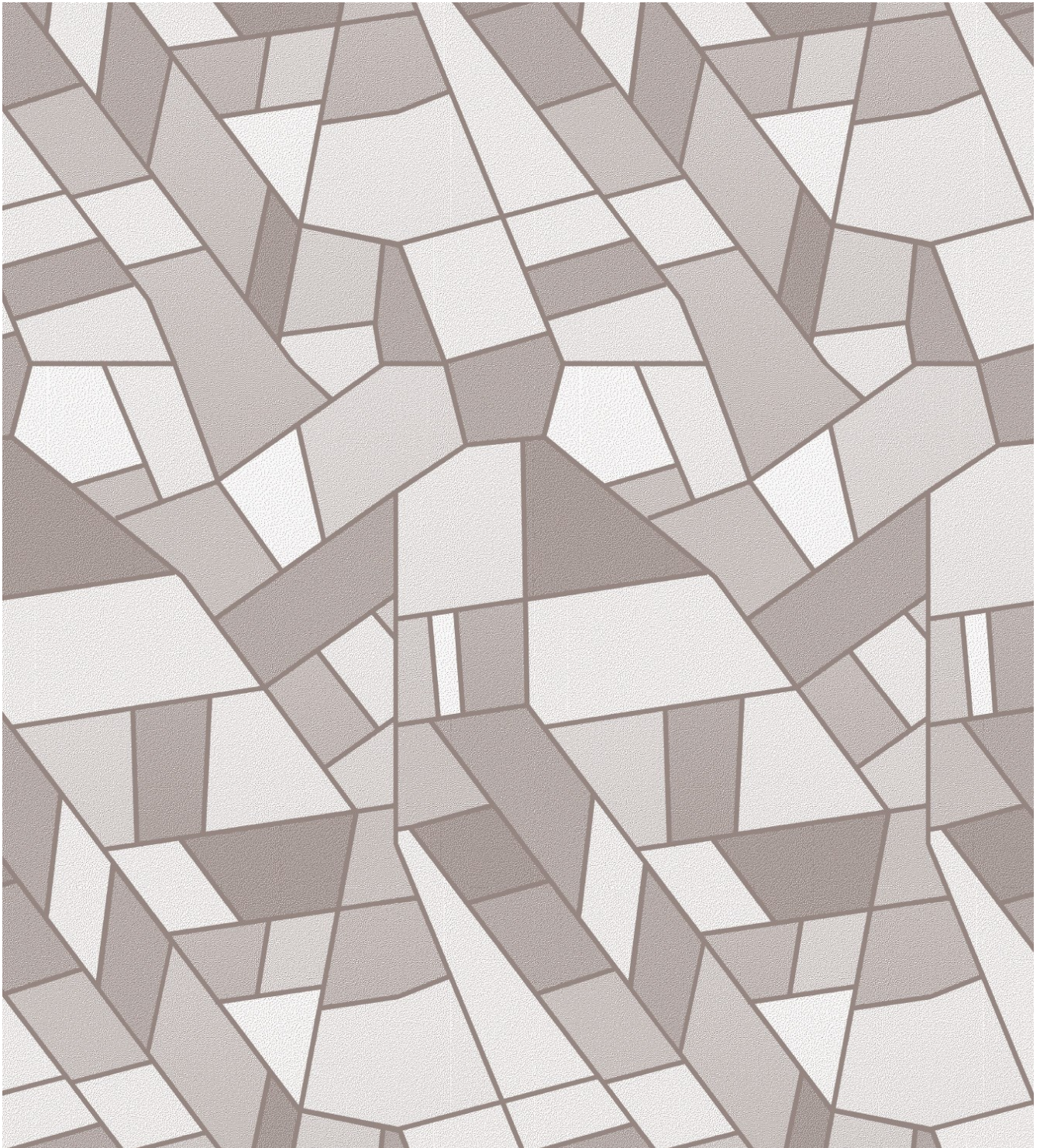


Aktualisierung Screening Personen- und Umweltrisiken 2023

Dokumentation Parameteraktualisierung
12. März 2025



Projektteam

Thomas Felder
Dr. Astrid Jäger
Franziska Lindström
Peter Locher

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Druck: 15. April 2025

2025-03-12_Dokumentation_Parameteraktualisierung.docx
Projektnummer: 211365.24

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage und Zielsetzung	4
2.	Anpassungen am Screeningnetz	4
3.	Übersicht Parameteraktualisierung und methodische Anpassungen	7
4.	Aktualisierung ortsspezifischer Parameter	8
4.1	Allgemeines zur Übertragung von Daten aus BASE	8
4.2	Einflussgrößen auf die Personenrisiken	10
4.2.1	Weichendichte	10
4.2.2	Zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge	11
4.2.3	Abdeckung mit Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen	13
4.2.4	Gefahrgutmengen	14
4.2.5	Exposition von Anwohnern und Personen an Arbeitsplätzen	18
4.2.6	Exposition von Reisenden auf Perrons	18
4.2.7	Anzahl Reisezüge	20
4.2.8	Besetzung Reisezüge	21
4.2.9	Unterscheidung Einspur- und Mehrspurstrecken	22
4.2.10	Zugänglichkeit	23
4.3	Umweltrisiken	24
4.3.1	Freisetzungsorte und Art der Entwässerung	24
4.3.2	Parameter zu den Risiken für das Grundwasser	24
4.3.3	Parameter zu den Risiken für Oberflächengewässer	26
5.	Aktualisierung methodische Parameter	27
5.1	Einleitung	27
5.2	Trends Bahnunfälle und mittlere Freisetzungsrate	27
5.3	Abhängigkeit der Freisetzungsrates vom Kesselwagen	31
5.4	Abhängigkeit der Freisetzungsrates von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	32
5.5	Umrechnung von Gefahrgutmengen in volle Kesselwagen	33
5.6	Berechnung Störfallwerte für den Schadenindikator «verschmutzte unterirdische Gewässer»	33
6.	Quellen	34

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Das IT-Tool TgG 3.0 [1] ist das Instrument, um die Risiken infolge des Gefahrguttransports auf Normalspurstrecken des Eisenbahnnetzes auf Stufe Kurzbericht zu ermitteln.

Alle fünf Jahre werden das Screeningnetz und wichtige ortsspezifische Einflussgrössen aktualisiert. Zudem wird der Trend bei der Häufigkeit von Bahnunfällen, die zu einer massgeblichen Freisetzung von Gefahrgut führen können, analysiert und die Raten von Gefahrgutfreisetzungen darauf abgestimmt. Bei Bedarf werden in diesem Zusammenhang auch weitere methodische Parameter angepasst, wie z.B. Korrekturfaktoren für Chlorkesselwagen. Letztmals wurden diese Aktualisierungen mit den Daten von 2018 durchgeführt [2]; der damals erarbeitete Stand wird nachfolgend als «Screening 2018» bezeichnet.

Im Jahr 2024 wurde TgG 3.0 erneut aktualisiert; das entsprechende Projekt wird im Folgenden als «Aktualisierung Screening 2023» bezeichnet. Mit der Durchführung wurde die Firma EBP beauftragt. Im vorliegenden Bericht wird das Vorgehen beschrieben und wichtige Ergebnisse der Datenaktualisierung zusammenfassend dargestellt.

Verschiedene Anpassungen an den verwendeten Daten wurden durch das Projekt «Berechnung und Auswertung Störfallrisiken Eisenbahn» (BASE) ausgelöst. Als Teil des Projektes BASE wird ein IT-Tool entwickelt, mit welchem Störfallrisiken für die Bevölkerung mit einer verfeinerten Methodik und in höherer räumlicher Auflösung ermittelt werden können. Das IT-Tool, das derzeit vom BAV entwickelt wird, soll zukünftig TgG 3.0 im Bereich der Personenrisiken ablösen.

2. Anpassungen am Screeningnetz

Folgende Änderungen werden am Screeningnetz vorgenommen (vgl. Abbildung 1):

- Die folgenden Linien wurden in den Anhang 1.2a StFV aufgenommen und daher dem Screeningnetz zugefügt:
 - Die Linie 107 von Brig-Löstschberg (Abzw) bis Brig Tunnel
 - Die Linie 165 von Lausanne-Triage Est bis Bussigny-Scheu.
 - Die Linie 333 von Frutigen bis Adelrein (West)
 - Die Linie 503 von Olten Nord nach Olten
 - Die Linie 580 von Camorino (dira) bis Vezia (bif)
 - Die Linie 581 von Camorino Sud bis Vezia (bif)
 - Die Linienabschnitt 840 Winterthur Ost – Frauenfeld – Weinfelden
 - Die Linie 593 (Neubaustrecke am Ceneri mit Ceneri-Basistunnel) wurde bereits früher aufgenommen. Neu wird auch die unmittelbar westlich gelegene, parallele Linie 592 im Screeningnetz erfasst (vgl. Abbildung 2, lilafarben).
- Kleinere Netzanpassungen betreffen die unterstellten Linien 152 in Genf-La Praille (Lancy), 168 bei Lausanne-Triage, 518 zwischen Basel Badischem Bahnhof in Richtung

Weil am Rhein bis zur Schweizer Grenze sowie 503 bei Olten (vgl. Abbildung 2). Es handelt sich dabei um Angleichungen an das Liniennetz, das in BASE verwendet wird.

- Die folgenden Linien wurden aus dem Anhang 1.2a StFV gestrichen und daher aus dem Screeningnetz entfernt:
 - Linie 600 über die Gotthard-Bergstrecke zwischen Rynächt (nördlich von Erstfeld) und Pozzo Nero (zwischen Bodio und Pollegio), wo die Strecke über den Gotthard-Basis-tunnel in die Stammlinie einmündet;
 - Linie 600 über die Ceneri-Bergstrecke zwischen Camorino und Vezia;
 - Linie 523 zwischen Basel Badischem Bahnhof und dem Hafen Kleinhüningen.

Das aktualisierte Netz setzt sich neu aus 16'442 Datenpunkten zusammen (vgl. Abbildung 1), die in der grossen Mehrzahl der Fälle eine Länge von je 100 m aufweisen und aus historischen Gründen auch als «Subelemente» bezeichnet werden.

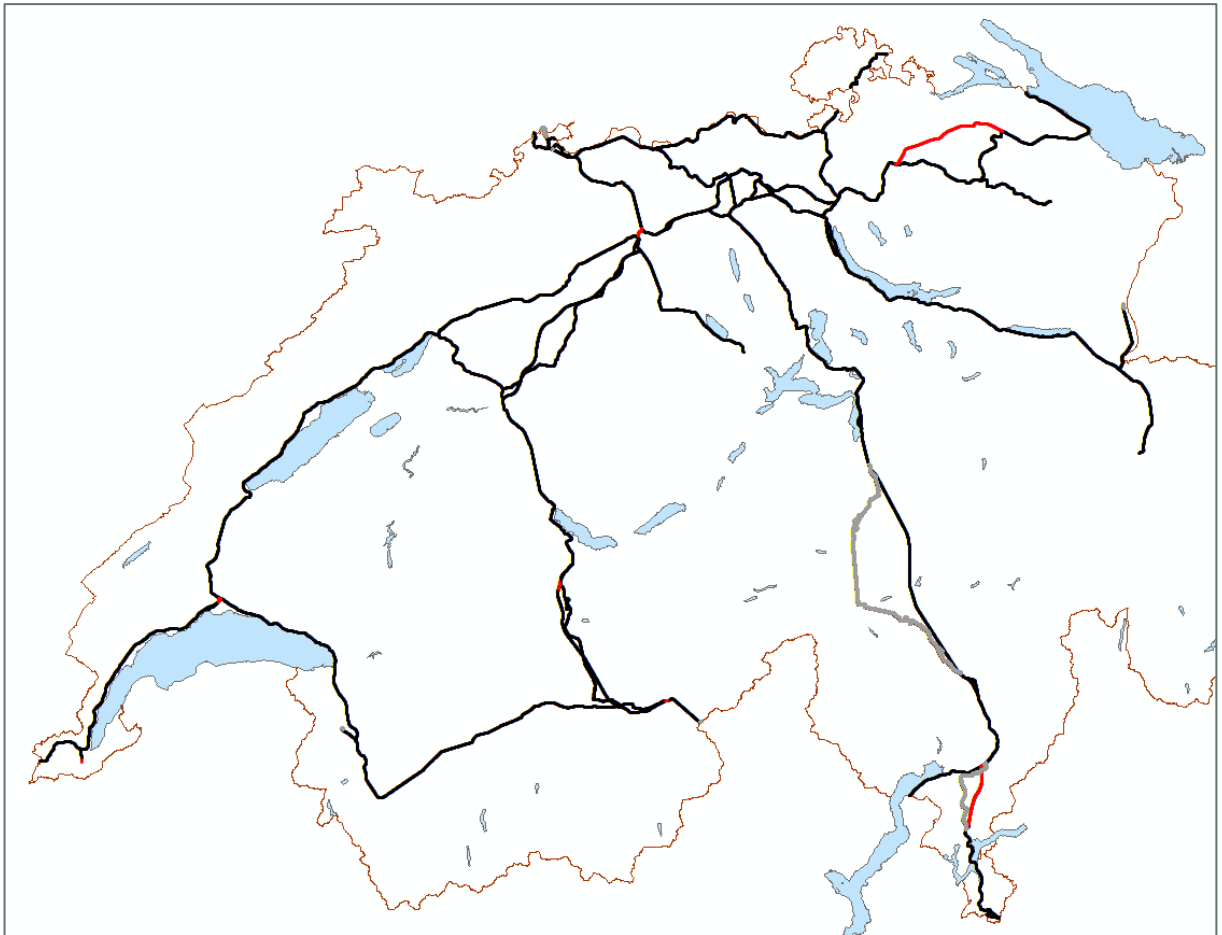


Abbildung 1: *Aktuelles Screening-Netz (gegenüber dem Stand aus dem Jahr 2018 (schwarz markiert) kommen die rot markierten Streckenabschnitte neu dazu und die grau markierten fallen weg).*

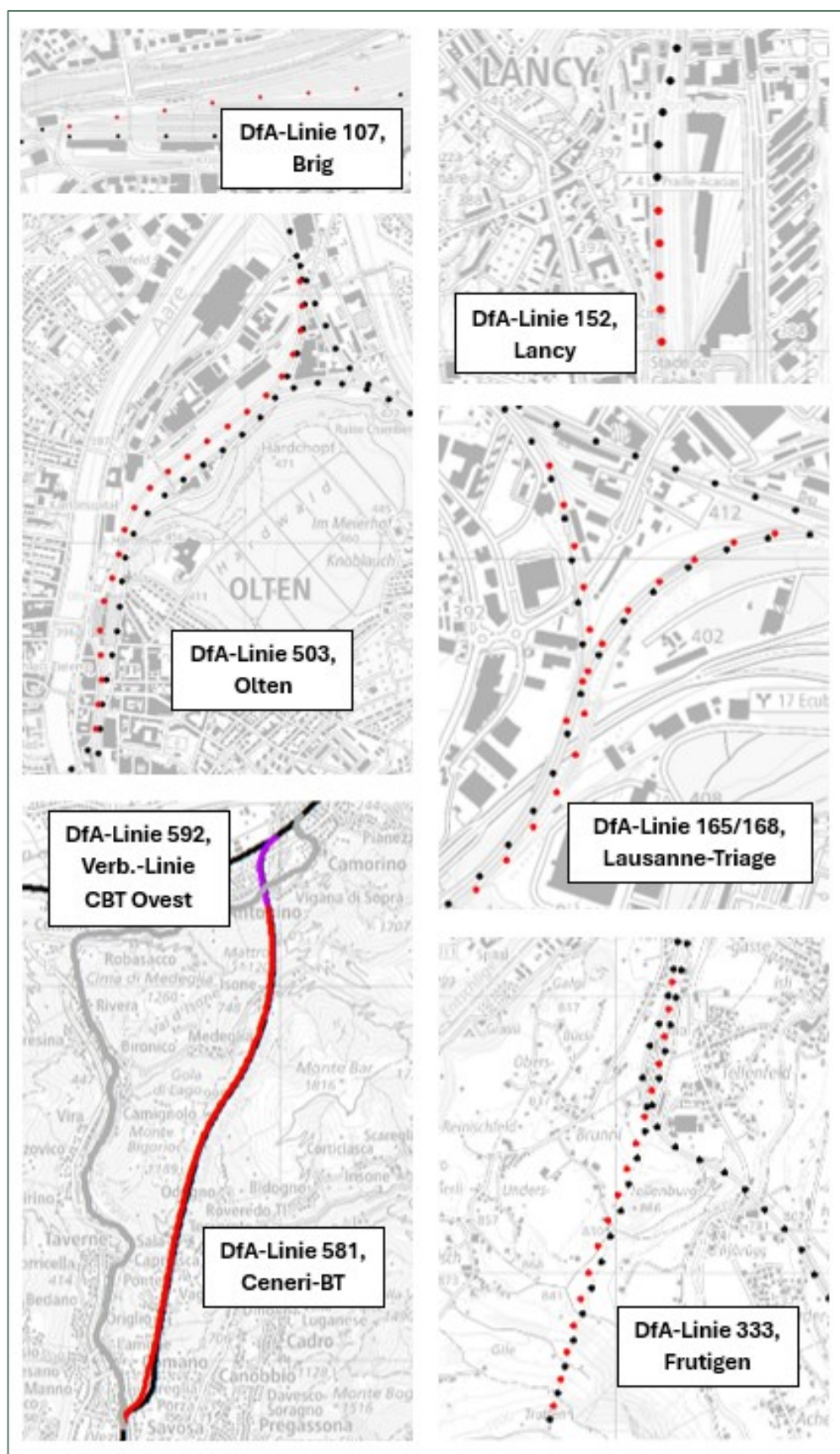


Abbildung 2: Lokale Anpassungen am Screeningnetz, die in Abbildung 1 nur schlecht erkennbar sind. Die roten Punkte bezeichnen Subelemente, die neu hinzugefügt wurden.

3. Übersicht Parameteraktualisierung und methodische Anpassungen

Die umfangreichen Daten, die jedem Subelement zugeordnet sind, bedürfen einer periodischen Aktualisierung. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind alle Attribute (bzw. Gruppen von ähnlichen Attributen) aufgeführt, die für die Ermittlung der Störfallhäufigkeit sowie das Schadenausmass für Personen, Oberflächengewässer und genutzte Grundwasserträger erforderlich sind. Zudem ist angegeben,

- welche Attribute netzweit aktualisiert werden bzw. wo dies nur für die neu ins Screeningnetz aufgenommenen Linien gilt,
- welche Attribute dabei aus dem neuen Tool «BASE» übernommen werden.

Das Vorgehen zur Aktualisierung dieser Attribute ist in Kapitel 4 dokumentiert.

Attribut / Attributgruppe	Aktualisierung	Übernahme aus BASE
Lokalisierung und Bezeichnungen (Koordinaten, DfA-Linie und -kilometrierung, Ortsname, Kanton, Segmentbezeichnung für Personenrisiken) ¹	neue Strecken	teilweise ²
Länge Subelement	neue Strecken	nein
Streckentyp (Unterscheidung Tunnel, offene Strecke und Bahnhofsbereich)	gesamtes Netz (nur Tunnel)	teilweise ³
Lage von Weichen, ausgedrückt als Weichendichte	neue Strecken	teilweise ⁴
Zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge	gesamtes Netz	ja
Abdeckung mit Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen (HFO)	neue Strecken	nein
Gefahrgutmengen (total und pro Leitstoff), Anteil UN 1017 am Leitstoff Chlor	gesamtes Netz	ja
Exposition von Anwohnern und Personen an ihren Arbeitsplätzen	gesamtes Netz	ja
Exposition von Reisenden auf Perrons	gesamtes Netz	ja
Anzahl Reisezüge und deren mittlere Besetzung	gesamtes Netz	ja
Unterscheidung Ein- versus Mehrspurstrecken	gesamtes Netz	ja
Zugänglichkeit (aus Sicht Selbst- und Fremdrettung)	neue Strecken	nein
Mögliche Freisetzungsorte (links / Mitte / rechts relativ zum Gleis, abhängig z.B. von Stützmauern)	neue Strecken	nein
Art der Entwässerung	neue Strecken	nein

1 Clusterbezeichnungen werden weder für das alte Screeningnetz aktualisiert noch für die neuen Linien vergeben.

2 Ortsname und Segmentbezeichnung werden nur für neue Linien aktualisiert und stammen nicht aus BASE. Alle anderen Attribute wurden aus BASE übernommen.

3 Der Gliederung zwischen Tunnel und restlichen Streckenabschnitten wird netzweit aus BASE übernommen. Die Unterscheidung zwischen Bahnhof und offener Strecke wird nur für die neuen Linien vorgenommen; sie fehlt in BASE und hat rein informativen Charakter, also keinen Einfluss auf die Berechnung der Risiken in TgG.

4 Die Basisdaten (Gleis- und Weichenlage) sind die gleichen wie in BASE, nicht jedoch die Datenaufbereitung (in BASE werden statt einer Weichendichte drei andere Attribute verwendet, die von der Weichenlage abhängen).

Attribut / Attributgruppe	Aktualisierung	Übernahme aus BASE
Fördermenge relevanter Grundwasserfassung	neue Strecken	nein
Flurabstand Grundwasserträger und dessen Fliessrichtung	neue Strecken	nein
Rückhalt Gefahrgut in ungesättigter Zone	neue Strecken	nein
Lage und Charakteristik naher Oberflächengewässer (OFG)	neue Strecken	nein
Oberflächliche Eintragsmengen in OFG	neue Strecken	nein

Tabelle 1: Attribute bzw. Attributgruppen aus TgG, Ort bzw. Umfang der Aktualisierung und Angabe, ob die Werte aus dem BASE auf das TgG-Netz übertragen werden.

Analog zum Personenscreening 2018 [2] wird die Rate für relevante Freisetzungen von Gefahrgut aktualisiert. Dazu werden Daten zu Störfällen und Bahnunfällen aus den Jahren 2019 – 2023 mitberücksichtigt mit dem Ziel, die bisherige Trendanalyse fortzuschreiben und daraus die aktuellen Werte für die Freisetzungsraten pro Leitstoff und pro gefahrenem Kesselwagenkilometer zu ermitteln, vgl. Kapitel 5. In diesem Zusammenhang wurden auch einige methodische Anpassungen, die in den letzten Jahren erarbeitet wurden, vorgenommen (s. Kap. 5).

Schliesslich wurde die Berechnung des Störfallwerts für den Schadenindikator «verschmutzte unterirdische Gewässer» an die aktuell gültigen Beurteilungskriterien angepasst (vgl. Kapitel 5.6).

4. Aktualisierung ortsspezifischer Parameter

4.1 Allgemeines zur Übertragung von Daten aus BASE

Die Aktualisierung der Daten in TgG folgte der Philosophie, möglichst einen ähnlichen Datenstand wie in BASE zu erreichen. Dies betrifft sowohl Daten, die in BASE pro Linie vorliegen (Bahninfrastrukturdaten) als auch Daten, die in Form von Rastern vorliegen (Bevölkerungsdaten). Im Unterschied zu TgG sind in BASE lediglich Daten für die Ermittlung der Personenrisiken hinterlegt, da nur letztere mit BASE ermittelt werden können. Die Aktualisierung der Daten für die Umweltrisiken folgte damit der Methodik aus den früheren Aktualisierungen.

Bei Attributen, die in BASE pro Linie vorliegen, gibt es folgende wesentlichen Unterschiede in Bezug auf die Datenhaltung:

- Die räumliche Auflösung des Gefahrgutnetzes beträgt in BASE 10 m (Abstand zwischen Gleis- und Linien-Ereignispunkten auf dem jeweiligen Gleis / der jeweiligen Linie), in TgG jedoch 100 m (Abstand zwischen Datenpunkten, d.h. den Punkten zur Charakterisierung eines Subelements).
- Parallel verlaufende Linien werden in TgG in den meisten Fällen nicht unterschieden, d.h. ein TgG-Subelement repräsentiert teilweise mehrere parallele Linien. In BASE ist dies nicht der Fall, d.h. parallele Linien werden durch parallele Ketten von Linien-Ereignispunkten (Linien-EP) berücksichtigt.

Für die Übertragung von Attributen von BASE auf TgG gilt Folgendes (vgl. auch Abbildung 3 weiter unten):

- Pro TgG-Datenpunkt wird der BASE-Linien-Ereignispunkt zugeordnet, der am nächsten liegt. Repräsentiert ein TgG-Datenpunkt nur eine Linie, so gehört zu einem Linien-EP genau ein TgG-Datenpunkt. Die Übertragung von Attributen erfolgt dann 1:1. Bei zwei oder mehr parallelen Linien mit nur einem TgG-Datenpunkt werden letzterem zwei oder mehr BASE-Linien-EP zugeordnet (vgl. Beispiel oben rechts in Abbildung 3). Die Übertragung von Werten aus BASE nach TgG erfolgt in diesem Fall wie folgt:
 - Summierbare Attribute (Gefahrgutmengen, Anzahl Reisezüge) werden über die Linien-EP summiert, bevor der resultierende Werte auf den TgG-Datenpunkt übertragen wird.
 - Bei Attributen, die nicht summiert werden sollen (zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge, Belegung Reisezüge) wird der Höchstwert über alle Gleis-EP auf den TgG-Datenpunkt übertragen. Diesem wird zudem das Merkmal «Mehrspurstrecke» zugeordnet.
- Die Gruppierung von UN-Nummern nach Leitstoffen wird in BASE anders vorgenommen als in TgG. Indem entsprechende Daten von BASE nach TgG übertragen werden, «vererben» sich diese Unterschiede auch auf TgG und die dortigen Ergebnisse (siehe Kap. 4.2.4).

Der Zusammenhang zwischen Linien-EP in BASE und TgG-Datenpunkten sowie die Zuordnung von Attributen zwischen den beiden ist in der folgenden Abbildung 3 dargestellt.

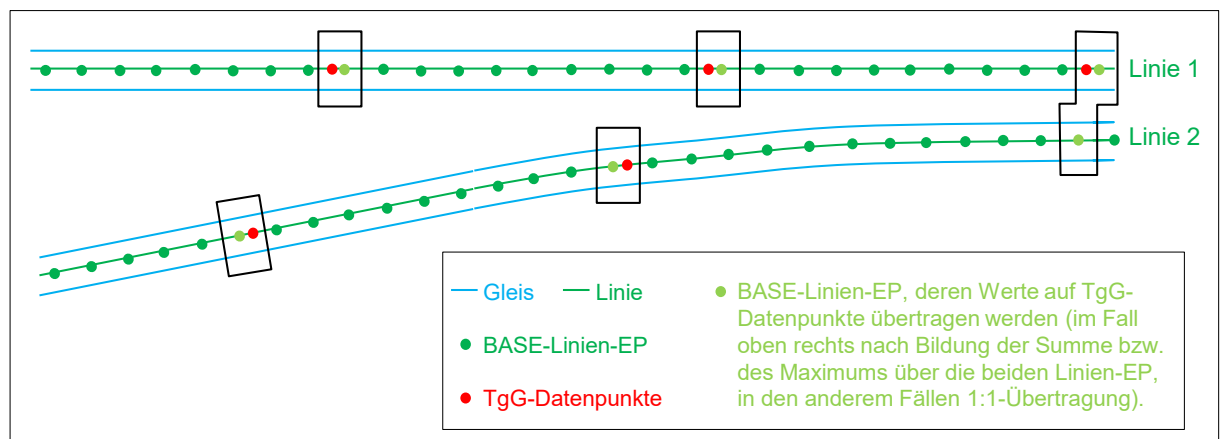


Abbildung 3: Schematische Darstellung von Linien-Ereignispunkten (EP) in BASE und TgG-Datenpunkten. Die schwarzen Polygone stellen dar, von welchen Linien-EP aus Werte auf TgG-Datenpunkte übertragen werden. Ganz links ein Beispiel, bei dem Werte (z.B. die summierte Gefahrgutmengen) von 2 Linien-EP einem einzigen TgG-Datenpunkt zugeordnet werden, da dieser dort beide Linien repräsentiert.

Im folgenden Kapitel 4.2 wird beschrieben, wie die Attribute für die Ermittlung der Personenrisiken (Häufigkeit und Schadenausmass) aktualisiert werden. In Kapitel 4.3 ist gleiches für das Schadenausmass in Bezug auf die Umweltrisiken dokumentiert.

Auf folgende Attribute sowie Datensätze wird in den beiden folgenden Kapiteln nicht eingegangen:

- Für neue Strecken wurden die TgG-Datenpunkte entlang eines aktuellen Linien-Datensatzes der SBB gesetzt, welcher alle Normalspurstrecken von schweizerischen Infrastrukturbetreiberinnen (ISB) enthält. Die zugehörige Kilometrierung wurde ebenfalls mit einem aktuellen SBB-Datensatz ermittelt.
- Tunnelstrecken sind in den Daten zu den störfallrelevanten Linien, die für BASE zur Verfügung standen, exakt abgebildet; diese Information wird deshalb netzweit nach TgG übertragen. Die Unterscheidung nach offenen Strecken bzw. Bahnhofsbereichen in TgG hat weder Einfluss auf die Risikoberechnung noch deren Darstellung und wird deshalb nur für neue Linien vorgenommen.
- Die Länge der neuen Subelemente wird mittels GIS bestimmt (bei Knoten, Linienenden und an Landesgrenzen, wo diese nicht a priori 100 m beträgt).
- Die Segmenteinteilung wurde für neue Strecken vom BAV definiert.
- Identifikationsmerkmale wie Name und Kanton wurden händisch vergeben bzw. basierend auf den Kantons Grenzen ermittelt.

4.2 Einflussgrößen auf die Personenrisiken

4.2.1 Weichendichte

Die Weichenstandorte wurden durch eine GIS-Analyse aus dem GTG-Gleisdatensatz der SBB (Stand 30.08.2022) bzw. - für DICH/BEV-Strecken - aus dem TLM-Datensatz von swisstopo als Punktedatensatz erzeugt. Dabei wurden Weichen berücksichtigt, die zwei Hauptgleise⁵ oder je ein Haupt- und Nebengleis verbinden. Weichen zwischen zwei Nebengleisen werden nicht berücksichtigt.

Die Weichendichte wurde ausschliesslich für die neuen Subelemente (vgl. Kapitel 2) ermittelt, da davon ausgegangen werden kann, dass in den letzten fünf Jahren nur wenige Weichenstandorte geändert haben. Das Vorgehen zur Ermittlung der Weichendichte ist dasselbe wie im Screening 2018 (vgl. Abbildung 4):

- Pro Subelement wird in beide möglichen Richtungen ein Liniensegment von je 150 m Länge erstellt (d.h. Gesamtlänge 300 m). Über eine Weiche hinaus wird der Strang ausgewählt, der stärker befahren wird (grössere Zahl an Güterzügen mit Gefahrgut).
- Das Liniensegmente wird beidseits mit 5 m gepuffert (Resultat: Polygon in Form eines 10 m breiten Streifens entlang des jeweiligen Gleises) und die Anzahl Weichen innerhalb des Polygons ermittelt.
- Die Zahl der Weichen wird den gleichen Klassen wie im Screening 2018 zugeordnet: 0, 1–2 und >2.

5 Als Hauptgleise gelten alle Gleise, auf denen zwischen 01.01.2017 und 30.08.2022 mindestens eine Zugfahrt verkehrte.

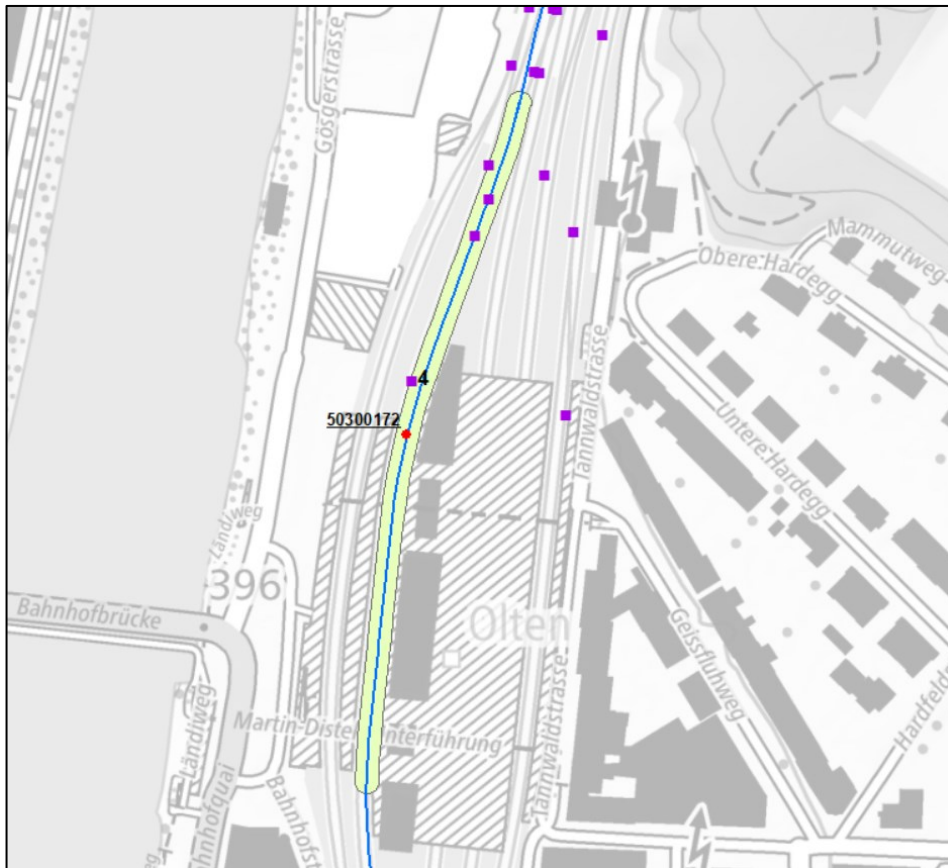


Abbildung 4: Beispiel für Ermittlung Weichendichte für Subelement mit ID 50300172 beim Bahnhof Olten. Das massgebliche Polygon von 2*5 m Breite und 2*150 m Länge ist grün dargestellt, die Weichenstandorte violett. Im Beispiel liegen 4 Weichen im Polygon, so dass dem Subelement die Weichendichte «>2» zugeordnet wird.

4.2.2 Zulässige Geschwindigkeit für Güterzüge

Für BASE wurden die örtlich zulässigen Höchstgeschwindigkeiten für Güterzügen von der SBB über den «eRADN-Service» im XML-Format zur Verfügung gestellt (eRADN-Service – Streckentabellen | SBB). In einem aufwändigen Verfahren wurden die Fahrdaten in eine leserliche Tabellenform transformiert:

- Einträge auf Zugreihe «A» mit Bremsverhältnis «95 %» filtern.
- Mittels Python-Skript die Kurvengeschwindigkeiten, die Streckengeschwindigkeiten und die Bahnhofsgeschwindigkeiten aus XML extrahieren:
 - Kurvengeschwindigkeiten: Zug-Fahrgeschwindigkeiten in der Kurve,
 - Streckengeschwindigkeiten: Zug-Fahrgeschwindigkeiten von Betriebspunkt zu Betriebspunkt (BP),
 - Bahnhofsgeschwindigkeiten: Zug-Fahrgeschwindigkeiten zwischen der ersten und letzten Weiche innerhalb eines Bahnhofs.
- Streckenlinien auf DfA-Linie mappen.
- Als Ergebnis lag dann pro Fahrtrichtung die Streckengeschwindigkeit zwischen definierten Kilometrierungswerten innerhalb der gleichen DfA-Linie vor (vgl. Beispiel in Tabelle 2). Tabelle 2: Auszug der Daten für DfA-Linie 310 mit Fahrgeschwindigkeiten (für aufsteigende Kilometrierung).

Diese Zwischenergebnisse wurden dann wie folgt aufbereitet:

DfA	kmVon	kmBis	bpAbkuerzung	geschwindigkeit_type	geschwindigkeit
310	0.07	2.56	GW	streckenGeschwindigkeit	85
310	2.56	3.19	GW	bahnhofGeschwindigkeit	85
310	3.19	5.4		streckenGeschwindigkeit	90
310	5.4	9.42		streckenGeschwindigkeit	90
310	9.42	9.97	SP	bahnhofGeschwindigkeit	90
310	9.97	10.33		streckenGeschwindigkeit	95

Tabelle 2: Auszug der Daten für DfA-Linie 310 mit Fahrgeschwindigkeiten (für aufsteigende Kilometrierung).

Diese Zwischenergebnisse wurden dann wie folgt aufbereitet:

- Maximalwert über beide Fahrtrichtungen ermitteln und mit Faktor 0.8 multiplizieren. Durch diese Skalierung wird grob berücksichtigt, dass Gefahrgutzüge in der Regel nicht mit der örtlich zulässigen Höchstgeschwindigkeit unterwegs sind.
- Zuordnung zu den folgenden Geschwindigkeitsklassen in TgG (Vielfache von 10 km/h): 20 km/h, 30 km/h, ... , 100 km/h. An den Klassengrenzen wird jeweils aufgerundet (z.B. 65 km/h → 70 km/h).⁶

Werden im Sinne der Abbildung 3 mehreren Linien-Ereignispunkten in BASE mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ein Datenpunkt in TgG zugeordnet, so wird die höhere Geschwindigkeitsklasse nach TgG übertragen.

Die für das Screening verwendete Höchstgeschwindigkeit ist in Abbildung 5 visualisiert. Diese Werte gelten nicht für Chlor (UN 1017), da dieser Stoff ausschliesslich in Sonderzügen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h transportiert wird. Entsprechend basiert die von der Geschwindigkeit abhängige Freisetzungshäufigkeit beim Leitstoff Chlor aus zwei additiven Beiträgen: Für den Anteil der Kesselwagen mit Chlor (UN 1017) wird von einer Geschwindigkeit von max. 40 km/h ausgegangen; für den restlichen Anteil (also Kesselwagen mit toxischen Gasen ausser Chlor) wird die vorgegebene maximale Geschwindigkeit gemäss Abbildung 5 verwendet. Diese beiden Anteile werden dann addiert.

⁶ In BASE wird eine andere Klasseneinteilung verwendet, auf die hier nicht eingegangen wird. Die Übertragung von BASE auf TgG basiert auf Werten, die entsprechend der Klassenbildung in TgG festgelegt werden.

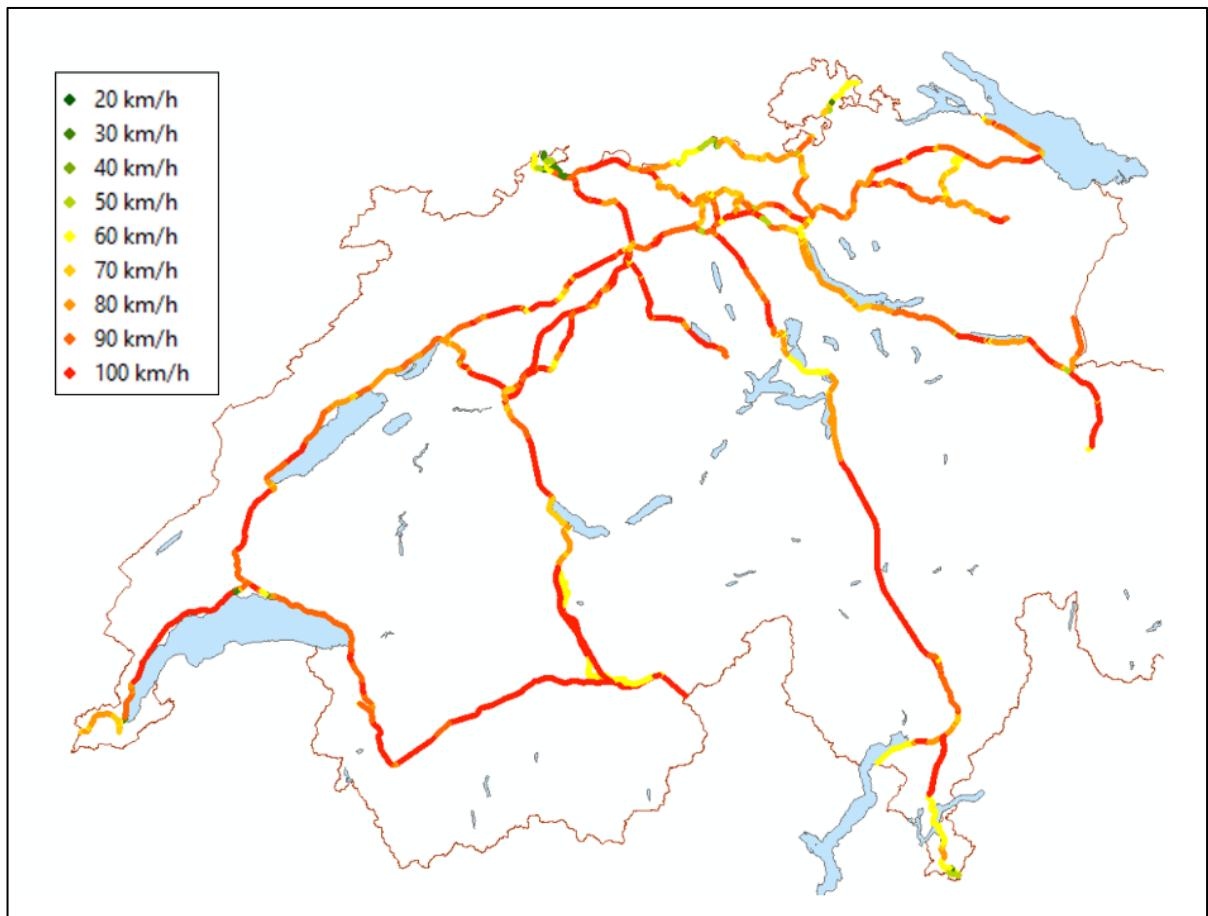


Abbildung 5: Höchstgeschwindigkeit von Güterzügen (Maximum über beide Fahrtrichtungen), welche im Screening verwendet wird.

4.2.3 Abdeckung mit Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen

Per 1.1.2023 waren auf dem Netz der SBB bzw. der BLS an insgesamt 55 Standorten Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen (HFO) installiert (vgl. Abbildung 6).⁷ An allen Standorten werden sämtliche Hauptgleise und damit auch alle Fahrtrichtungen abgedeckt. Die Strecken der DICH/BEV weisen keine solchen Anlagen auf.

Um die Abstände zur jeweils nächsten HFO pro Fahrtrichtung für die neuen Linien zu ermitteln, wurde wie folgt vorgegangen:

- Für die neuen Strecken Winterthur Ost – Frauenfeld – Weinfelden und Grenze bei Weil am Rhein - Basel Badischer Bahnhof - Grenze bei Grenzach sind für eine Fahrtrichtung die Abstände zu den in Abbildung 6 rot umkreisten HFO-Standorten massgeblich. Die jeweils andere Fahrtrichtung (Fahrten aus dem Raum Bodensee bzw. aus Deutschland) wird der Klasse mit der schlechtesten HFO-Abdeckung zugeordnet.
- Für alle anderen neuen Streckenabschnitte gemäss Abbildung 1 wird der Wert vom jeweils nächstliegenden TgG-Datenpunkt übernommen (dieser liegt meist in unmittelbarer Nähe auf einer parallelen Linie).

⁷ Quelle: Excel-Liste von SBB-Infrastruktur (I-SQU-UEW-ZKE), erhalten am 23.04.2024.

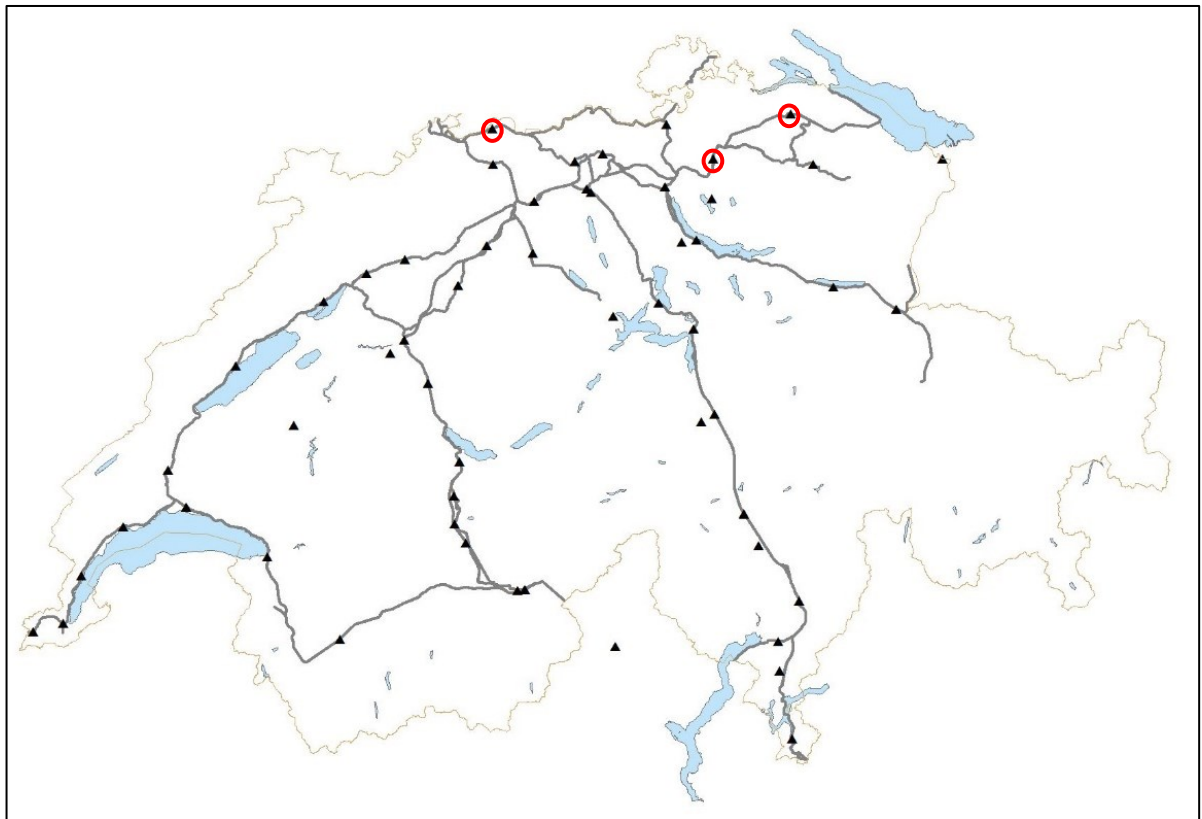


Abbildung 6: Standorte der total 55 HFO auf dem Netz der SBB bzw. der BLS (schwarze Dreiecke) und Stecken des Screeningnetzes (grau).

4.2.4 Gefahrgutmengen

Im Zusammenhang mit der Übernahme der Gefahrgutmengen für die drei Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor von BASE auf TgG sind folgende Unterschiede im Vergleich zu den im Screening 2018 verwendeten Gefahrgutmengen wichtig:

- Beim Leitstoff Benzin wird auf eine Gewichtung der Gefahrgutmenge in Abhängigkeit des Stoffs (UN-Nr.) bzw. dessen Eigenschaften (Flammpunkt beim Leitstoff Benzin) verzichtet.⁸ Der zahlenmässig bedeutendste Unterschied betrifft Mineralölprodukte mit einem Flammpunkt zwischen 23 und 61 °C (z.B. Heizöl / Diesel, UN 1202, sowie Kerosin, UN 1223); diese werden beim Leitstoff Benzin nicht mehr berücksichtigt (statt wie bisher Berücksichtigung mit einem Gewichtungsfaktor von 0.3).
- Beim LS Chlor wird ein Gewichtungsfaktor von 0.1 für die Gefahrgutmenge aller Stoffe ausser Cl₂ (UN1017) verwendet. Andere stark toxische Gase, die bisher einen Gewichtungsfaktor von 1.0 hatten, werden im Vergleich zu Cl₂ in wesentlich geringeren Mengen transportiert, so dass sie mengenmässig nicht ins Gewicht fallen.
- Die UN-Nummern, welche den obigen drei Leitstoffen zugeordnet werden, haben im Rahmen des Projekts BASE einige Änderungen erfahren. Diese sind in Anhang A1 dokumentiert. Neu werden dem Leitstoff Chlor nur noch Stoffe zugeordnet, die bei Standardbedingungen (Temperatur 0°, Druck 1 bar) gasförmig sind. Humantoxische Flüssigkeiten, die

8 Bei Leitstoff Propan wurde in TgG nie eine Gewichtung verwendet.

nicht brennbar sind, werden in TgG nicht mehr bei einem Leitstoff berücksichtigt (in BASE gibt es jedoch zwei Stoffkategorien für humantoxische Flüssigkeiten).

- Die ausgewiesenen Gefahrgutmenge basieren auf dem Mittelwert über die Kalenderjahre 2018 – 2022 (Einheit ist unverändert Nettotonnen/Jahr) und stammen nicht mehr aus dem letzten verfügbaren Kalenderjahr. Jährliche Unterschiede werden somit über die letzten fünf Jahre ausgemittelt.
- Für die Ermittlung der Gefahrgutmengen pro Leitstoff werden nur Wagen berücksichtigt, in welchen mindestens 10 t des jeweiligen Stoffs transportiert werden («volle Wagen»). Dies gilt nicht für die gesamte Gefahrgutmenge; bei dieser werden somit auch «nicht volle Wagen» berücksichtigt (dieses Attribut dient nur der Information und hat keinen Einfluss auf die Risikoabschätzungen).
- Ebenfalls geändert hat die Datenquelle: Da ANABEL 2.0 als bisherige Datenquelle keine gleisscharfe Zuordnung der Fahrwege von Gefahrgutzügen erlaubt, wurden in BASE neu folgende Datenquellen der SBB verwendet, welche alle Transporte auf allen Normalspurstecken der Schweizer ISB (d.h. SBB (inkl. Töchter), BLS, SOB und Hafenbahnen in Raum Basel) umfassen:⁹
 - Tabelle aller Güterzüge in einer definierten Formation, die zwischen dem 01.01.2018 und dem 31.12.2022 verkehrt sind und in mindestens einem Wagen Gefahrgüter (d.h. einen Stoff mit einer, einem Leitstoff zugeordneten UN-Nummer) befördert hat. Für jeden Zug ist pro Wagen angegeben, welcher Stoff (charakterisiert durch die UN-Nr.) in welchen Nettomengen (d.h. ohne Gewicht von Wagen und Behältnis) transportiert wurde. Güterzüge, bei denen unterwegs die Wagenreihung geändert wird, sind mehrfach mit unterschiedlicher Formations-ID erfasst. Ein Zug ist eindeutig charakterisiert durch den Betriebstag (Datum bei Abfahrt) und die Formations-ID.
 - Tabelle, in der pro Güterzug gemäss obiger Tabelle der gleisscharfe Fahrweg abgebildet ist. Dies erfolgt durch eine Abfolge von IDs, welche die Gleisstränge beschreiben, die zum Zeitpunkt der Fahrt Gültigkeit hatten und in der angegebenen Reihenfolge zwischen Ausgangspunkt der Fahrt und Zielort abgefahren wurden. Die Gleisstränge stellen in der Regel (aber nicht immer) die Verbindung zwischen zwei benachbarten Weichen dar.¹⁰

Die Aufbereitung der Gefahrgutmengen in BASE wird im Rahmen von BASE dokumentiert; hier wird nicht darauf eingegangen. Werden im Sinne der Abbildung 3 mehreren Linien-Ereignispunkten in BASE mit unterschiedlichen Gefahrgutmengen einem Datenpunkt in TgG zugeordnet, so werden die Summenwerte (total und pro Leitstoff) sowie der mittlere Anteil von UN-Nr. 1017 am Leitstoff Chlor nach TgG übertragen.

Ein Spezialfall stellt die DB-Strecke zwischen der Grenze südlich von Weil am Rhein über den Badischen Bahnhof bis zur Grenze Richtung Grenzach dar (Strecke 4000). Für diesen kurzen Streckenabschnitt standen lediglich die Gefahrgutmengen der DB aus dem Jahr 2023 zur Verfügung, sodass eine Mittelung über mehrere Jahre nicht möglich war. Gemäss den Daten der

9 Die Daten enthalten z.B. auch Transporte von DB Cargo. Nicht erfasst sind lediglich Transporte auf Strecken der Deutschen Infrastruktur auf Schweizer Hoheitsgebiet bzw. des Bundeseisenbahnvermögens (abgekürzt DICH/BEV).

10 Gleisstränge, die am 01.08.2022 mit der angegebenen ID Teil des sog. GTG-Gleisdatensatzes war, der in BASE verwendet wurde, liegen als Linien in einem GIS-Datensatz vor. Die Lage ältere Gleisstränge liegt lediglich als Kette von Punkten mit einem Abstand von 10 m vor. Die Zuordnung dieser Punktekette auf das Netz per 01.08.2022 enthält infolge der beschränkten räumlichen Auflösung Unschärfen, welche die korrekte Zuordnung erschweren.

DB wurden im Jahr 2023 über diese Strecke 57'419 t Gefahrgut transportiert. Angaben zu den befahrenen Gleisen liegen nicht vor.

Angesichts fehlender gleisscharfer Daten wurden folgende Annahmen getroffen (die farbigen Bezeichnungen beziehen sich auf Abbildung 7:

- Von Weil am Rhein via Basel Badischer Bahnhof nach Grenzach verkehren total ca. 29'000 t Gefahrgut im Rechtsverkehr (**WEIL**). In umgekehrter Richtung verkehren total ca. 28'400 t Gefahrgut, ebenfalls im Rechtsverkehr (**GRENZ**).
- Zwischen dem Hafen Kleinhüningen und dem Badischen Bahnhof verkehren total ca. 30'000 t Gefahrgut (**A**) (aufgrund der geringen Mengen wurde der Streckenabschnitt ab der Verzweigung nach Weil am Rhein aus dem Screeningnetz entfernt).
- Von der Basler Wettsteinbrücke bis zum Basel Badischer Bahnhof verkehren total ca. 7'445'000 t Gefahrgut (**B**).
- Die Gefahrgutmengen aus B verkehren weiter bis nach Weil am Rhein im Rechtsverkehr. Beim Aufeinandertreffen der Abschnitte A und B wird die Differenz gebildet – total ca. 7'415'000 t Gefahrgut (**DIFF**).
- Für den weiteren Streckenabschnitt von **DIFF** nach Weil am Rhein werden die Gefahrgutmengen aus den Streckenabschnitten **GRENZ** und **WEIL** dazu addiert. Es verkehren dort also total ca. 7'472'400 t Gefahrgut (**C**).

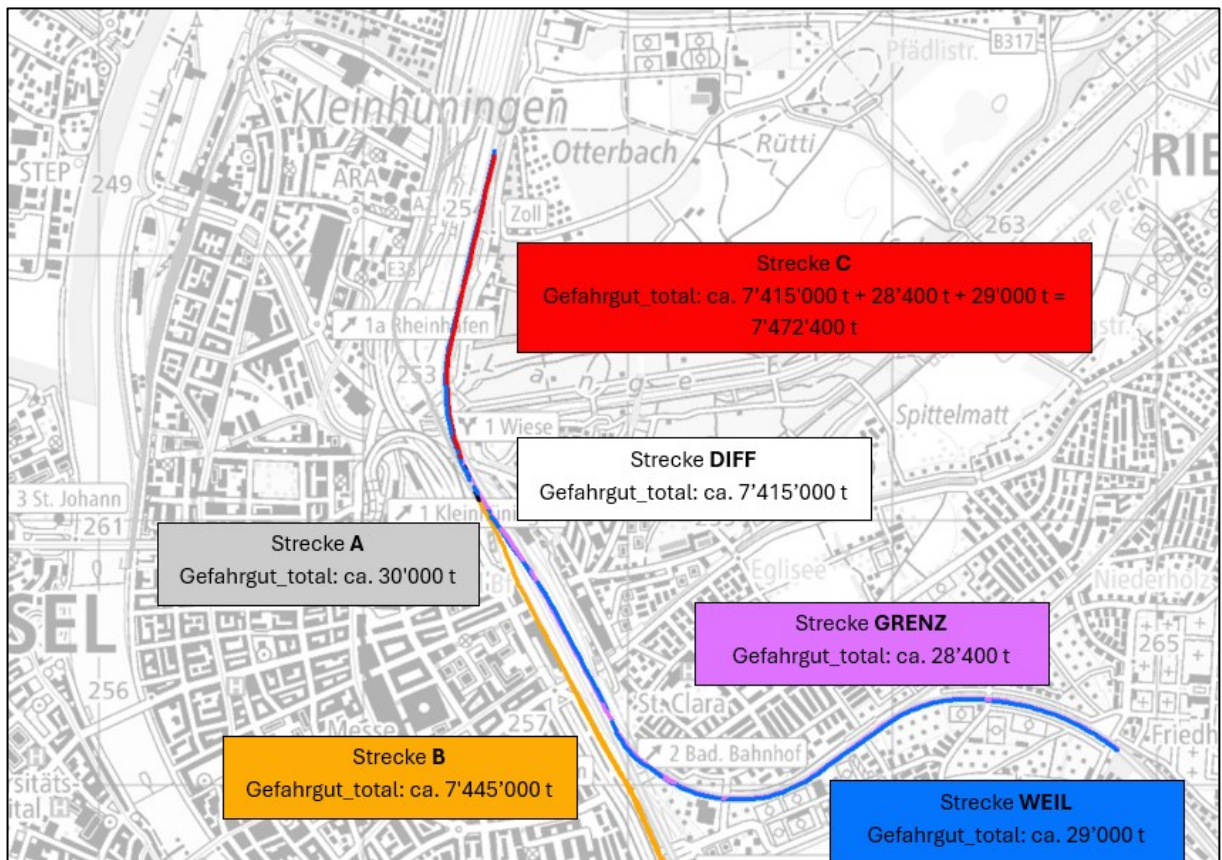


Abbildung 7: Aufteilung der Gefahrgutmengen auf die einzelnen Streckenabschnitte im Raum Basel Badischer Bahnhof.

Für die folgenden Streckenabschnitte an den Landesgrenzen wurden die Gefahrgutmengen auf benachbarte Datenpunkte extrapoliert (analog BASE): Basel St. Louis, Thayngen und Kreuzlingen (siehe Abbildung 8).

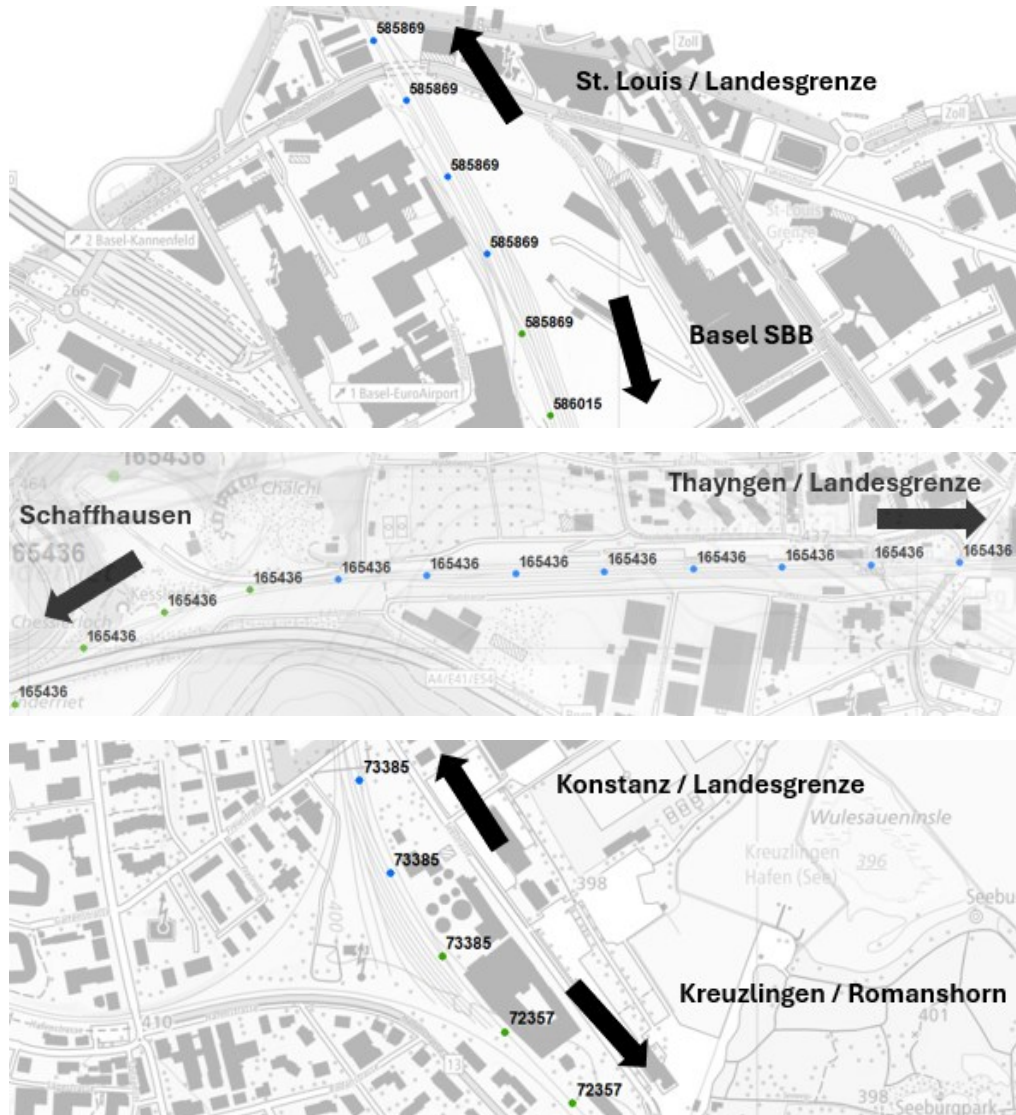


Abbildung 8: Beobachtete wahre Gefahrgutmengen = grün; extrapolierte Gefahrgutmengen = blau
Gefahrgutmengen in Tonnen (gerundet)

Im Gegensatz zu BASE fließen in TgG die Gefahrgutmengen pro Leitstoff in die Risikoberechnung ein.¹¹ Deshalb wurden die Gefahrgutmengen in TgG auf Plausibilität geprüft und bei offensichtlichen Fehlern, die eliminiert werden können, korrigiert. Das Vorgehen ist in Anhang A2 beschrieben.

¹¹ In BASE werden die Gefahrgutmengen nur für Informationszwecke angegeben; für die Risikoberechnung wird die Zahl der Güterzüge mit mindestens einem vollen Wagen verwendet.

4.2.5 Exposition von Anwohnern und Personen an Arbeitsplätzen

Die Daten für die Aktualisierung der Exposition von Anwohnern bzw. Personen an Arbeitsplätzen stammen aus BASE und basieren auf gebäudescharf georeferenzierten Daten, die für das «Erdbebenrisikomodell Schweiz (ERM-CH)» unter Leitung des BAFU aufgearbeitet wurden. Angaben zum Vorgehen und einige summarische Ergebnisse finden sich in Kapitel 4 von [5]. Folgenden Datenquellen wurden dabei verwendet:

- eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) des Bundesamts für Statistik.
- amtlicher Vermessungsdatensatz (AV-Datensatz) der Swisstopo.
- Anwohner: STATPOP 2020, d.h. Stand per 31.12.2020
- Arbeitsplätze: STATENT 2020, d.h. Stand gemäss Betriebsbefragung im Jahr 2018.

Im Rahmen des ERM-CH wurden die STATENT- und STATPOP-Daten über den Gebäudgrundriss aus dem AV-Datensatz effektiven Gebäuden im GWR zugeordnet. So wurden 8.47 Mio. Anwohner 1.52 Mio. Wohngebäuden und 4.02 Mio. Vollzeit-Äquivalente 389'136 Betriebsstätten zugeordnet (Quelle der Zahlen: Kapitel 4, [5]).

Die Bevölkerungsdaten aus ERM-CH wurden in BASE unter Berücksichtigung des Gebäudgrundrisses quadratischen Rasterzellen mit einer Seitenlänge von 10 m zugeordnet.¹² Für die Ermittlung der Zahl der Anwohner bzw. Arbeitsplätze in einem definierten Abstandsbereich (z.B. 0 – 50 m) werden letztere dem Mittelpunkt der Rasterzelle zugeordnet (dessen Lage entscheidet also, welchem Abstandsbereich alle Personen einer Rasterzelle zugeordnet werden).

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.

Zusammenfassend lässt sich Folgendes festhalten: Dank der Vorarbeiten des BAFU im Rahmen des Modells ERM-CH und der Aufbereitung in BASE unter Berücksichtigung der Gebäudgrundrisse stehen nicht nur aktuellere, sondern auch qualitativ bessere Daten zur Exposition von Anwohnern und Arbeitsplätzen in TgG zur Verfügung als im Screening 2018.

4.2.6 Exposition von Reisenden auf Perrons

Folgende Daten pro Bahnhof (solche von SBB, BLS und SOB) sowie Annahmen werden in BASE verwendet, um die Exposition von Reisenden auf Perrons abzubilden:

- Open-source-Datensatz «Ein- und Aussteigende an Bahnhöfen».¹³ Erfasst sind pro Bahnhof bzw. Haltestelle die Anzahl Personen, die im Jahr 2018 in Züge ein- oder ausstiegen oder zwischen solchen umstiegen. Als Mittelwert über alle Wochentage wird der Wert als DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr) bezeichnet.¹⁴

¹² Liegt ein Gebäude über mehreren Rasterzellen, so werden die Personen proportional zur Gebäudegrundfläche pro Rasterzelle verteilt. Liegt also z.B. 10% des Grundrisses eines Gebäudes mit insgesamt 40 Anwohnern in einer Rasterzelle, so werden dieser 4 Anwohner zugeordnet.

¹³ Auszug aus der «Ein-Aussteiger Datenbank», heruntergeladen im September 2022 von folgender Website: <https://data.sbb.ch/explore/dataset/passagierfrequenz/>. Die Werte werden aus Befragungen von Reisenden in Zügen (Start und Ziel der Reise) und aus manuellen bzw. automatischen Zählungen in Reisezügen abgeleitet.

¹⁴ Seit Frühling 2023 sind über die gleiche Webseite auch Werte für die Jahre 2019 bis 2022 veröffentlicht. Auf einen Einbezug von Daten aus neueren Jahren wurde wegen dem Einfluss von Corona verzichtet.

- Perrons in Form von meist mehreren Polygonen pro Bahnhof aus dem Datensatz «SwissTLM3D, Objektklasse “Verkehrsbaute_PLY“, Objektart “Perron”», Stand 2023
- Es wird jeweils angenommen, dass die Reisenden gleichmässig über die Gesamtheit aller Perronflächen eines Bahnhofs verteilt sind.
- Für das Screening wird eine mittlere Zahl von Personen benötigt, die sich tags bzw. nachts im Mittel gleichzeitig auf den Perrons aufhalten. Dazu werden in Absprache mit dem BAV folgende Annahmen getroffen:

- Reisende halten sich im Mittel 4 Minuten auf einem Perron auf.¹⁵

- 73.5% der Reisenden sind tagsüber zwischen 0700 und 1900 Uhr unterwegs, 26.5% während den restlichen Nachstunden (Quelle: Angaben BAV im Rahmen von BASE).

Daraus ergibt sich folgende Zahl $n_{\text{Reisende-Perron},i}$ von gleichzeitig anwesenden Reisenden auf Perrons des Bahnhofs i:

- tagsüber: $n_{\text{Reisende-Perron},i} = \text{DTV} \cdot 0.735 \cdot 4 / (12 \cdot 60) = \text{DTV} \cdot 0.00408$

- nachts: $n_{\text{Reisende-Perron},i} = \text{DTV} \cdot 0.265 \cdot 4 / (12 \cdot 60) = \text{DTV} \cdot 0.00147$

Der weitere Rechengang erfolgt in BASE für jeden Bahnhof analog wie bei den Anwohnern bzw. Arbeitsplätzen (vgl. obiges Kapitel). Anstelle der Gebäudegrundrisse werden die gemäss obiger Formel ermittelten Reisendenzahlen gleichmässig auf die Perronflächen verteilt und anschliessend den einzelnen Rasterzellen mit Kantenlänge 10 m zugeordnet. Anschliessend werden die kumulierten Reisendenzahlen pro Abstandsbereich 0 – 50, 50 – 250, 250 – 500 und 500 – 2'500 m) ermittelt und in eine Dichte umgerechnet. Die Ergebnisse werden unter den Attributnamen «Zus_Pers._tags_x_ym» bzw. «Zus_Pers._nachts_x_ym» abgespeichert (Kurzbezeichnung für «zusätzliche Personen» tags bzw. nachts im Abstandsbereich von x bis y m).

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 Bahnhöfe nicht durch einen schweizerischen ISB betrieben werden. Als Schätzwerte werden Zahlen zu haltenden Reisezügen in Bahnhöfen herangezogen, die zu vergleichbar grossen Ortschaften in der gleichen Region gehören. Für Basel Badischer Bahnhof wird Muttenz herangezogen, für Herblingen und Thayngen Diessenhofen. Der DTV wird dann proportional zur Zahl der haltenden RZ umgerechnet. So ergeben sich folgende Schätzwerte für den DTV:

- Basel-Bad: 7'293,

- Herblingen: 1'429,

- Thayngen: 1'685.

Für alle Bahnhöfe wird angenommen, dass wie bisher 10% der Personen vor Störfallwirkungen so gut geschützt sind, wie wenn sie sich in einem Gebäude aufhalten würden (d.h. für den Parameter «Anteil Zusatzpersonen in Gebäuden» wird für alle Perronbereiche 10% eingesetzt).

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.

4.2.7 Anzahl Reisezüge

Die Daten für die netzweite Aktualisierung der Anzahl Reisezüge stammen aus dem entsprechenden Open-source-Datensatz.¹⁶ Dieser Datensatz deckt – analog zu den Gefahrgutmengen – die fünf Jahre 2018 bis 2022 ab. Erfasst sind alle Reisezugfahrten auf dem Normalstreckennetz der Infrastrukturbetreiberinnen SBB, BLS, Thurbo und SOB. Die Fahrten sind den Kanten eines topologischen Netz zwischen benachbarten Bahnbetriebspunkten zugeordnet. Der Mittelwert über die fünf Jahreswerte wird durch Division durch 365 in mittlere Tageswerte umgewandelt.

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 (Mittel aus Anzahl Fahrten an Dienstagen und Samstagen):

- Basel Badischer Bahnhof – Riehen (DfA-Linie 517),
- Basel Badischer Bahnhof – Grenzach (DfA-Linie 763),
- Basel Badischer Bahnhof – Weil am Rhein (DfA-Linie 518),
- Schaffhausen-Güterbahnhof – Thayngen (DfA-Linie 764).

Auf folgenden Strecken des Screeningnetzes verkehren keine Reisezüge:

- Rangiergleise in den Rangierbahnhöfen Chiasso, Genf, Lausanne-Triage, Limmattal,¹⁷
- Basel SBB RB - Basel Auhafen (DfA-Linie 525),
- Laufenburg – Leibstadt – Klingnau (DfA-Linie 701).

Die untenstehende Abbildung 4 zeigt die mittlere tägliche Zahl der Reisezüge (Summe über beide Fahrtrichtungen) auf dem Screeningnetze im Zeitraum von 2018 bis 2022.

¹⁶ Heruntergeladen am 10.11.2023 von der Website <https://data.sbb.ch/explore/dataset/zugzahlen/>.

¹⁷ 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.

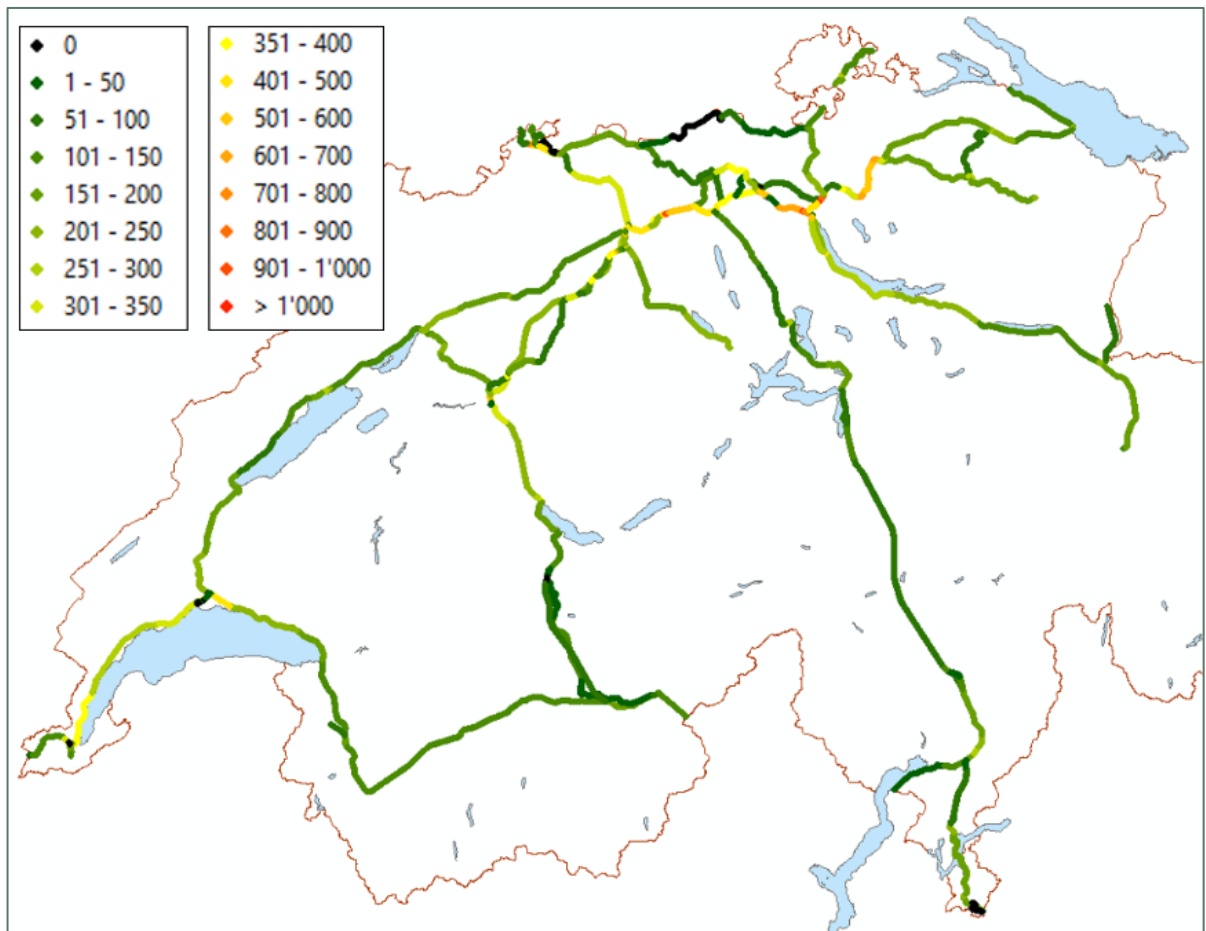


Abbildung 9: Anzahl Reisezugfahrten auf dem Screening-Netz zwischen 2018 und 2022
(Tagesmittel bzw. mittlere Anzahl Fahrten pro Kalenderjahr / 365)

4.2.8 Besetzung Reisezüge

Mangels einfach verwendbarer ortsspezifischer Daten wurde in TgG bisher angenommen, dass sich netzweit überall die gleiche mittlere Zahl von 120 Reisenden in einem Reisezug aufhalten. Im Rahmen von BASE wurde erstmals ein GIS-Datensatz der SBB hinsichtlich der örtlichen Unterschiede in der mittleren Zahl von Reisenden in Zügen ausgewertet. Der zugrunde liegende Datensatz «Zuglaufdaten» der SBB enthält für ca. 67'000 Gleiselemente die über alle Reisezüge gemittelte Zahl von Reisenden, die im Jahr 2019 über dieses Gleiselement gefahren sind. Beim angegebenen Wert handelt es sich somit um einen Mittelwert über alle Tageszeiten und Wochentage.

Für die Verwendung in BASE und TgG ist eine Besetzung pro Linie, und nicht pro Gleis, erforderlich. Dazu wird das gewichtete Mittel der Besetzungen über alle Gleise gebildet (Gewichtung entsprechend der Anzahl Reisezüge). Für die wenigen Datenpunkte, über welche nicht regelmässig Reisezüge der SBB verkehren (Strecken DICH/BEV), wird weiterhin ein Wert von 120 Reisenden pro Reisezug angenommen.

In TgG wird also weiterhin ein zeitlicher Mittelwert zur Besetzung von Reisezügen verwendet, der neu jedoch ortsabhängig ist.

4.2.9 Unterscheidung Einspur- und Mehrspurstrecken

Die Unterscheidung zwischen Einspur- und Mehrspurstrecken erfolgt aus Sicht der Wahrscheinlichkeit, dass unmittelbar nach einem Störfall ein Nothalt eines Reisezugs eingeleitet wird und dieser auf einem nahe liegenden Gleis zum Halt kommt, wo Reisende im Zug Gefahrgutwirkungen ausgesetzt sein können. Verläuft «weit und breit» nur ein Gleis, so ist durch die Zugsicherung gewährleistet, dass ein Reisezug mindestens in Blockabstand zu einem Gefahrgutzug anhält, so dass die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung sehr viel kleiner ist als bei einer Strecke mit mehreren parallelen Gleisen, die gleichzeitig befahren werden können.

In BASE werden Gleis-Ereignispunkte (vgl. Abbildung 3) als Einspurstrecken klassifiziert, wenn gleichzeitig die beiden folgenden Kriterien zutreffen:

- Die zugehörige Linie weist nur ein Gleis auf (d.h. Gleis- und Linien-EP fallen zusammen) und
- die nächste Weiche ist mindestens 500 m entfernt.

Die Übertragung des Merkmals «Ein- bzw. Mehrspurstrecke» von BASE nach TgG erfolgt dann wie folgt:

- Ist einem TgG-Datenpunkt genau ein Linien-Ereignispunkte von BASE zugeordnet, so wird die Ausprägung Ein- bzw. Mehrspurstrecke unverändert übertragen.
- Sind einem TgG-Datenpunkt mehrere Linien-Ereignispunkte von BASE zugeordnet, so wird dem TgG-Datenpunkt die Ausprägung «Mehrspurstrecke» zugeordnet (da mindestens zwei nahe gelegene Linien vorhanden sind).

In der folgenden Abbildung 10 ist die Unterscheidung zwischen Ein- und Mehrspurstrecken dargestellt.

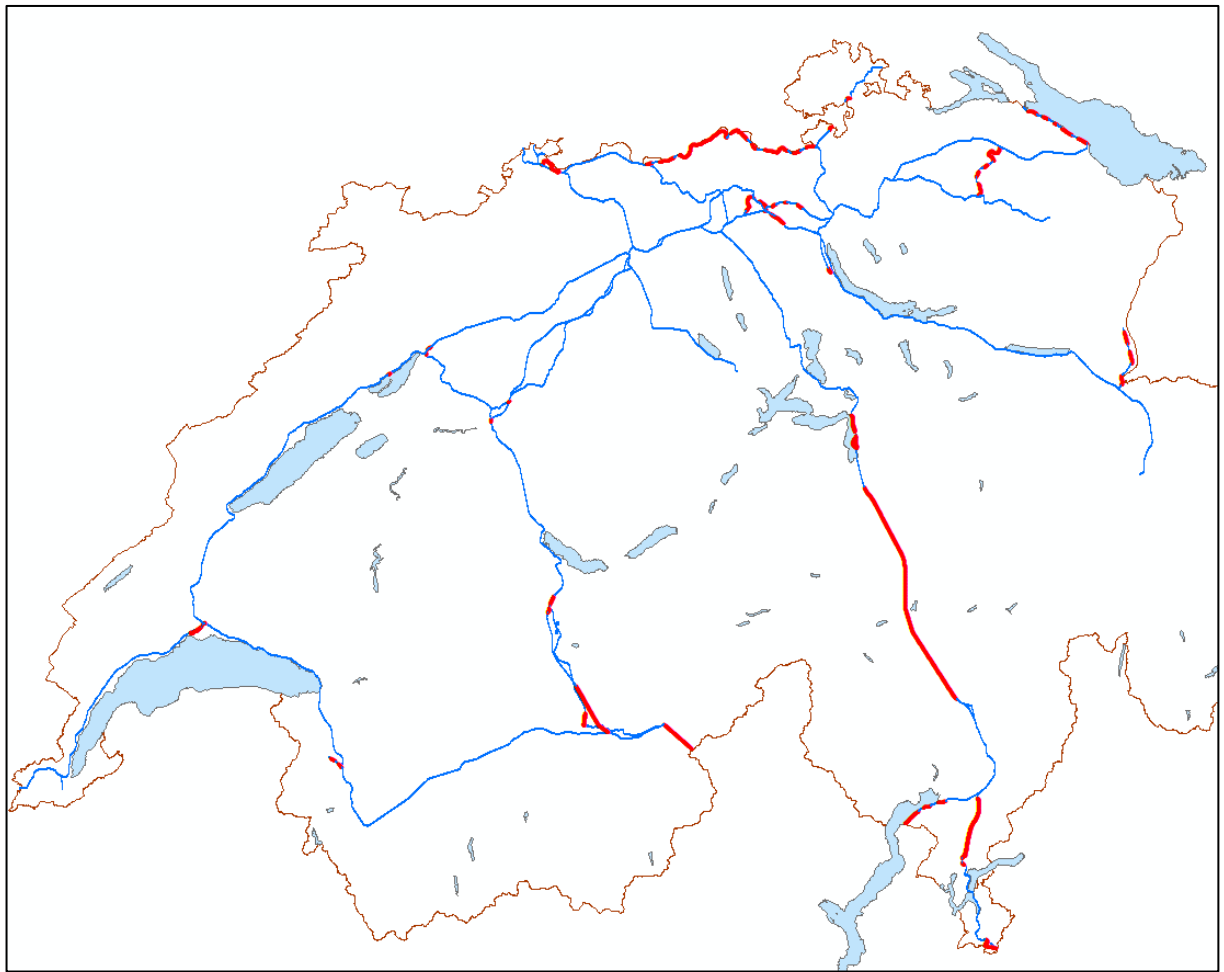


Abbildung 10: Unterscheidung zwischen Datenpunkten, die als Einspurstrecken klassifiziert sind (rot dargestellt) und solchen, die als Mehrspurstrecke behandelt werden (blau dargestellt). Gleise, auf denen keine RZ verkehren (z.B. innerhalb von Rangierbahnhöfen, Hafenbahnen Basel) sind ebenfalls rot dargestellt. Hinweis: Parallele Linien (z.B. Linie durch Rangierbahnhof und entlang von diesem) lassen sich nicht unterscheiden (rote Farbe dominiert, z.B. in den Rangierbahnhöfen Lausanne und Limmattal).

4.2.10 Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit der Strecke und damit die Fluchtmöglichkeit weg vom Gleis wurde für jeden neu erfassten Datenpunkt (d.h. nur für neue Strecken) visuell anhand von Satellitenbildern bestimmt (Quelle: map.geo.admin.ch). Fallweise wurde auch digitales Höhenmodell (DHM 25) sowie Höhenlinien des digitalen Terrainmodells von 2021/2022 aus dem kantonalen GIS-Browser verwendet (Zugriff: 17. Mai 2024).¹⁸ Im Perronbereich von Bahnhöfen wurde generell die Klasse «sehr gut» verwendet.

¹⁸ Links Datenquellen: [Geoportal Kanton Zürich \(zh.ch\)](https://geoportal.zh.ch); [ThurGIS - Kartenportal Thurgau \(tg.ch\)](https://thurgis.kanton-thurgau.ch); [MapBS](https://mapbs.ch); [Web GIS Client Kanton Solothurn](https://webgis.kanton-solothurn.ch)

4.3 Umweltrisiken

Im Folgenden wird auf die ortsspezifischen Attribute eingegangen, die für die Ermittlung der Umweltrisiken massgeblich sind. Eine detaillierte Definition der einzelnen Attribute, die verwendeten Klasseneinteilungen sowie Erläuterungen dazu können dem Methodikbericht [4] entnommen werden.

4.3.1 Freisetzungsorte und Art der Entwässerung

Freisetzungsorte

Mögliche Freisetzungsorte wurden für die Strecken mit Hilfe von hochaufgelösten Satellitenbildern visuell bestimmt. Des Weiteren wurden ein digitales Höhenmodell (DHM 25) sowie Höhenlinien des digitalen Terrainmodells (DTM) von 2021/2022 aus den jeweiligen kantonalen GIS-Browsern (s.o.) verwendet. Ist eine Freisetzung ausserhalb der Trasse aufgrund der Topografie (z.B. steiler Einschnitt) oder in einem Tunnel nicht möglich, so wurde die Ausprägung «nur Mitte» verwendet.

Art der Entwässerung

Da gesamtschweizerisch Daten fehlen bzw. nicht mit vertretbarem Aufwand aufbereitet werden können, wird für die Fahrbahntwässerung überall die Ausprägung «keine» eingesetzt.

4.3.2 Parameter zu den Risiken für das Grundwasser

Nachfolgend sind die Attribute beschrieben, die für die Ermittlung der Risiken für unterirdische Gewässer bzw. Trinkwasserfassungen auf den neu erfassten Linien erforderlich sind. Diese betreffen zwei Lokaltäten entlang der Linie Winterthur Ost – Frauenfeld – Weinfelden.

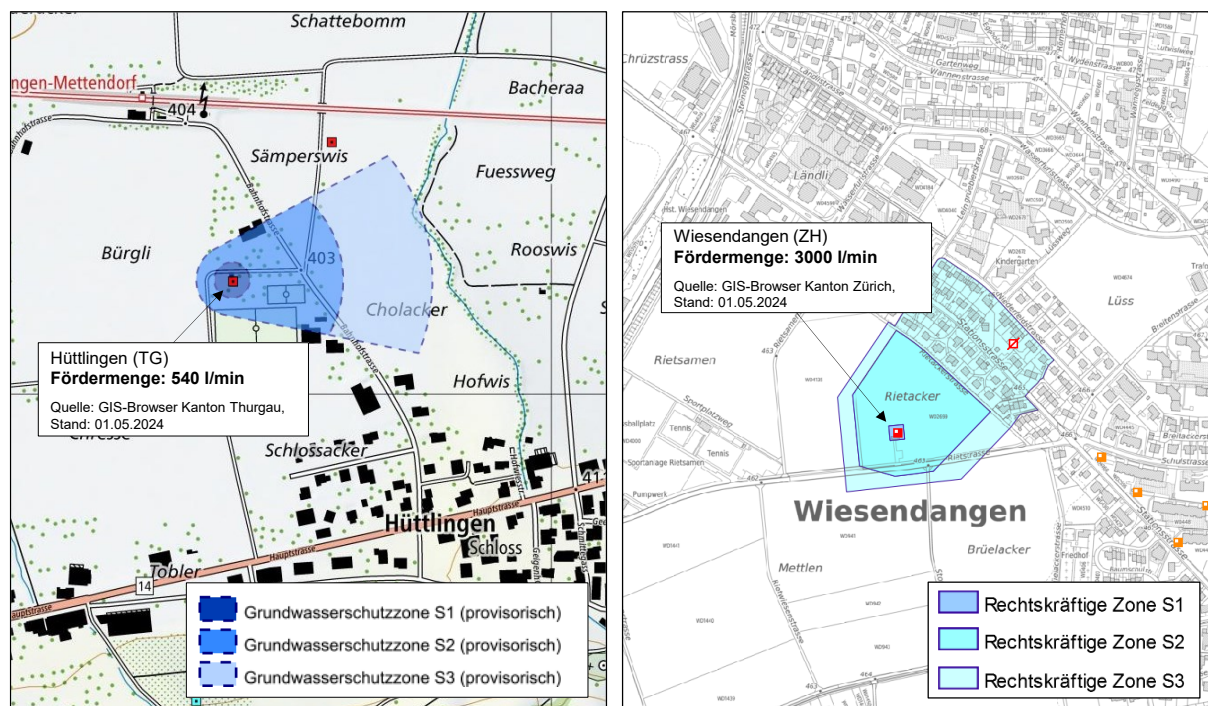


Abbildung 11: Lage und konzessionierte Fördermenge der beiden neu hinzugekommenen Grundwasserfassungen für die neue Linie Winterthur Ost – Frauenfeld – Weinfelden. Entlang der anderen neuen Linien gibt es keine als relevant einzustufenden Fassungen oder Quellen.

Kriterien relevante Grundwasserfassungen und Fördermenge

Es sind nur Grundwasserfassungen oder Quellen relevant, die alle folgenden Kriterien erfüllen:

- Sie sind in Betrieb oder konkret geplant.
- Sie weisen eine Fördermenge von mindestens 500 l/min auf und dienen der öffentlichen Trinkwasserversorgung.
- Sie liegen innerhalb einer rechtsgültig Grundwasserschutzzone S1, S2 oder S3
- Sie liegen in einem Abstandsbereich bis 500 m zum jeweiligen TgG-Datenpunkt und nicht mehr als 30 m über diesem (oder einem anderen Datenpunkt innerhalb von 500 m).

Zur Bestimmung der relevanten Trinkwasserfassungen und der entsprechenden Fördermenge wurde die folgenden Karten bzw. Layer konsultiert (Zugriff jeweils am 16. Mai 2024):

- Grundwasserkarte (Mittelwasserstand) von 2004 Kantons Zürich
- Karte «Grundwasser- und Gewässerschutz» des Kanton Thurgau von 2021
- Layer-Gruppe «Grundwasserschutz» des Kanton Solothurn von 2023
- Karten «Grundwassernutzung» und «Gewässerschutzkarte» des Kanton Basel-Stadt von 2024.

Flurabstand

Der Flurabstand wurde als Differenz aus der Höhe eines Datenpunktes relativ zur Isohypse der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasserstand berechnet. Die Information zur Isohypse wurde der «Hydrogeologischen Karte 100» von swisstopo (Quelle: map.geo.admin.ch; Datenstand 2014) entnommen (Zugriff am 13. Mai 2024). Bei Datenpunkten ohne relevante Fassung innerhalb von 500 m wurde der Standardwert 3 m eingesetzt.

Fliessrichtung

Die Fliessrichtung des Grundwassers wurde der swisstopo-Karte «Grundwasservorkommen 500» entnommen (Quelle: map.geo.admin.ch, Datenstand 2014, Zugriff am 13. Mai 2024).

Wirkdistanz

Die Wirkdistanz ergibt sich aus der Fliessrichtung und dem Bodentyp; es gilt gemäss [4] der Zusammenhang in Tabelle 3.

Bodentyp	Wirkdistanz [m] bei Fliessrichtung		
	zur Fassung	parallel zur Bahntrasse	zur Bahntrasse
Karst	500	500	500
alle anderen	500	100	40

Tabelle 3: Bestimmung der Wirkdistanz in Abhängigkeit von Bodentyp und Fliessrichtung.

Schutzzone

Das Attribut Schutzzonen dient nur der Information. Damit wird bestätigt, dass die zugehörige Fördermenge aus einer relevanten Fassung oder Quelle stammt, die eine rechtsgültige Schutzzone aufweist. Bei Datenpunkten ohne relevante Fassung wird als Standard der Wert «Unbekannt / Andere» eingesetzt.

Rückhalt Gefahrgut in ungesättigter Zone

Pro Leitstoff und pro Freisetzungsszenario, zudem unterschieden nach trockenen bzw. mit Wasser gesättigten Böden, wird erfasst, wie gross die Gefahrgutmenge ist, die pro Laufmeter ungesättigter Zone im Boden zurückgehalten werden kann (Einheit: kg/m). Die entsprechenden Attribute werden mit «Rückhalt ungesättigte Zone» bezeichnet; von diesen gibt es insgesamt 54. Durch Multiplikation mit dem Flurabstand ergibt sich die in der ungesättigten Zone zurückgehaltene Menge. Durch Differenzbildung mit der Versickerungsmenge im Boden lässt sich daraus die Gefahrgutmenge ermitteln, welche in die gesättigte Zone eindringt. Die Attribute «Rückhalt ungesättigte Zone» hängen auch von der Lachenfläche und vom oberflächlichen Abflusspfad ab, der anlässlich des ersten Umweltscreening mittels einer Abflussmodellierung ermittelt wurde (vgl. [4]). Sie nehmen proportional zur Länge des Abflusspfads (d.h. bis zum Ort des Eintrags in ein OFG oder, falls es keinen solchen gibt, bis zum Ort, an dem der letzte Rest Gefahrgut versickert) sowie zur Breite der Lache – und damit zur überstrichenen Fläche – zu.

Um den Rückhalt in der ungesättigten Zone für die neuen Strecken zu ermitteln, wurde wie folgt vorgegangen:

- Für die Linien Winterthur Ost – Frauenfeld – Weinfelden und Grenze bei Weil am Rhein - Basel Badischer Bahnhof - Grenze bei Grenzach, die durchwegs durch flaches Gelände führen, wird der Wert übernommen, der gleich auch für alle anderen flachen Abschnitte mit einer vollständigen Versickerung am Ort der Freisetzung gilt. Dieser hängt neben Modellparametern wie Lachenfläche und Wassersättigung des Bodens lediglich vom Bodentyp ab. Letzterer wird der geologischen Karte der Schweiz entnommen.
- Für alle anderen neuen Streckenabschnitte gemäss Abbildung 1 wird der Wert vom jeweils nächstliegenden TgG-Datenpunkt übernommen, der meist in unmittelbarer Nähe liegt und deshalb die gleichen Gelände- und Bodenmerkmale aufweist.

4.3.3 Parameter zu den Risiken für Oberflächengewässer

Es wurden grundsätzlich alle Oberflächengewässer (Bäche, Flüsse und Seen, ohne unterirdisch verlaufende Gewässer) berücksichtigt, welche im Vektor 25-Datensatz "Gewässernetz" von swisstopo erfasst sind.

Die «Charakteristik» der Oberflächengewässer wurde gemäss den Angaben in [4] erfasst: Länge und Fläche pro Grössenklasse (Bäche, kleine Flüsse, grosse Flüsse, Seen (hier nur die Fläche)).

Zudem wurden basierend auf den Vorgaben in [4] die Eintragsmengen bei oberflächlichem Abfluss einer Gefahrgutlache in das nächstgelegene Oberflächengewässer anhand der folgenden Kriterien ermittelt:

- a) Strecke Winterthur Ost – Frauenfeld – Weinfelden und Basel Badischer Bahnhof in Richtung Weil am Rhein sowie Grenzach:
 - Eintragsmenge = 0, wenn sich im Umkreis bis 30 m vom TgG-Datenpunkt weder ein Fluss, ein See noch ein über mehrere 100 m parallel zur Bahnlinie verlaufender Bach befindet und das Gelände flach ist (d.h. Steigung $<2^\circ$).
 - Wenn ein Bach die Bahntrasse quert, wird für die benachbarten Datenpunkte ebenfalls Eintragsmenge = 0 gesetzt, unabhängig von der vorhandenen Steigung.

- Eintragsmenge = Freisetzungsmenge in Abhängigkeit des jeweiligen Freisetzungsszenarios, wenn ein Fluss oder See sich in einem Abstand bis 30 m vom Ort der Freisetzung befindet, unabhängig von der Steilheit des Geländes.

Für die beiden Strecken ergeben sich aufgrund dieser Kriterien lediglich bei zwei Flussquerungen Eintragsmengen > 0 (Thur-Querung bei Linie 840, km 51.3 (nördlich von Eschikofen) und Wiese-Querung nördlich des Badischen Bahnhofs).

- b) Alle anderen neuen Streckenabschnitte gemäss Abbildung 1: Übernahme der Eintragsmengen vom jeweils nächstliegenden TgG-Datenpunkt (im Allgemeinen parallelen Linien aus dem aktuellen oder früheren Screeningnetz).

5. Aktualisierung methodische Parameter

5.1 Einleitung

Im Zusammenhang mit der Aktualisierung der ortsspezifischen Parameter (Kap. 4) wurden auch Anpassungen an der Berechnungsmethodik [3] vorgenommen, d.h. bei den Rechenregeln, wie aus den obigen Attributen sowie einzelnen ortsunabhängigen Parametern die Häufigkeits-Ausmass-Wertepaare für die betrachteten Störfallszenarien ermittelt werden. Dies betrifft die folgenden methodischen, d.h. ortsunabhängigen Parameter:

- 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 5.2).
- Ableitung von Freisetzungsraten (Anzahl relevante Freisetzungen pro Kesselwagen-Kilometer) in Abhängigkeit der Weichendichte, die den obigen Trends Rechnung tragen.
- Umrechnung von Gefahrgutmengen [t/Jahr] pro Leitstoff in eine korrespondierende Zahl voller Kesselwagen pro Jahr, basierend auf umfangreichen Daten aus BASE (vgl. auch Kapitel 4.2.1).
- Berechnung des Störfallwerts für den Schadenindikator «verschmutzte unterirdische Gewässer» basierend auf den aktuell gültigen Beurteilungskriterien; diese ist in Kapitel 5.6 beschrieben.

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

5.2 Trends Bahnunfälle und mittlere Freisetzungsrate

Beim Screening 2018 wurden für die Ermittlung der Häufigkeit von Störfällen Gefahrgutfreisetzungen zwischen 1976 und 2018 berücksichtigt (vgl. [2]); gleiches gilt auch für Entgleisungen und Zusammenstösse von Zügen. Im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung werden zusätzlich Bahnunfälle zwischen Anfang 2019 und Ende 2023 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 Störfalls (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 2018 ereigneten sich insgesamt sieben solche Ereignisse, in den Jahren seit 2019 kamen keine mehr dazu.¹⁹
- 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 ohne Weiteres mit der gewünschten Signifikanz quantitativ 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 auf die Gefahrgutereignisse übertragen.
- Als massgebliche Bahnereignisse für die Trendanalyse werden wie schon in früheren Screenings folgende Unfälle auf Normalspurstrecken berücksichtigt:
 - Entgleisungen von Güter- oder Reisezügen auf der Fahrt (ohne Rangieren, d.h. der betroffene Zug ist mit einer Zugnummer auf einem Hauptgleis unterwegs), Aufprall von solchen auf ein ortsfestes Hindernis sowie Zusammenstoss mit einer anderen Fahrt (Zugfahrt oder Rangierfahrt).
 - Früher beschränkte sich die Analyse auf Unfälle bei der SBB (inkl. Töchter) sowie bei der BLS; damit waren schätzungsweise über 95% der Unfälle bzw. der Fahrleistung auf Schweizer Normalspurstrecken abgedeckt. Neu wurden auch Unfälle bei allen anderen Normalspurbahnen (z.B. SOB) berücksichtigt.
 - Wie bereits anlässlich der früheren Analysen werden nur Unfälle berücksichtigt, die einen Schaden von mindestens CHF 15'000.- verursacht haben.

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 12 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 analog auch bei der letzten Analyse im Jahr 2019 verwendet wurde.

¹⁹ Die sieben Störfälle ereigneten sich am 04.06.84 in Sargans, am 19.09.88 in Au, am 04.01.91 in Stein-Säckingen, am 08.03.94 in Zürich-Affoltern, am 30.6.94 in Lausanne, am 21.10.94 in Amsteg und am 25.04.15 in Dailens.

Jahr	Anzahl Unfälle		Laufleistung RZ+GZ [Mio. Zug-km]	Unfallrate (Unfälle pro Zug-km)		
	Entgleisung	Zusammenstoss		Entgleisung	Zusammenstoss	beide
1976	10	10	92.3	1.1 E-7	1.1 E-7	2.2 E-7
1977	17	12	93.7	1.8 E-7	1.3 E-7	3.1 E-7
1978	13	4	94.2	1.4 E-7	4.2 E-8	1.8 E-7
1979	9	8	95.0	9.5 E-8	8.4 E-8	1.8 E-7
1980	4	9	96.3	4.2 E-8	9.3 E-8	1.3 E-7
1981	12	4	96.1	1.2 E-7	4.2 E-8	1.7 E-7
1982	7	5	102.4	6.8 E-8	4.9 E-8	1.2 E-7
1983	8	8	106.6	7.5 E-8	7.5 E-8	1.5 E-7
1984	13	5	107.0	1.2 E-7	4.7 E-8	1.7 E-7
1985	15	6	106.6	1.4 E-7	5.6 E-8	2.0 E-7
1986	13	6	106.6	1.2 E-7	5.6 E-8	1.8 E-7
1987	14	7	107.4	1.3 E-7	6.5 E-8	2.0 E-7
1988	9	9	118.3	7.6 E-8	7.6 E-8	1.5 E-7
1989	13	7	119.0	1.1 E-7	5.9 E-8	1.7 E-7
1990	16	8	132.7	1.2 E-7	6.0 E-8	1.8 E-7
1991	9	6	132.8	6.8 E-8	4.5 E-8	1.1 E-7
1992	4	6	130.9	3.1 E-8	4.6 E-8	7.6 E-8
1993	5	4	129.3	3.9 E-8	3.1 E-8	7.0 E-8
1994	6	11	126.8	4.7 E-8	8.7 E-8	1.3 E-7
1995	3	4	124.2	2.4 E-8	3.2 E-8	5.6 E-8
1996	3	3	123.3	2.4 E-8	2.4 E-8	4.9 E-8
1997	7	5	124.4	5.6 E-8	4.0 E-8	9.6 E-8
1998	2	3	125.4	1.6 E-8	2.4 E-8	4.0 E-8
1999	6	2	128.6	4.7 E-8	1.6 E-8	6.2 E-8
2000	6	4	133.8	4.5 E-8	3.0 E-8	7.5 E-8
2001	2	4	138.0	1.4 E-8	2.9 E-8	4.3 E-8
2002	2	2	140.4	1.4 E-8	1.4 E-8	2.8 E-8
2003	6	3	144.9	4.1 E-8	2.1 E-8	6.2 E-8
2004	4	3	146.5	2.7 E-8	2.0 E-8	4.8 E-8
2005	3	5	163.1	1.8 E-8	3.1 E-8	4.9 E-8
2006	9	4	164.9	5.5 E-8	2.4 E-8	7.9 E-8
2007	3	2	166.7	1.8 E-8	1.2 E-8	3.0 E-8
2008	3	2	171.9	1.7 E-8	1.2 E-8	2.9 E-8
2009	2	1	175.1	1.1 E-8	5.7 E-9	1.7 E-8
2010	3	5	177.2	1.7 E-8	2.8 E-8	4.5 E-8
2011	2	10	179.8	1.1 E-8	5.6 E-8	6.7 E-8
2012	1	9	180.2	5.5 E-9	5.0 E-8	5.5 E-8
2013	2	15	184.5	1.1 E-8	8.1 E-8	9.2 E-8
2014	0	3	187.8	0.0 E+0	1.6 E-8	1.6 E-8
2015	3	7	189.4	1.6 E-8	3.7 E-8	5.3 E-8
2016	1	1	193.2	5.2 E-9	5.2 E-9	1.0 E-8
2017	4	6	192.1	2.1 E-8	3.1 E-8	5.2 E-8
2018	2	5	191.9	1.0 E-8	2.6 E-8	3.6 E-8
2019	1	1	189.8	5.3 E-9	5.3 E-9	1.1 E-8
2020	1	1	183.4	5.5 E-9	5.5 E-9	1.1 E-8
2021	0	3	192.7	0.0 E+0	1.6 E-8	1.6 E-8
2022	1	1	195.3	5.1 E-9	5.1 E-9	1.0 E-8
2023	1	1	199.9	5.0 E-9	5.0 E-9	1.0 E-8
Summe / Mittel	280	250	6'902.3	4.1 E-8	3.6 E-8	7.7 E-8

Tabelle 4: Jährliche Anzahl Entgleisungen bzw. Zusammenstösse, zugehörige Laufleistung (in Zugkilometern) und daraus abgeleitete Unfallraten. Die Werte zwischen 1976 – 1989 basieren auf Zahlen der SBB, ab 1990 kam die BLS dazu, ab 2002 Turbo (als SBB-Tochter) und ab 2019 die SOB (d.h. neu sind alle ISB mit Normalspurstrecken erfasst).

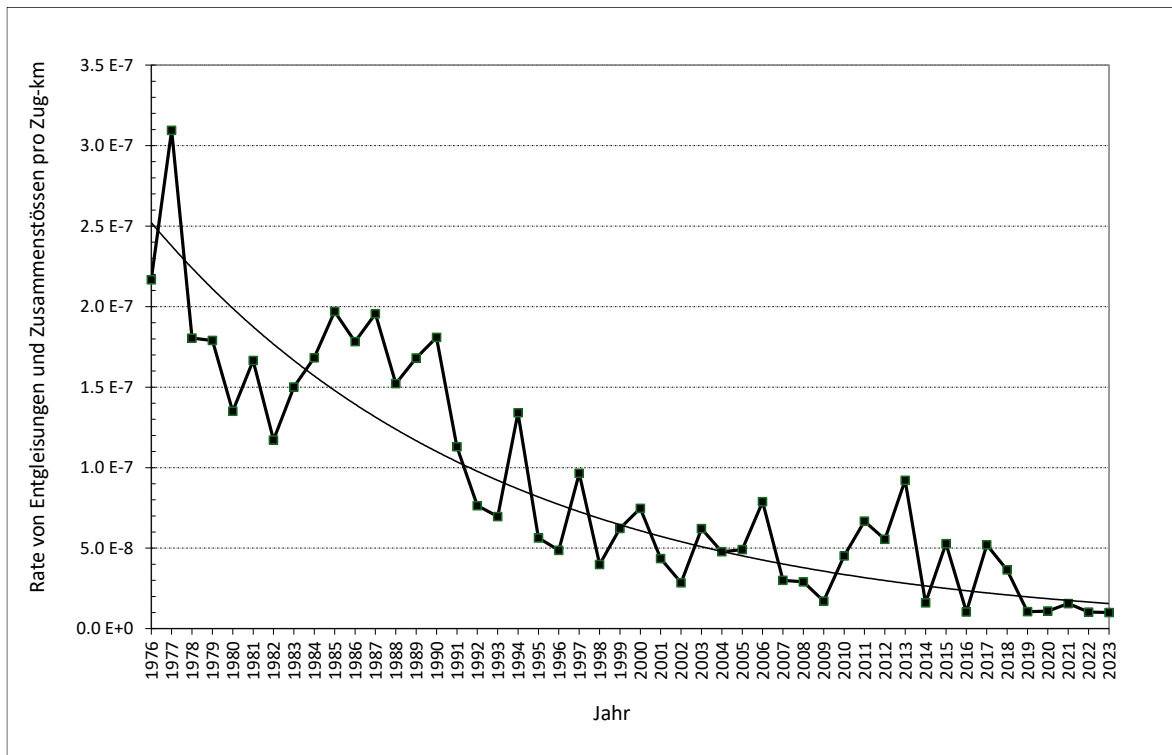


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf des Quotienten aus der jährlichen Zahl von Entgleisungen und Zusammenstössen sowie der zugehörigen Fahrleistung in Zug-km (gemäss Tabelle 4, Spalte ganz rechts)

Anhand der obigen Daten (Häufigkeit von Störfällen, Tabelle 4, Trendkurve in Abbildung 12) sowie den entsprechenden Werten aus der analogen Analyse im Rahmen des Screenings 2018 (Trendwert per Ende 2018) ergeben sich folgende Resultate im Vergleich zum letzten Screening:

- mittlere jährliche Häufigkeit von Störfällen im Sinne der obigen Definition zwischen 1976 – 2023: $7/48 \text{ /J} = 0.146 \text{ /J}$
- Unfallrate für 1976 – 2023:
Mittelwert für Periode 1976 – 2023 (vgl. Tabelle 4) $7.7 \cdot 10^{-8} \text{ /Zug-km}$
Trendwert für 2023 (vgl. Abbildung 12) $1.56 \cdot 10^{-8} \text{ /Zug-km}$
Quotient zwischen Trendwert und Mittelwert: 0.172
- Aus den obigen Werten ergibt sich folgender Trendwert für die jährliche Häufigkeit von Störfällen im Jahr 2023:
 $0.146 \text{ /J} \cdot 0.172 = 0.0251 \text{ /J}$
(1.0 Ereignis pro 40 Jahre)²⁰

Aus dem entsprechenden Trendwert für 2018 lässt sich folgender Minderungsfaktor ableiten:

- Trendwert für 2018 gemäss Abbildung 11 in [2]: $2.75 \cdot 10^{-8} \text{ /Zug-km}$
- Quotient Trendwert 2023 / 2018: $1.56/2.75 = 0.567$

20 Die Trendanalyse basiert auf der vereinfachenden Annahme, dass Trends beim Unfallgeschehen mittel und langfristwesentlich ausgeprägter sind als Trends bei den insgesamt transportierten Gefahrgutmengen.

Die für das Jahr 2023 gültigen, im aktuellen Screening hinterlegten mittleren Freisetzungsraten ergeben sich somit aus den entsprechenden Werten für das Screening 2018 durch Multiplikation mit dem Faktor 0.567.

Da Störfälle mit relevanter Freisetzung von Gefahrgut primär flüssige Gefahrgüter betreffen, kann angenommen werden, dass die mittlere Freisetzungsraten gleich ist wie die Freisetzungsraten für Flüssigkeiten (Leitstoff Benzin bei den Personenrisiken sowie alle drei Leitstoffe zur Beschreibung der Umweltrisiken). Die bisher und neue gültigen Werte sind in Tabelle 5 dokumentiert.

flüssige Leitstoffe ²¹	Freisetzungsraten R_{LS} pro (vollem) Kesselwagen und 100 m		
	Weichendichte > 2	Weichendichte 1 - 2	keine Weichen
Screening 2018	$5.7 \cdot 10^{-10}$	$2.9 \cdot 10^{-10}$	$2.9 \cdot 10^{-11}$
Screening 2023	$3.2 \cdot 10^{-10}$	$1.6 \cdot 10^{-10}$	$1.6 \cdot 10^{-11}$

Tabelle 5: Vergleich der Freisetzungsraten pro Kesselwagen und 100 m (für $v = 80$ km/h) gemäss Screening 2018 (vgl. [2]) bzw. 2023 (gültig für Kesselwagen zum Transport von Flüssigkeiten).

Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, wie mittels Korrekturfaktoren aus den obigen Werten diejenigen für Gaskesselwagen (Leitstoffe Propan und Chlor) ermittelt werden.

5.3 Abhängigkeit der Freisetzungsraten vom Kesselwagen

Neben der Weichendichte hängt die Freisetzungsraten auch von den Eigenschaften der verwendeten Kesselwagen ab. Wie schon in früheren Screenings werden drei Arten von Kesselwagen unterschieden, vgl. die nachfolgende Tabelle 6. Darin sind die im Screening 2023 bzw. im letzten Screening 2018 verwendeten Korrekturfaktoren tabelliert, welche den Einfluss der Kesselwagen-Merkmale auf die Freisetzungsraten abbilden. Die Werte in einer Zeile entsprechen dem Korrekturfaktor gegenüber der jeweils nächst oberen Zeile.

Ablesebeispiel: Im Screening 2023 ist eine Freisetzung aus einem Propan- oder Ammoniak-Kesselwagen um einen Faktor 4 geringer als aus einem Benzin-Kesselwagen; für einen UN 1017-KW ist die Freisetzung um einen Faktor 7.79 kleiner gegenüber einem Propan- oder Ammoniak-Kesselwagen.

Die Korrekturfaktoren für das Screening 2023 stammen aus dem Bericht zur Quantifizierung der risikosenkenden Wirkung gemäss Gemeinsamer Erklärung II [8]. Dort wurden die Korrekturfaktoren für dickwandige Kesselwagen und für sicherheitstechnisch verbesserte Kesselwagen neu evaluiert. Es hat sich gezeigt, dass der bisherige Korrekturfaktor für dickwandige Kesselwagen von 10 (0.1) auf einen Faktor 4 (0.25) reduziert werden muss; der bisherige zusätzliche Korrekturfaktor für sicherheitstechnisch verbesserte KW für den Chlortransport wurde von einem Faktor 5 auf einen Faktor 4.1 korrigiert. Zusätzlich wurde ein weiterer Korrekturfaktor von 1.9 für KW für den Chlortransport eingeführt. Dies aufgrund weiterer Sicherheitsmassnahmen gemäss der Gemeinsamen Erklärung II, die über das RID hinausgehen. Da in der Schweiz nur diese unterwegs sind, resultiert ein Korrekturfaktor von $4 \cdot 4.1 \cdot 1.9 = 31.16$ für sicherheitstechnisch beste Chlor-Kesselwagen für das Screening 2023 (d.h. die Wahrscheinlichkeit einer grösseren Freisetzung, in der Regel infolge einer Entgleisung oder eines Zusammenstosses,

21 Kesselwagen für Flüssigkeiten (Leitstoff Benzin und alle Leitstoffe zu den Umweltrisiken) sind hinsichtlich Aspekten wie Wandstärke und Stahlqualität in etwa vergleichbar, so dass die gleichen Freisetzungsraten verwendet werden.

ist bei einem Chlor-Kesselwagen (d.h. für UN 1017) um einen Faktor von gut 30 geringer als bei einem Standard-Kesselwagen für den Transport von Flüssigkeiten).

Die nachfolgend tabellierten Werte beziehen sich auf eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Die Änderung der Freisetzungsrates für höhere sowie tiefere Geschwindigkeiten ist in Kapitel 5.4 dokumentiert. Die Referenzgeschwindigkeit 80 km/h gilt auch für Chlor (UN 1017), obwohl dieser Stoff nur in Sonderzügen bei maximal 40 km/h transportiert werden dürfen (d.h. die tabellierten Korrekturfaktoren für UN 1017 gelten lediglich für den fiktiven Fall von 80 km/h).

Für die Berücksichtigung der sicherheitstechnisch verbesserter KW für Cl₂ (UN 1017) wird das ortsspezifische Attribut «Anteil Cl₂ am LS Chlor» als Gewichtungsfaktor verwendet (d.h. de facto wird mit einem gewichteten Korrekturfaktor gerechnet).

Nr.	Art Kesselwagen	Zugehörige Leit- bzw. Einzelstoffe (UN-Nr.)	Korrekturfaktor Screening 2018	Korrekturfaktor Screening 2023	Quotient 2018/2023
1	Flüssigkeitskesselwagen	LS Benzin, Umwelt-LS	1 (definitionsgemäss, da Referenz)		
2	Gaskesselwagen	LS Propan und LS Chlor, (ohne Cl ₂ / UN 1017)	10 ²²	4	2.5
3	Sicherheitstechnisch verbesserter KW für Cl ₂ / UN 1017	Cl ₂ / UN 1017	5 ²³	4.1*1.9	0.64

Tabelle 6: Korrekturfaktoren für die Berücksichtigung unterschiedlicher Kesselwagentypen. Die Korrekturfaktoren beschreiben, um welchen Faktor eine Freisetzung aus dem entsprechenden KW im Vergleich zu einem KW für den Transport von Flüssigkeiten seltener ist. Der Quotient in der Spalte ganz rechts beschreibt das Verhältnis der Korrekturfaktoren aus dem Screening 2018 und 2023. Die Freisetzungsrates für einen Gaskesselwagen ist im Screening 2023 um einen Faktor 2.5 grösser als im Screening 2018; für einen Chlorkesselwagen ist sie um einen Faktor 0.64 kleiner.

5.4 Abhängigkeit der Freisetzungsrates von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Die Abhängigkeit der Freisetzungsrates von der Höchstgeschwindigkeit $v_{\max}$ wird über Korrekturfaktoren sichergestellt. Diese sind für 80 km/h (Referenzgeschwindigkeit) definitionsgemäss 1. Für davon abweichende Geschwindigkeiten werden in [8] angepasste Korrekturfaktoren vorgeschlagen, die für Flüssigkeits- (LS Benzin) und für Gaskesselwagen (LS Propan und Chlor) unterschiedlich sind. Die bisher und neu verwendeten Korrekturfaktoren sind in Tabelle 7 aufgelistet, zusammen mit dem Quotienten zwischen den beiden.

Für Cl₂ / UN 1017 gilt für Streckenhöchstgeschwindigkeiten ab 40 km/h derselbe Wert wie für 40 km/h, da im Betrieb nur mit maximal 40 km/h gefahren werden darf; für tiefe Geschwindigkeiten gelten die gleichen Korrekturfaktoren wie für den LS Propan und die anderen Stoffe des LS Chlor.

22 Im Screening 2019 wurde der Korrekturfaktor nur für LS Propan angewendet. Im Screening 2023 wird der Korrekturfaktor sowohl für LS Propan als auch für LS Chlor, ausser sicherheitstechnisch verbesserte KW für Cl₂ (UN1017), angewendet.

23 Im Screening 2019 wurde der Korrekturfaktor für alle Stoffe des LS Chlor angewendet, es wurde also keine Unterscheidung gemacht zwischen dem LS Chlor und UN 1017. Im Screening 2023 wird der Korrekturfaktor nur für sicherheitstechnisch verbesserte KW für Cl₂ (UN1017) angewendet. KW für andere Stoffe im LS Chlor (z.B. Ammoniak) werden wie normale Gaskesselwagen behandelt, d.h. Korrekturfaktor 0.25.

$v_{\max}$ [km/h]	Flüssigkeiten (LS Benzin / Mineralölprod. / Epichlorhydrin / Perchlorethylen)			LS Propan und LS Chlor (ohne UN 1017)			Cl ₂ / UN 1017		
	Screening 2019	Screening 2024	Quotient Screening 2024/2019	Screening 2019	Screening 2024	Quotient Screening 2024/2019	Screening 2019	Screening 2024	Quotient Screening 2024/2019
10 km/h	0.23	0.13	0.57	0.02	0.01	0.50	0.02	0.01	0.50
20 km/h	0.38	0.25	0.66	0.04	0.03	0.75	0.04	0.03	0.75
30 km/h	0.50	0.38	0.76	0.07	0.04	0.57	0.07	0.04	0.57
40 km/h	0.62	0.50	0.81	0.10	0.10	1.00	0.10	0.10	1
50 km/h	0.72	0.63	0.88	0.21	0.31	1.48	0.10	0.10	1
60 km/h	0.82	0.75	0.91	0.43	0.58	1.35	0.10	0.10	1
70 km/h	0.91	0.88	0.97	0.65	0.80	1.23	0.10	0.10	1
80 km/h	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.10	1
90 km/h	1.09	1.13	1.04	1.21	1.13	0.93	0.10	0.10	1
100 km/h	1.17	1.25	1.07	1.30	1.25	0.96	0.10	0.10	1

Tabelle 7: Korrekturfaktoren für die Berücksichtigung der Streckenhöchstgeschwindigkeit im Screening 2023. Zum Vergleich sind auch die Werte aus dem Screening 2018 eingetragen, mitsamt dem Faktor für die relative Änderung.

Im Screening 2018 wurden die obigen Korrekturfaktoren für alle Stoffe des LS Chlor angewendet. Neu ist dies nur noch für UN 1017 der Fall.

5.5 Umrechnung von Gefahrgutmengen in volle Kesselwagen

In der folgenden Tabelle 8 ist die verwendete Umrechnung von Nettotonnen Gefahrgut in volle Kesselwagen dokumentiert und den bisher verwendeten Werten gegenübergestellt. Die neuen Werte beruhen auf umfangreichen Daten zum Inhalt von Kesselwagen aus dem Projekt BASE.

Leitstoff	Nettotonnen pro vollem Kesselwagen	
	gemäss Screening 2018	für Screening 2023
Benzin	60	62.1
Propan	42	49.9
Chlor	53	55.3
Mineralölprodukte	60	62.1
Epichlorhydrin	40	58.1
Perchlorethylen	50	47.5

Tabelle 8: Vergleich der Umrechnung zwischen Nettotonnen und Anzahl vollen Kesselwagen.

5.6 Berechnung Störfallwerte für den Schadenindikator «verschmutzte unterirdische Gewässer»

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der für das Screening 2018 verwendeten Excel-Berechnungsdatei waren die aktuell gültigen Beurteilungskriterien [6] noch nicht veröffentlicht. Deshalb wurden im Screening 2018 die Beurteilungskriterien hinterlegt, die im Jahr 2010 in die Vernehmlassung (vgl. [7]) gegeben wurden. Die beiden Ansätze unterscheiden sich in der Art und Weise, wie aus der verschmutzten bzw. nicht mehr nutzbaren Grundwassermenge der Störfallwert ermittelt wird.

Im vorliegenden Screening 2023 wurde die Berechnung des Störfallwerts an die aktuell gültigen Beurteilungskriterien [6] angepasst. Im Einzelnen bedeutet dies Folgendes:

- Für Fassungen bzw. Fassungsgebiete (sowie Quellen / Quellgebiete) mit (kumulierter) Förderleistung $\geq 2'500$ l/Min. wird der Störfallwert über den Ausfall der Trinkwasserförderung in Personenmonaten ermittelt (vgl. Anhang 3 in [6]):

$$\text{Störfallwert} = 0.3(1 + \log(\frac{A}{10000}))$$

wobei A den Ausfall der Förderung sauberen Trinkwassers in Personenmonaten beschreibt.

A lässt sich wie folgt berechnen:

$$A = \text{Verschmutzungsdauer [Mt.]} * \text{verschmutzte Förderleistung} \left[\frac{l}{\text{Min}} \right] \\ * 60 * 24 [\text{Min./Tag}] / 360 \left[\frac{l}{\text{Tag} * \text{Pers.}} \right]$$

Dabei wird gemäss [6] ein Verbrauch von 360 l Trinkwasser pro Person und Tag zugrunde gelegt. Die Verschmutzungsdauer wird gemäss der in [9] beschriebenen Methodik ermittelt, welche wiederum weitgehend auf [10] basiert (vgl. Anhang A3). Die verschmutzte Förderleistung entspricht dabei der kumulierten Förderleistung aller, von einer Freisetzung betroffenen Fassungen unter Berücksichtigung der Fliessrichtung des Grundwasserstroms [4].

- Gemäss Fussnote 13 in den aktuellen Beurteilungskriterien [6] behält das Ausschlusskriterium, wonach die Verschmutzung von Fassungs- bzw. Quellgebieten mit einer Förderleistung $< 2'500$ l/Min. keine schwere Schädigung darstellt, weiterhin Gültigkeit. Deshalb wird der Störfallwert auf 0 gesetzt, wenn die (kumulierte) Förderleistung $< 2'500$ l/Min. beträgt.

6. Quellen

- [1] Bundesamt für Verkehr, Bundesamt für Umwelt, SBB AG, BLS AG, «Screening-Tool TgG3.0», Zugriff über <https://www.screeningtgbahn.ch/TgG/login>.
- [2] Bundesamt für Verkehr
Aktualisierung Screening Personen- und Umweltrisiken 2018, Dokumentation Parameteraktualisierung,
EBP Schweiz AG, 13. März 2020.
- [3] Bundesamt für Verkehr,
Dokumentation Grundlagen Screening Personenrisiken Bahn 2011, Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG), Februar 2013.
- [4] Bundesamt für Verkehr
Risiken beim Transport gefährlicher Güter mit der Bahn, Methodik zum netzweiten Screening der Umweltrisiken 2014, Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG), Mai 2015.
- [5] Wiemer S., Papadopoulos A., Roth P., Danciu L., Bergamo P., Fäh D., Duvernay B., Khodaverdian A., Lestuzzi P., Odabaşı Ö., Fagà E., Bazzuro P., Cauzzi C., Hammer C., Panzera F., Perron V., Marti M., Valenzuela N., Dallo I., Zaugg S., Fulda D., Kästli P., Schmid N., Haslinger F. (2023)

Earthquake Risk Model of Switzerland (ERM-CH23), Swiss Seismological Service, ETH Zurich, Doi: <https://doi.org/10.12686/a20>, Version 4.1 (March 2023)

- [6] BAFU (Hrsg.) 2018: Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV). Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung (StFV). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1807.
- [7] Bundesamt für Umwelt, Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung, Vollzugshilfe für Betriebe, Verkehrswege und Rohrleitungsanlage, Konsultationsentwurf 02.07.2010.
- [8] BAFU, BAV, SBB, scienceindustries, VAP
Quantifizierung der risikosenkenden Wirkung der Massnahmen gemäss Gemeinsamer Erklärung II, Emch + Berger AG, Version 1.3, 20. August 2020.
- [9] Bundesamt für Umwelt BAFU
Quantifizierung des Nutzens von kostenintensiven Umweltmassnahmen für Bahnanlagen, Emch + Berger AG, Version 1.2, 15. April 2016.
- [10] Bundesamt für Verkehr
Screening der Umweltrisiken, Bericht zur Methodik und Ergebnisse, Referenz/Aktenzeichen: 513.1/2007-05-21/3, Ernst Basler + Partner AG (heute: EBP Schweiz AG), 21. Mai 2008.

A1 Zuordnung UN-Nummer zu den drei Leitstoffen (Personenrisiken)

Basierend auf den Stoffkategorien in BASE gehören neu die nachfolgend aufgelisteten Stoffe zu den drei Leitstoffen Benzin, Propan und Chlor. Nachfolgend die wichtigsten Änderungen:

- Zum Leitstoff Chlor gehören neu nur noch Stoffe, die unter Normalbedingungen (Temperatur 0°, Druck 1 bar) gasförmig sind (bisher wurden auch toxische Flüssigkeiten beim LS Chlor berücksichtigt).
- Stoffe mit Flammpunkt > 24°C wie Diesel, Heizöl oder Flugpetrol werden nicht mehr beim LS Benzin berücksichtigt (bisher war dies der Fall, wenn auch mit Gewichtungsfaktor <1). Folglich entfällt beim LS Benzin eine vom Stoff abhängige Gewichtung.
- Beim LS Chlor werden neu alle Stoffe mit Ausnahme von Chlor (UN 1017) mit einem Gewichtungsfaktor 0.1 versehen. Der Gewichtungsfaktor ist unverändert; er wurde bisher aber auch bei Stoffen wie SO₂ angewendet.²⁴

Bei den drei Leitstoffen zu den Umweltrisiken ergibt sich weder bei der Stoffzuordnung noch bei der Anwendung der Gewichtungsfaktoren (abhängig von der Wassergefährdungsklasse) eine Änderung, so dass auf diese nicht eingegangen wird.

Leitstoff Benzin (brennbare Flüssigkeiten)

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1088	ACÉTAL
1089	ACÉTALDÉHYDE
1090	ACÉTONE
1091	HUILES D'ACÉTONE
1105	PENTANOLS
1106	AMYLAMINES
1107	CHLORURES D'AMYLE
1108	PENTÈNE-1 (n-AMYLENE)
1111	MERCAPTAN AMYLIQUE
1113	NITRITES D'AMYLE
1114	BENZÈNE
1120	BUTANOLS
1123	ACÉTATES DE BUTYLE
1125	n-BUTYLAMINE
1126	1-BROMOBUTANE
1127	CHLOROBUTANES
1128	FORMIATE DE n-BUTYLE
1129	BUTYRALDÉHYDE
1133	ADHÉSIFS contenant un liquide inflammable (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1136	DISTILLATS DE GOUDRON DE HOUILLE, INFLAMMABLES
1139	SOLUTION D'ENROBAGE
1144	CROTONYLÈNE

²⁴ Die entsprechenden Stoffe werden im Vergleich zu Chlor (UN 1017) in deutlich kleineren Mengen transportiert, so dass dieser Unterschied zahlenmässig nicht ins Gewicht fällt.

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1145	CYCLOHEXANE
1146	CYCLOPENTANE
1148	DIACÉTONE-ALCOOL
1150	DICHLORO-1,2 ÉTHYLÈNE
1153	ÉTHER DIÉTHYLIQUE DE L'ÉTHYLÈNEGLYCOL
1154	DIÉTHYLAMINE
1155	ÉTHER DIÉTHYLIQUE (ÉTHER ÉTHYLIQUE)
1156	DIÉTHYLCÉTONE
1158	DIISOPROPYLAMINE
1159	ÉTHER ISOPROPYLIQUE
1160	DIMÉTHYLAMINE EN SOLUTION AQUEUSE
1161	CARBONATE DE MÉTHYLE
1162	DIMÉTHYLDICHLOROSILANE
1164	SULFURE DE MÉTHYLE
1165	DIOXANNE
1166	DIOXOLANNE
1167	ÉTHER VINYLIQUE STABILISÉ
1170	ÉTHANOL (ALCOOL ÉTHYLIQUE) ou ÉTHANOL EN SOLUTION (ALCOOL ÉTHYLIQUE EN SOLUTION)
1173	ACÉTATE D'ÉTHYLE
1175	ÉTHYLBENZÈNE
1176	BORATE D'ÉTHYLE
1178	ALDÉHYDE ÉTHYL-2 BUTYRIQUE
1179	ÉTHER ÉTHYLBUTYLIQUE
1184	ETHYLENDICHLORID
1190	FORMIATE D'ÉTHYLE
1193	ÉTHYLMÉTHYLCÉTONE (MÉTHYLÉTHYLCÉTONE)
1195	PROPIONATE D'ÉTHYLE
1196	ÉTHYLTRICHLOROSILANE
1197	EXTRAITS, LIQUIDES, pour aromatiser (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1201	HUILE DE FUSEL
1203	ESSENCE
1204	NITROGLYCÉRINE EN SOLUTION ALCOOLIQUE avec au plus 1% de nitroglycérine
1206	HEPTANES
1208	HEXANES
1210	ENCRES D'IMPRIMERIE, inflammables ou MATIÈRES APPARENTÉES AUX ENCRES D'IMPRIMERIE
1213	ACÉTATE D'ISOBUTYLE
1214	ISOBUTYLAMINE
1216	ISOCTÈNES
1218	ISOPRÈNE STABILISÉ
1219	ISOPROPANOL (ALCOOL ISOPROPYLIQUE)
1220	ACÉTATE D'ISOPROPYLE
1221	ISOPROPYLAMINE
1222	NITRATE D'ISOPROPYLE
1224	CÉTONES LIQUIDES, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1228	MERCAPTANS LIQUIDES INFLAMMABLES, TOXIQUES, N.S.A. ou MERCAPTANS EN MÉLANGE LIQUIDE INFLAMMABLE, TOXIQUE, N.S.A.
1230	METHANOL
1231	ACÉTATE DE MÉTHYLE
1234	MÉTHYLAL
1235	MÉTHYLAMINE EN SOLUTION AQUEUSE
1237	BUTYRATE DE MÉTHYLE

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1243	FORMIATE DE MÉTHYLE
1245	MÉTHYLISOBUTYLCÉTONE
1246	MÉTHYLISOPROPENYLCÉTONE STABILISÉE
1247	MÉTHACRYLATE DE MÉTHYLE MONOMÈRE STABILISÉ
1248	PROPIONATE DE MÉTHYLE
1249	MÉTHYLPROPYLCÉTONE
1250	MÉTHYLTRICHLOROSILANE
1261	NITROMÉTHANE
1262	OCTANES
1263	PEINTURES ou MATIÈRES APPARENTÉES AUX PEINTURES
1265	PENTANES, liquides
1266	PRODUITS POUR PARFUMERIE contenant des solvants inflammables (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1267	PÉTROLE BRUT (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1268	DISTILLATS DE PÉTROLE, N.S.A. ou PRODUITS PÉTROLIERS, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1274	n-PROPANOL (ALCOOL PROPYLIQUE NORMAL)
1275	ALDÉHYDE PROPIONIQUE
1276	ACÉTATE DE n-PROPYLE
1277	PROPYLAMINE
1278	CHLORO-1 PROPANE
1279	DICHLORO-1,2 PROPANE
1280	OXYDE DE PROPYLÈNE
1281	FORMIATES DE PROPYLE
1282	PYRIDINE
1286	HARZÖL (Dampfdruck bei 50 °C größer als
1287	DISSOLUTION DE CAOUTCHOUC (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1288	HUILE DE SCHISTE
1289	MÉTHYLATE DE SODIUM EN SOLUTION dans l'alcool
1293	TEINTURES MÉDICINALES
1294	TOLUÈNE
1296	TRIÉTHYLAMINE
1297	TRIMÉTHYLAMINE EN SOLUTION AQUEUSE contenant au plus 50% (masse) de triméthylamine
1298	TRIMÉTHYLCHLOROSILANE
1300	SUCCÉDANÉ D'ESSENCE DE TÉRÉBENTHINE
1301	ACÉTATE DE VINYLE STABILISÉ
1302	ÉTHÉR ÉTHYLVINYLIQUE STABILISÉ
1303	CHLORURE DE VINYLIDÈNE STABILISÉ
1304	ÉTHÉR ISOBUTYLVINYLIQUE STABILISÉ
1305	VINYLTRICHLOROSILANE
1306	PRODUITS DE PRÉSERVATION DES BOIS, LIQUIDES (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1307	XYLÈNES
1308	ZIRCONIUM EN SUSPENSION DANS UN LIQUIDE INFLAMMABLE (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1648	ACÉTONITRILE
1717	CHLORURE D'ACÉTYLE
1723	IODURE D'ALLYLE
1815	CHLORURE DE PROPIONYLE
1862	CROTONATE D'ÉTHYLE
1865	NITRATE DE n-PROPYLE
1866	RÉSINE EN SOLUTION, inflammable (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1891	ETHYLBROMID

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1917	ACRYLATE D'ÉTHYLE STABILISÉ
1919	ACRYLATE DE MÉTHYLE STABILISÉ
1922	PYRROLIDINE
1987	ALCOOLS, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1989	ALDÉHYDES, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1993	LIQUIDE INFLAMMABLE, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
1999	GOUDRONS LIQUIDES, y compris les liants routiers et les cut backs bitumineux (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
2045	ISOBUTYRALDÉHYDE (ALDÉHYDE ISOBUTYRIQUE)
2047	DICHLOROPROPÈNES
2050	COMPOSÉS ISOMERIQUES DU DIISOBUTYLÈNE
2056	TÉTRAHYDROFURANNE
2057	TRIPROPYLÈNE
2058	VALÉRALDÉHYDE
2059	NITROCELLULOSE EN SOLUTION INFLAMMABLE
2241	CYCLOHEPTANE
2242	CYCLOHEPTÈNE
2246	CYCLOPENTÈNE
2251	BICYCLO [2.2.1] HEPTADIÈNE-2,5 STABILISÉ (NORBORNADIÈNE-2,5 STABILISÉ)
2252	DIMÉTHOXY-1,2 ÉTHANE
2256	CYCLOHEXÈNE
2263	DIMÉTHYLCYCLOHEXANES
2266	N,N-DIMÉTHYLPROPYLAMINE
2270	ÉTHYLAMINE EN SOLUTION AQUEUSE contenant au moins 50% mais au maximum 70% (masse) d'éthylamine
2277	MÉTACRYLATE D'ÉTHYLE STABILISÉ
2278	n-HEPTÈNE
2284	ISOBUTYRONITRILE
2287	ISOHEPTÈNES
2288	ISOHEXÈNES
2296	MÉTHYLCYCLOHEXANE
2298	MÉTHYLCYCLOPENTANE
2301	MÉTHYL-2 FURANNE
2309	OCTADIÈNES
2333	ALLYLACÉTAT
2335	ÉTHÉR ALLYLÉTHYLIQUE
2338	FLUORURE DE BENZYLIDYNE
2339	BROMO-2 BUTANE
2340	ÉTHÉR BROMO-2 ÉTHYLÉTHYLIQUE
2342	BROMOMÉTHYLPROPANES
2343	BROMO-2 PENTANE
2344	BROMOPROPANES
2345	BROMO-3 PROPYNE
2346	BUTANEDIONE
2347	MERCAPTAN BUTYLIQUE
2350	ÉTHÉR BUTYLMÉTHYLIQUE
2351	NITRITES DE BUTYLE
2352	ÉTHÉR BUTYLVINYLIQUE STABILISÉ
2353	CHLORURE DE BUTYRYLE
2354	ÉTHÉR CHLORO-MÉTHYLÉTHYLIQUE
2356	CHLORO-2 PROPANE
2358	CYCLOOCTATÉTRAÈNE

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
2359	DIALLYLAMINE
2360	ÉTHER DIALLYLIQUE
2362	DICHLORO-1,1 ÉTHANE
2363	MERCAPTAN ÉTHYLIQUE
2367	alpha-MÉTHYL-VALÉRALDÉHYDE
2370	HEXÈNE-1
2371	ISOPENTÈNES
2372	BIS (DIMÉTHYLAMINO)-1,2 ÉTHANE
2373	DIÉTHOXYMÉTHANE
2374	DIÉTHOXY-3,3 PROPÈNE
2375	SULFURE D'ÉTHYLE
2376	DIHYDRO-2,3 PYRANNE
2377	DIMÉTHOXY-1,1 ÉTHANE
2378	DIMÉTHYLAMINOACÉTONITRILE
2379	DIMÉTHYL-1,3 BUTYLAMINE
2380	DIMÉTHYLDIÉTHOXSILANE
2381	DIMETHYLDISULFID
2383	DIPROPYLAMINE
2384	ÉTHER DI-n-PROPYLIQUE
2385	ISOBUTYRATE D'ÉTHYLE
2386	ÉTHYL-1 PIPÉRIDINE
2387	FLUOROBENZÈNE
2388	FLUOROTOLUÈNES
2389	FURANNE
2390	ODO-2 BUTANE
2391	ODOMÉTHYLPROPANES
2393	FORMIATE D'ISOBUTYLE
2395	CHLORURE D'ISOBUTYRYLE
2396	MÉTHYLACROLÉINE STABILISÉE
2397	MÉTHYL-3 BUTANONE-2
2398	ÉTHER MÉTHYL tert-BUTYLIQUE
2399	MÉTHYL-1 PIPÉRIDINE
2400	ISOVALÉRATE DE MÉTHYLE
2402	PROPANETHIOLS
2403	ACÉTATE D'ISOPROPÉNYLE
2404	PROPIONITRIL
2406	ISOBUTYRATE D'ISOPROPYLE
2409	PROPIONATE D'ISOPROPYLE
2410	TÉTRAHYDRO-1,2,3,6 PYRIDINE
2411	BUTYRONITRIL
2412	TÉTRAHYDROTHIOPHÈNE
2414	THIOPHÈNE
2416	BORATE DE TRIMÉTHYLE
2436	ACIDE THIOACÉTIQUE
2456	CHLORO-2 PROPÈNE
2457	DIMÉTHYL-2,3 BUTANE
2458	HEXADIÈNES
2459	MÉTHYL-2 BUTÈNE-1
2460	MÉTHYL-2 BUTÈNE-2
2461	MÉTHYLPENTADIÈNES

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
2478	ISOCYANATES INFLAMMABLES, TOXIQUES, N.S.A. ou ISOCYANATE EN SOLUTION, INFLAMMABLE, TOXIQUE, N.S.A.
2493	HEXAMÉTHYLÈNEIMINE
2535	4-MÉTHYLMORPHOLINE (N-MÉTHYL-MORPHOLINE)
2536	MÉTHYLTÉTRAHYDROFURANNE
2554	CHLORURE DE MÉTHYLALLYLE
2561	MÉTHYL-3 BUTÈNE-1
2603	CYCLOHEPTATRIÈNE
2612	ÉTHÉR MÉTHYLPROPYLIQUE
2615	ÉTHÉR ÉTHYLPROPYLIQUE
2616	BORATE DE TRIISOPROPYLE
2622	GLYCIDALDÉHYDE
2707	DIMÉTHYLDIOXANNES
2733	AMINES INFLAMMABLES, CORROSIVES, N.S.A. ou POLYAMINES INFLAMMABLES, CORROSIVES, N.S.A.
2749	TÉTRAMÉTHYLSILANE
2838	BUTYRATE DE VINYLE STABILISÉ
2924	LIQUIDE INFLAMMABLE, CORROSIF, N.S.A.
2945	N-MÉTHYLBUTYLAMINE
2985	CHLOROSILANES INFLAMMABLES, CORROSIFS, N.S.A.
3022	OXYDE DE BUTYLÈNE-1,2 STABILISÉ
3064	NITROGLYCÉRINE EN SOLUTION ALCOOLIQUE avec plus de 1% mais pas plus de 5% de nitroglycérine
3065	BOISSONS ALCOOLISÉES contenant plus de 70% d'alcool en volume
3248	MEDIKAMENT, FLÜSSIG, ENTZÜNDBAR, GIFTIG,
3269	TROUSSES DE RÉSINE POLYESTER, constituant de base liquide
3271	ÉTHERS, N.S.A.
3272	ESTERS, N.S.A.
3274	ALCOOLATES EN SOLUTION dans l'alcool, N.S.A.
3295	HYDROCARBURES LIQUIDES, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
3336	MERCAPTANS LIQUIDES INFLAMMABLES, N.S.A. ou MERCAPTANS EN MÉLANGE LIQUIDE INFLAMMABLE, N.S.A. (pression de vapeur à 50 °C inférieure ou égale à 110 kPa)
3343	NITROGLYCERIN, GEMISCH, DESENSIBILISIERT
3357	NITROGLYCÉRINE EN MÉLANGE, DÉSENSIBILISÉE, LIQUIDE, N.S.A., avec au plus 30% (masse) de nitroglycérine
3371	2-MÉTHYLBUTANAL
3379	LIQUIDE EXPLOSIBLE DÉSENSIBILISÉ, N.S.A.
3469	PEINTURES, INFLAMMABLES, CORROSIVES
3475	MÉLANGE D'ÉTHANOL ET D'ESSENCE contenant plus de 10% d'éthanol

Leitstoff Propan (brennbare Gase)

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1001	ACÉTYLÈNE DISSOUS
1010	BUTADIÈNES STABILISÉS ou BUTADIÈNES ET HYDROCARBURES EN MÉLANGE STABILISÉ, contenant plus de 40 % de butadiènes
1011	BUTANE
1012	BUTYLÈNE
1016	MONOXYDE DE CARBONE COMPRIMÉ
1023	GAZ DE HOUILLE COMPRIMÉ
1026	CYANOGENE
1027	CYCLOPROPANE
1030	DIFLUORO-1,1 ÉTHANE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 152a)
1032	DIMÉTHYLAMINE ANHYDRE
1033	ÉTHÉR MÉTHYLIQUE
1035	ÉTHANE
1036	ÉTHYLAMINE
1037	CHLORURE D'ÉTHYLE
1038	ÉTHYLÈNE LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ
1039	ÉTHÉR MÉTHYLÉTHYLIQUE
1040	OXYDE D'ÉTHYLÈNE
1041	OXYDE D'ÉTHYLÈNE ET DIOXYDE DE CARBONE EN MÉLANGE contenant plus de 9% mais pas plus de 87% d'oxyde d'éthylène
1049	HYDROGENE COMPRIMÉ
1053	SULFURE D'HYDROGENE
1055	ISOBUTYLÈNE
1057	BRIQUETS ou RECHARGES POUR BRIQUETS contenant un gaz inflammable
1060	MÉTHYLACÉTYLÈNE ET PROPADIÈNE EN MÉLANGE STABILISÉ comme le mélange P1, le mélange P2
1061	MÉTHYLAMINE ANHYDRE
1063	CHLORURE DE MÉTHYLE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 40)
1064	MERCAPTAN MÉTHYLIQUE
1071	GAZ DE PÉTROLE COMPRIMÉ
1075	GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉS
1077	PROPYLÈNE
1081	TÉTRAFLUORÉTHYLÈNE STABILISÉ
1082	TRIFLUOROCHLORÉTHYLÈNE STABILISÉ (GAZ RÉFRIGÉRANT R 1113)
1083	TRIMÉTHYLAMINE ANHYDRE
1085	BROMURE DE VINYLE STABILISÉ
1086	CHLORURE DE VINYLE STABILISÉ
1087	ÉTHÉR MÉTHYLVINYLIQUE STABILISÉ
1860	FLUORURE DE VINYLE STABILISÉ
1911	DIBORANE
1912	CHLORURE DE MÉTHYLE ET CHLORURE DE MÉTHYLÈNE EN MÉLANGE
1950	AÉROSOLS inflammables
1953	GAZ COMPRIMÉ TOXIQUE, INFLAMMABLE, N.S.A.
1954	GAZ COMPRIMÉ INFLAMMABLE, N.S.A.
1957	DEUTÉRIUM COMPRIMÉ
1959	DIFLUORO-1,1 ÉTHYLÈNE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 1132a)
1961	ÉTHANE LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ
1962	ÉTHYLÈNE
1964	HYDROCARBURES GAZEUX EN MÉLANGE COMPRIMÉ, N.S.A.
1965	HYDROCARBURES GAZEUX EN MÉLANGE LIQUÉFIÉ, N.S.A. comme mélange A, A01, A02, A0, A1, B1, B2, B ou C

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1966	HYDROGÈNE LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ
1969	ISOBUTANE
1971	MÉTHANE COMPRIMÉ ou GAZ NATUREL (à haute teneur en méthane) COMPRIMÉ
1972	MÉTHANE LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ ou GAZ NATUREL (à haute teneur en méthane) LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ
1978	PROPANE
2034	HYDROGÈNE ET MÉTHANE EN MÉLANGE COMPRIMÉ
2035	TRIFLUORO-1,1,1 ÉTHANE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 143a)
2037	RÉCIPIENTS DE FAIBLE CAPACITÉ CONTENANT DU GAZ (CARTOUCHES À GAZ) sans dispositif de détente, non rechargeables
2044	DIMÉTHYL-2,2 PROPANE
2188	ARSINE
2189	DICHLOROSILANE
2192	GERMANE
2199	PHOSPHINE
2200	PROPADIÈNE STABILISÉ
2202	SÉLÉNIURE D'HYDROGÈNE ANHYDRE
2203	SILANE
2204	SULFURE DE CARBONYLE
2419	BROMOTRIFLUORÉTHYLÈNE
2452	ÉTHYLACÉTYLÈNE STABILISÉ
2453	FLUORURE D'ÉTHYLE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 161)
2454	FLUORURE DE MÉTHYLE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 41)
2517	CHLORO-1 DIFLUORO-1,1 ÉTHANE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 142b)
2534	MÉTHYLCHLOROSILANE
2601	CYCLOBUTANE
2676	STIBINE
3138	ÉTHYLÈNE, ACÉTYLÈNE ET PROPYLÈNE EN MÉLANGE LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ, contenant 71,5% au moins d'éthylène, 22,5% au plus d'acétylène et 6% au plus de propylène
3150	PETITS APPAREILS À HYDROCARBURES GAZEUX ou RECHARGES D'HYDROCARBURES GAZEUX POUR PETITS APPAREILS avec dispositif de décharge
3153	ÉTHER PERFLUORO (MÉTHYLVINYLIQUE)
3154	ÉTHER PERFLUORO (ÉTHYLVINYLIQUE)
3160	GAZ LIQUÉFIÉ TOXIQUE, INFLAMMABLE, N.S.A.
3161	GAZ LIQUÉFIÉ INFLAMMABLE, N.S.A.
3167	ÉCHANTILLON DE GAZ, NON COMPRIMÉ, INFLAMMABLE, N.S.A., sous une forme autre qu'un liquide réfrigéré
3168	ÉCHANTILLON DE GAZ, NON COMPRIMÉ, TOXIQUE, INFLAMMABLE, N.S.A., sous une forme autre qu'un liquide réfrigéré
3252	DIFLUOROMÉTHANE (GAZ RÉFRIGÉRANT R 32)
3300	OXYDE D'ÉTHYLÈNE ET DIOXYDE DE CARBONE EN MÉLANGE contenant plus de 87% d'oxyde d'éthylène
3305	GAZ COMPRIMÉ TOXIQUE, INFLAMMABLE, CORROSIF, N.S.A.
3309	GAZ LIQUÉFIÉ TOXIQUE, INFLAMMABLE, CORROSIF, N.S.A.
3312	GAZ LIQUIDE RÉFRIGÉRÉ, INFLAMMABLE, N.S.A.
3354	GAZ INSECTICIDE INFLAMMABLE, N.S.A.
3355	GAZ INSECTICIDE TOXIQUE INFLAMMABLE, N.S.A.
3358	MACHINES FRIGORIFIQUES contenant un gaz liquéfié inflammable et non toxique
3374	ACÉTYLÈNE SANS SOLVANT
3468	HYDROGÈNE DANS UN DISPOSITIF DE STOCKAGE À HYDRURE MÉTALLIQUE ou HYDROGÈNE DANS UN DISPOSITIF DE STOCKAGE À HYDRURE MÉTALLIQUE CONTENU DANS UN ÉQUIPEMENT ou HYDROGÈNE DANS UN DISPOSITIF DE STOCKAGE À HYDRURE MÉTALLIQUE EMBALLÉ AVEC UN ÉQUIPEMENT
3478	CARTOUCHES POUR PILE À COMBUSTIBLE ou CARTOUCHES POUR PILE À COMBUSTIBLE CONTENUES DANS UN ÉQUIPEMENT ou CARTOUCHES POUR PILE À COMBUSTIBLE EMBALLÉES AVEC UN ÉQUIPEMENT, contenant un gaz liquéfié inflammable

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
3479	CARTOUCHES POUR PILE À COMBUSTIBLE ou CARTOUCHES POUR PILE À COMBUSTIBLE CONTENUES DANS UN ÉQUIPEMENT ou CARTOUCHES POUR PILE À COMBUSTIBLE EMBALLÉES AVEC UN ÉQUIPEMENT, contenant de l'hydrogène dans un hydrure métallique
3501	PRODUIT CHIMIQUE SOUS PRESSION, INFLAMMABLE, N.S.A.
3504	PRODUIT CHIMIQUE SOUS PRESSION, INFLAMMABLE, TOXIQUE, N.S.A.
3505	PRODUIT CHIMIQUE SOUS PRESSION, INFLAMMABLE, CORROSIF, N.S.A.
3510	GAZ ADSORBÉ INFLAMMABLE, N.S.A.
3514	GAZ ADSORBÉ TOXIQUE, INFLAMMABLE, N.S.A.
3517	GAZ ADSORBÉ TOXIQUE, INFLAMMABLE, CORROSIF, N.S.A.
3522	ARSINE ADSORBÉ
3523	GERMANE ADSORBÉ
3525	PHOSPHINE ADSORBÉE
3526	SÉLÉNIURE D'HYDROGÈNE ADSORBÉ
3529	MOTEUR À COMBUSTION INTERNE FONCTIONNANT AU GAZ INFLAMMABLE ou MOTEUR PILE À COMBUSTIBLE CONTENANT DU GAZ INFLAMMABLE ou MACHINE À COMBUSTION INTERNE FONCTIONNANT AU GAZ INFLAMMABLE ou MACHINE PILE À COMBUSTIBLE CONTENANT DU GAZ INFLAMMABLE

Leitstoff Chlor (humantoxische Gase)

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
1005	AMMONIAC ANHYDRE
1008	TRIFLUORURE DE BORE
1017	CHLORE
1045	FLUOR COMPRIMÉ
1048	BROMURE D'HYDROGÈNE ANHYDRE
1050	CHLORURE D'HYDROGÈNE ANHYDRE
1062	BROMURE DE MÉTHYLE contenant au plus 2% de chloropicrine
1067	TÉTROXYDE DE DIAZOTE (DIOXYDE D'AZOTE)
1069	CHLORURE DE NITROSYLE
1076	PHOSGÈNE
1079	DIOXYDE DE SOUFRE
1581	BROMURE DE MÉTHYLE ET CHLOROPICRINE EN MÉLANGE contenant plus de 2% de chloropicrine
1582	CHLORURE DE MÉTHYLE ET CHLOROPICRINE EN MÉLANGE
1589	CHLORURE DE CYANOGENE STABILISÉ
1612	TÉTRAPHOSPHATE D'HEXAÉTHYLE ET GAZ COMPRIMÉ EN MÉLANGE
1660	MONOXYDE D'AZOTE (OXYDE NITRIQUE) COMPRIMÉ
1741	TRICHLORURE DE BORE
1749	TRIFLUORURE DE CHLORE
1859	TÉTRAFLUORURE DE SILICIUM
1955	GAZ COMPRIMÉ TOXIQUE, N.S.A.
1967	GAZ INSECTICIDE TOXIQUE, N.S.A.
1975	MONOXYDE D'AZOTE ET TÉTROXYDE DE DIAZOTE EN MÉLANGE (MONOXYDE D'AZOTE ET DIOXYDE D'AZOTE EN MÉLANGE)
2190	DIFLUORURE D'OXYGÈNE COMPRIMÉ
2191	FLUORURE DE SULFURYLE
2194	HEXAFLUORURE DE SÉLÉNIUM
2195	HEXAFLUORURE DE TELLURE
2196	HEXAFLUORURE DE TUNGSTÈNE
2197	IODURE D'HYDROGÈNE ANHYDRE
2198	PENTAFLUORURE DE PHOSPHORE
2417	FLUORURE DE CARBONYLE
2418	TÉTRAFLUORURE DE SOUFRE
2420	HEXAFLUORACÉTONE
2548	PENTAFLUORURE DE CHLORE
2901	CHLORURE DE BROME
3057	CHLORURE DE TRIFLUORACÉTYLE
3083	FLUORURE DE PERCHLORYLE
3162	GAZ LIQUÉFIÉ TOXIQUE, N.S.A.
3169	ÉCHANTILLON DE GAZ, NON COMPRIMÉ, TOXIQUE, N.S.A., sous une forme autre qu'un liquide réfrigéré
3303	GAZ COMPRIMÉ TOXIQUE, COMBURANT, N.S.A.
3304	GAZ COMPRIMÉ TOXIQUE, CORROSIF, N.S.A.
3306	GAZ COMPRIMÉ TOXIQUE, COMBURANT, CORROSIF, N.S.A.
3307	GAZ LIQUÉFIÉ TOXIQUE, COMBURANT, N.S.A.
3308	GAZ LIQUÉFIÉ TOXIQUE, CORROSIF, N.S.A.
3310	GAZ LIQUÉFIÉ TOXIQUE, COMBURANT, CORROSIF, N.S.A.
3318	AMMONIAC EN SOLUTION AQUEUSE de densité relative inférieure à 0,880 à 15 °C contenant plus de 50% d'ammoniac
3512	GAZ ADSORBÉ TOXIQUE, N.S.A.
3515	GAZ ADSORBÉ TOXIQUE, COMBURANT, N.S.A.
3516	GAZ ADSORBÉ TOXIQUE, CORROSIF, N.S.A.

UN-Nummer	Stoffname gemäss RID
3518	GAZ ADSORBÉ TOXIQUE, COMBURANT, CORROSIF, N.S.A.
3519	TRIFLUORURE DE BORE ADSORBÉ
3520	CHLORE ADSORBÉ
3521	TÉTRAFLUORURE DE SILICIUM ADSORBÉ
3524	PENTAFLUORURE DE PHOSPHORE ADSORBÉ

A2 Plausibilitätskontrolle Gefahrgutmengen

Die neu berechneten TgG-Gefahrgutmengen werden aufsteigend nach der ID «idSubElement» sortiert. Ein Python-Skript ermittelt das Vorgängerelement jeder ID und berechnet als Vergleichsgrösse einen Quotienten basierend auf dem Attribut «Gefahrgutmenge_total». Ist der Quotient kleiner als 1, erfolgt eine Invertierung von Zähler und Nenner. Die berechneten Quotienten werden pro Punkt grafisch mit Ampelfarben visualisiert und entlang des gesamten Netzes manuell überprüft. Quotienten $\geq 1,1$ werden als Sprünge betrachtet.

Folgende manuelle Anpassungen werden vorgenommen (Abbildung 13):

- Offensichtlich unlogische und signifikante Sprünge in der Gesamtmenge aller Gefahrgüter («Gefahrgutmenge_total»), die auf offener Strecke oder in Tunneln, insbesondere bei zusammenführenden oder divergierenden Linien auftreten, werden korrigiert (Abbildungen 15 & 16). Insgesamt werden für ca. 400 Punkte alle 8 Gefahrgutparameter (alle Stoffkategorien) angepasst.
- Anpassungen für die Streckenabschnitte Eppenbergtunnel, Ceneri-Basistunnel und neuem Bözbergtunnel. Bei diesen Streckenabschnitten lagen weniger als fünf Jahre Gefahrgutdaten vor. Die Gefahrgutmengen wurden entsprechend der tatsächlich vorhandenen Jahre korrigiert.
- Anpassungen im Raum Basel Badischer Bahnhof gemäss Kapitel 4.2.4.

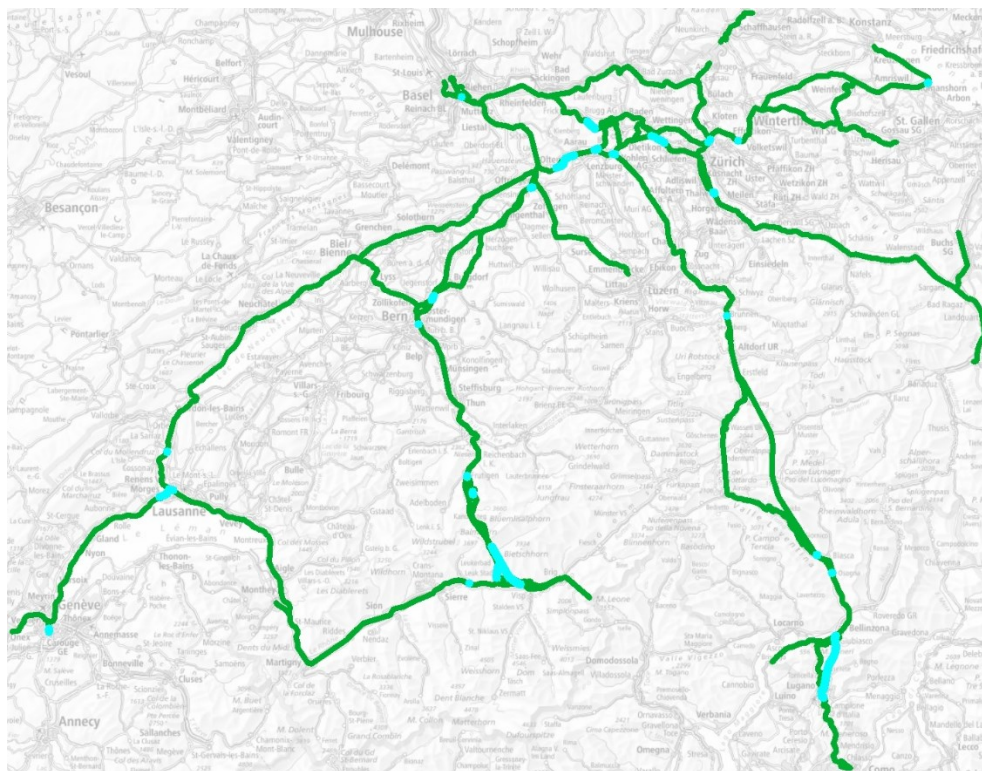


Abbildung 13: Störfallnetz mit manuellen Anpassungen der Gefahrgutmenge (Anpassung = türkis)

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 14 und Abbildung 15) veranschaulichen zwei typische Beispiele für Anpassungen an spezifischen Lokationen. In diesen Beispielen nimmt die Gefahr-gut-Gesamtmenge (analog zu den Mengen für der einzelnen Leitstoffe) über kurze Streckenabschnitte zu oder ab und springt anschliessend wieder auf den ursprünglichen Wert zurück. EBP schätzt, dass nur etwa 0.2 % aller Linien-EP (BASE) derartige Diskrepanzen aufweisen.

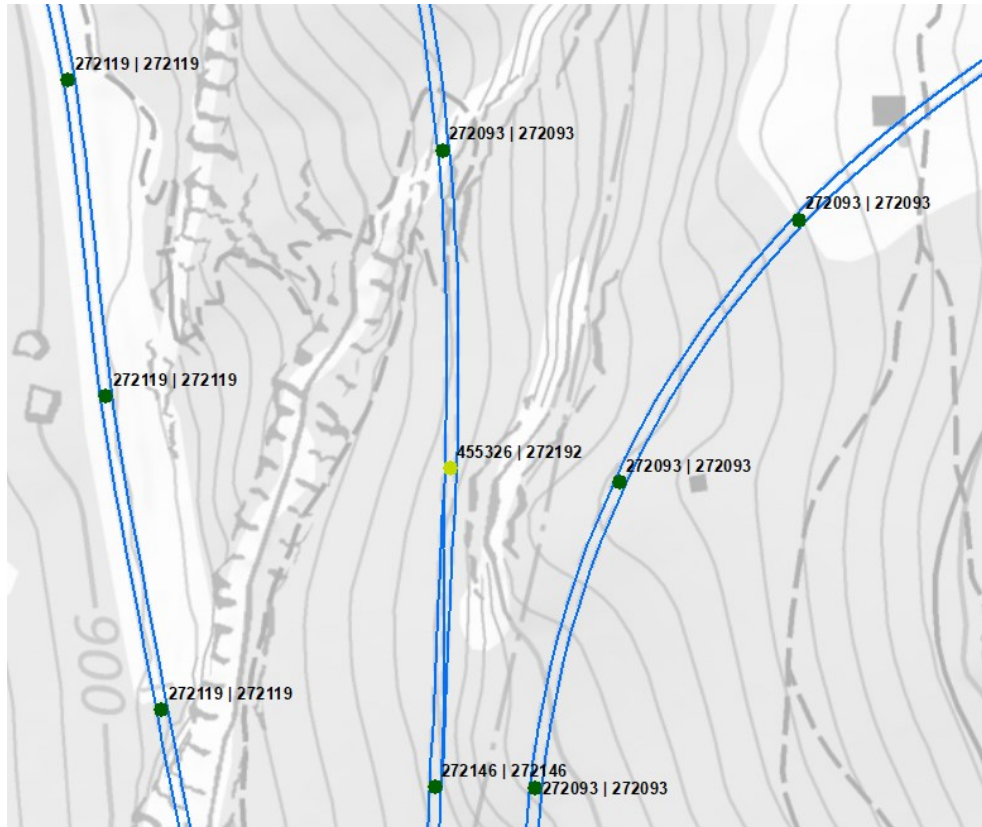


Abbildung 14: Beispiel 1: Gefahr-gut-menge total in [t] vor manueller Korrektur in TgG | danach
(für idSubElement 30002982 | X 2617802.31170654 | Y 1154427.10168457 | DfALinie 300 | DfAKm 23.8)

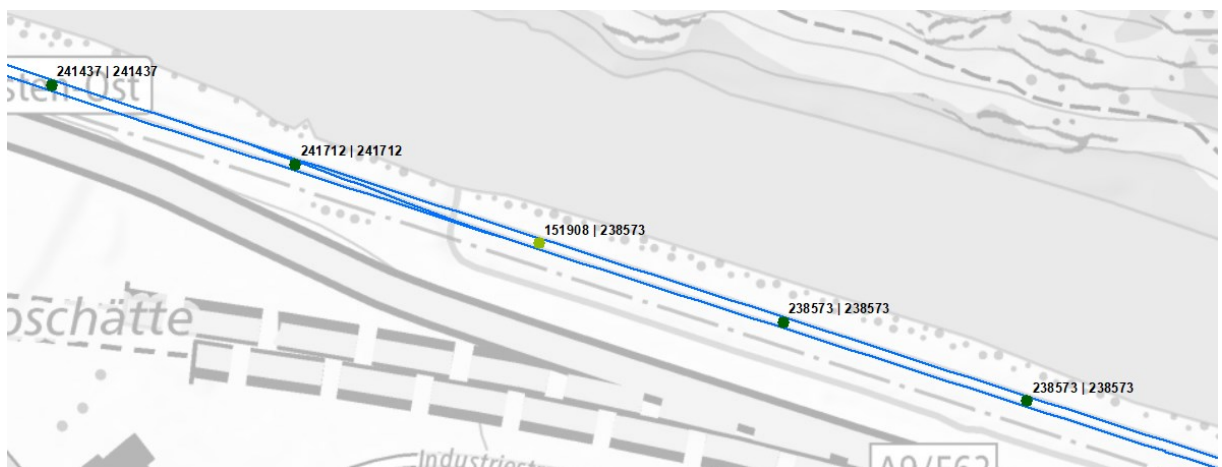


Abbildung 15: Beispiel 2: Gefahr-gut-menge total in [t] vor manueller Korrektur in TgG | danach
(für idSubElement 10003772 | X 2616674.558289 | Y 1128605.989075 | DfA-Linie 100 | DfAKm 118.5)

A3 Dauer einer Grundwasserverschmutzung

Die Ermittlung der Dauer einer Grundwasserverschmutzung basiert auf der Methodik für das Umweltscreening bei der Bahn sowie den dort verwendeten Parameterwerten (vgl. Kapitel 8.4.2 bis 8.4.5 in [9]). Diese Methodik wurde 2008 entwickelt und erstmals netzweit angewendet. Später wurden Annahmen zur Entnahme von Gefahrgut aus dem Boden bzw. dem Grundwasserträger mittels Interventions- bzw. Sanierungsmassnahmen angepasst (vgl. [10]).

Die Ermittlung der Verschmutzungsdauer (bzw. der Dauer, während der die zugehörigen Fassungen bzw. Quellen nicht für die Trinkwasserversorgung nutzbar sind), erfolgt in zwei Schritten, die sich qualitativ wie folgt beschreiben lassen:

- 1) Ermittlung des Gefahrgutvolumens in die gesättigte Zone (Rechengang: Freisetzungsmenge abzüglich Eintragsmenge in ein OFG, abzüglich oberflächlicher Rückhalt (z.B. an der Vegetation) bzw. Rückhalt in der ungesättigten Zone, abzüglich Entnahmemenge durch Intervention sowie durch Sanierungsmassnahmen).
- 2) Bildung einer Gefahrgutlinse, welche auf der gesättigten Zone aufschwimmt (LS Mineralöl) bzw. in diese eindringt (andere LS). An der Grenzfläche zur gesättigten Zone gehen die Schadstoffe unterschiedlich schnell in Lösung. Es wird angenommen, dass gelöste Schadstoffe mit der Grundwasserströmung davongetragen, verdünnt und allmählich abgebaut werden. Die Dauer, bis die gesamte Schadstoffmenge in der Linse in Lösung geht, entspricht in guter Näherung der gesuchten Verschmutzungsdauer.

Die beiden Schritte lassen sich formelmässig wie folgt beschreiben:

$$1) \quad V_{gZ} = (V_{Fr} - V_{OFG} - V_{R,uZ}) * \varphi_I * \varphi_S$$

wobei: V_{gZ} : Gefahrgutvolumen, das nach Intervention und Sanierung in der gesättigten Zone verbleibt

V_{Fr} : Freisetzungsvolumen

V_{OFG} : Eintragsvolumen in OFG

$V_{R,Zu}$: Rückhaltevolumen an der Oberfläche (z.B. Vegetation) sowie in der ungesättigten Zone

φ_I : Anteil des durch Intervention entnehmbaren Gefahrguts

φ_S : Anteil des durch Sanierung entnehmbaren Gefahrguts

und folgende Werte verwendet werden:

V_{Fr} : gemäss Tabelle 1 in [10] (abhängig vom Szenario²⁵)

V_{OFG} : ortsspezifischer Parameter aus Abflussmodellierung (pro Szenario)

$V_{R,Zu}$: ortsspezifischer Parameter aus Abflussmodellierung (pro Szenario)

φ_I : 0.4 (Standardwert gemäss Seite 6 in [9])

φ_S : 0.1 (Standardwert gemäss Seite 6 in [9]).

Alle Gefahrgutvolumina werden aus den entsprechenden Massen mittels Division durch die Dichte gemäss Tabelle 3 in [9] ermittelt.

- 2) Aus dem Wert für V_{gZ} (je ein Wert pro Szenario) wird die Ausfalldauer gemäss [9] wie folgt ermittelt (die Rechnung wird der Übersichtlichkeit halber in drei Schritte (i) – (iii) unterteilt, mit zwei Zwischenergebnissen für A_0 (Abflussquerschnitt der gelösten

25 Für die Ermittlung der Grundwasserrisiken werden insgesamt 54 Szenarien unterschieden: 3 Leitstoffe, 3 Freisetzungsorte, 3 Freisetzungsmengen, Unterscheidung trockener bzw. durchnässter Boden. Dies ergibt total $3*3*3*2 = 54$ Szenarien (bzw. H-A-Wertepaare).

Schadstoffe am Eintragsort in [m²] und den Massenstrom $\dot{m}$ (aus der Gefahrgutlinse hinaus in den umgebenden Grundwasserträger diffundierendes Gefahrgut):

(i) Es gilt:

$$A_0 = 2 \sqrt{\frac{V_{gz}}{h_{sch} \rho}} \cdot (e_{GW} + \sqrt{2 \alpha_T \sqrt{\frac{V_{gz} \rho}{h_{sch}}}})$$

wobei:

h_{sch} : Schichtdicke ungelöste Schadstoffphase auf Grundwasseroberfläche [m]

π : Kreiszahl (3.14159...)

e_{GW} : Schwankungsbereich Grundwasseroberfläche [m]

α_T : transversale Dispersivität [m]

und folgende Werte verwendet werden:

h_{sch} : 0.01 m

e_{GW} : 0.5 m

α_T : 0.1 m

(ii) Aus dem obigen Wert für A_0 lässt sich der Gefahr-Massenstrom $\dot{m}$ ermitteln:

$$\dot{m} = k J c_0 A_0$$

wobei:

$\dot{m}$: Massenstrom vom Schadstoff an der Phasengrenzfläche [kg/s]

k : Durchlässigkeit des Aquifers [m/s]

J : hydraulisches Gefälle [-]

c_0 : Löslichkeit des Schadstoffs im Wasser [kg/m³]

und folgende Werte verwendet werden:

k : 0.1 m/s für Karst
0.001 m/s für Kies/Sand
 $5 \cdot 10^{-5}$ m/s für Sand/Silt
 10^{-8} m/s für Tone/Fels

J : 0.05

c_0 : 0.1 kg/m³ für LS Mineralölprodukte
60 kg/m³ für LS Epichlorhydrin
0.15 kg/m³ für LS Perchlorethylen

(iii) Aus der Gefahrgutmenge $m_{gz} = V_{gz} \rho$ in der gesättigten Zone sowie dem Parameter $\dot{m}$ kann schliesslich die Verschmutzungsdauer T einfach berechnet werden:

$$T = \frac{m_{gz}}{\dot{m}} \quad \text{für } T \text{ in [s] bzw.}$$

$$T = \frac{12 \cdot m_{gz}}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \dot{m}} \quad \text{für } T \text{ in [Monaten]}$$

wobei die Dichte ρ gemäss Tabelle 3 in [9] verwendet wird.