

Personenrisiken beim Transport gefährlicher Güter auf der Bahn

Aktualisierte netzweite Abschätzung der Personenrisiken (Screening 2006)
5. Februar 2007



Executive Summary

Ausgangslage

Die Eidgenössische Störfallverordnung (StFV) verpflichtet die Inhaber von Verkehrswegen, auf welchen gefährliche Güter transportiert werden, die daraus resultierende Risikosituation für Bevölkerung und Umwelt abzuschätzen und nötigenfalls Sicherheitsmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor schweren Schädigungen infolge von Störfällen zu treffen.

Im Jahr 2001 hat die SBB in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Verkehr (BAV), dem damaligen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL; heute BAFU) und der schweizerischen chemischen Industrie, einen netzweiten Überblick über die Risikosituation, die sich aufgrund des Gefahrguttransports auf der Schiene in der Schweiz ergibt vorgelegt. Die damaligen Resultate zeigten, dass für rund 1 % oder 34 km des Normalspur-Bahnnetzes die Risiken aufgrund des Gefahrguttransports gemäss den Richtlinien des Bundes im so genannt „nicht akzeptablen Bereich“ lagen.

Auf Initiative der SBB wurden in der Folge zusammen mit dem Bund und der SGCI Chemie Pharma Schweiz in der „Gemeinsamen Erklärung“ für alle Parteien verbindliche Massnahmen zur Reduktion grosser Risiken zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor schweren Schäden durch den Transport gefährlicher Güter festgelegt.

Seit der Erstellung der ersten Übersicht der Störfallpersonenrisiken im Jahr 2001 hat sich die Situation bei den Gefahrguttransporten auf der Schiene in der Schweiz stark verändert. Hauptgründe dazu sind primär die Veränderung der Menge und der Transportrouten, insbesondere des das Risiko hauptbestimmenden Stoffs Chlor, im Zusammenhang mit der Schliessung der Chlor-Produktionsstätten in der Schweiz, und der damit verbundenen Verlagerung auf Chlorimporttransporte sowie die Wirkung, der in den letzten Jahren von Bahn und Industrie umgesetzten Sicherheitsmassnahmen.

Die SBB und die BLS haben in Absprache mit den Bundesbehörden BAV und BAFU deshalb beschlossen, eine Aktualisierung des netzweiten Überblicks über die Risikosituation aufgrund des Gefahrguttransports auf der Schiene vorzunehmen.

Der vorliegende Bericht zeigt die Resultate der aktualisierten, netzweiten Übersicht über die Personenrisiken beim Transport gefährlicher Güter auf der Bahn auf Basis der Transportdaten des Jahres 2005 auf.

Wichtigste Resultate und Erkenntnisse

Generell hat sich die Risikosituation insbesondere bei den Personenrisiken aufgrund des Gefahrguttransports auf der Schiene gegenüber dem Jahr 2001 deutlich verbessert:

- Auf dem untersuchten 3'471 km langen Normalspurnetz der SBB und der BLS sind keine Streckenabschnitte mehr mit nicht akzeptablen Personenrisiken (gemäss den Richtlinien des Bundes) zu verzeichnen.
- Rund 90 % des Streckennetzes liegen im akzeptablen Bereich, der Rest im so genannten Übergangsbereich.
- Massgeblichen Einfluss auf die Risikosituation haben unverändert die Transporte der beiden Leitstoffe Chlor und Benzin.
- Die Risiken für den Leitstoff Chlor haben aufgrund des veränderten Transportaufkommens (andere Transportwege) abgenommen.
- Die Risiken für den Leitstoff Benzin haben sich relativ zu den anderen Leitstoffen, jedoch auf wesentlich tieferem Niveau, leicht erhöht.

Trotz dieser sehr erfreulichen Resultate – bei einigen Streckenabschnitten mit grosser Bevölkerungsdichte und hohem Transportaufkommen liegen die Risiken jedoch nur knapp unterhalb der Akzeptanzlinie – gilt es, die in den letzten Jahren eingeleiteten Massnahmen primär aus der „Gemeinsamen Erklärung“, aber auch weitere, durch die Bahnen im Rahmen ihres Sicherheitsmanagements geplanten Sicherheitsmassnahmen, unvermindert umzusetzen.

Gründe für verbessertes Ergebnis und Fazit

Die gegenüber dem Jahr 2001 deutlich besseren Ergebnisse sind primär auf folgende Gründe zurück zu führen:

- *Gute Sicherheitsbilanz der Bahnen:* Zentral auch für Gefahrgutunfälle sind die für die Bahn wohl bedeutendsten sicherheitsrelevanten Ereignisse wie Zusammenstösse und Entgleisungen. Die zur Verbesserung der Systemsicherheit durch die Bahnen getätigten, umfassenden Sicherheitsmassnahmen der letzten Jahre zeigen nun die erwartete Wirkung. So wird der bei den Bahnen seit Jahren stetig abnehmende Trend bei Zusammenstössen und Entgleisungen auch in den letzten fünf Jahren weiter fortgesetzt. Dies hat eine positive Auswirkung auf die Zahl der Unfälle und somit direkt auf die potenziell möglichen Freisetzungshäufigkeiten von Gefahrgut aus Transportbehältern.
- *Einstellung der Chlorproduktion in der Schweiz per Ende 2005:* Dies führt zu einer deutlichen Entlastung der verkehrsreichen Strecken im Nord-Süd-Verkehr, von wichtigen Güterverkehrsachsen im Mittelland und der Nordschweiz und einiger, bis anhin stark belasteter Agglomerationen und Eisenbahnverkehrsknotenpunkte.
- *Wirkung von Sicherheitsmassnahmen:* Zentral sind die in den letzten Jahren unvermindert fortgesetzten, grossen Anstrengungen aller Parteien. Namentlich die in der „Gemeinsamen Erklärung

SBB/UVEK/SGCI“ vom Juni 2002 festgelegten Massnahmen zur Verbesserung der Personenrisiken scheinen ihre ersten, positiven Auswirkungen zu zeigen:

- Der Einsatz von Entgleisungsdetektoren bei rund 620 Kesselwagen sowie eine Optimierung der Routenwahl durch veränderte Beschaffungswege für Chlorimporte durch die Industrie, leisten netzweit einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung der Personenrisiken.
- Mit dem Einsatz der sicherheitstechnisch stark verbesserten Kesselwagen für Chlortransporte in die Schweiz können die Risiken mit sehr grossem Schadenpotenzial nochmals signifikant gesenkt werden. Die ersten solchen Chlorkesselwagen werden durch die chemische Industrie seit Ende Oktober 2006 eingesetzt. Dank diesem Engagement insbesondere der chemischen Industrie wird bereits vor Inkrafttreten der neuen, internationalen Bestimmungen für den Gefahrguttransport in Europa ein wesentlicher Beitrag für eine massgebliche Verbesserung der Sicherheit in diesem Bereich geleistet.

Die Resultate des Screenings 2006 zeigen, dass die Bahnen mit ihren grossen Investitionen in die Systemsicherheit, aber auch alle anderen beteiligten Parteien mit den bereits realisierten oder in den nächsten Jahren noch vorgesehenen Massnahmen auf dem richtigen Weg sind, um die Risiken aus dem Transport gefährlicher Güter auf der Bahn für die Bevölkerung und die Umwelt noch weiter zu reduzieren.

Impressum

Die Arbeiten zum vorliegenden Bericht wurden unter Leitung der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) durch folgende Vertreter der Eidgenössischen Behörden und der Bahnen begleitet:

G. Balmer	BAV, Sektion Umwelt
D. Bonomi	BAFU, Sektion Sicherheitstechnik
H.P. Egli	SBB AG, Infrastruktur Betriebsführung
B. Gay	BAFU, Sektion Sicherheitstechnik
P. Kuhn	SBB AG, Zentralbereich Sicherheit (Projektleitung)
M. Merkofer	BAFU, Sektion Sicherheitstechnik
A. Nüesch	BLS AG, Risikomanagement und Umwelt
S. Schnell	BAV, Sektion Umwelt
H.P. Stoll	SBB AG, Zentralbereich Sicherheit
J. Vouillamoz	BLS AG, Risikomanagement und Umwelt

Folgende Mitarbeiter der durch SBB, BAV, BAFU und BLS AG beauftragten Firma Ernst Basler + Partner AG waren für die Sachbearbeitung verantwortlich:

C. Fermaud	Projektbearbeitung / Qualitätssicherung
P. Locher	Stv. Projektleitung / Qualitätssicherung
B. Weber	Projektbearbeitung
C. Zulauf	Projektleitung

Zusammenfassung der Ergebnisse

Verkehrswege, auf denen gefährliche Güter transportiert werden, unterstehen der Störfallverordnung (StFV). Gemäss StFV sind bei Verkehrswegen die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen zum Schutze der Bevölkerung und der Umwelt vor schweren Schädigungen infolge von Störfällen zu treffen. Zentrales Element der StFV ist ein zweistufiges Kontroll- und Beurteilungsverfahren, mit welchem die getroffenen Sicherheitsmassnahmen geprüft und die Tragbarkeit des Risikos für Bevölkerung und Umwelt infolge von Störfällen beim Transport gefährlicher Güter beurteilt werden.

Grundlage:
Störfallverordnung (StFV)

Für die Beurteilung der Tragbarkeit des Risikos bei Verkehrswegen werden die Beurteilungskriterien des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) herangezogen. Als Basis zur Festlegung der Beurteilungskriterien sowie zur weiteren Umsetzung der StFV bei den Bahnen wurden in den vergangenen Jahren folgende Grundlagen erarbeitet:

Beurteilungskriterien für
Verkehrswege und Grundlagen

- Pilotrisikoanalyse Bahn [PRA Bahn, 1998]: Methodik zur Ermittlung der Risiken für die Bevölkerung (Personenrisiken) infolge eines Störfalles beim Transport gefährlicher Güter mit der Bahn auf offener Strecke.
- Screening¹⁾ Personenrisiken 2000 [TgG Bahn, 2000]: Netzweite summarische Abschätzung der Risiken auf dem Normalspur-Bahnnetz der Schweiz.
- Screening Personenrisiken 2001 [TgG Bahn, 2003]: Aktualisierung netzweites Screening sowie Untersuchung der risikomindernden Wirkung und der Umsetzungsmöglichkeiten von verschiedenen Sicherheitsmassnahmen.

Folgende Veränderungen gegenüber dem Screening 2001 und aktuellen Entwicklungen waren Anlass für eine Aktualisierung des Screenings:

Veränderungen gegenüber
Screening 2001

- Menge und Routen der transportierten Gefahrgüter (z.B. von Chlor im Zusammenhang mit der Schliessung von Produktionsstätten in der Schweiz).

1) Als Screening wird nachfolgend die grobe Abschätzung der netzweiten Risiken aus dem Gefahrguttransport auf der Bahn bezeichnet. Die Methodik basiert auf einem pragmatischen parametrisierten Ansatz, der aus der Methodik der Pilotrisikoanalyse [PRA Bahn, 1998] abgeleitet wurde. Die Methodik dient der Schaffung einer groben Risikoübersicht und ersetzt keine ortsspezifischen Risikoeermittlungen nach StFV, da im Rahmen des Screenings gewisse risikorelevanten Einflussgrössen nicht im Detail abgebildet werden können (z.B. publikumsintensive Anlagen wie Fussballstadien). Vor diesem Hintergrund sind auch die Ergebnisse des Screenings zu bewerten bzw. zu interpretieren.

- Aktualisierung der Wirkung von ereignisverhindernden Sicherheitsmassnahmen, die zu einem sinkenden Trend bei den Unfall- und Freisetzungshäufigkeiten pro Zug- bzw. Wagenkilometer führen.
- Eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Methodik zur Ermittlung der Risiken im Rahmen von ortsspezifischen Risikoermittlungen hat zudem gezeigt, dass die Ergebnisse aus dem Screening als konservativ zu beurteilen sind.

Aktualisierung Screening beschlossen

Die Bahnen (Schweizerische Bundesbahnen und BLS AG), das Bundesamt für Verkehr sowie das Bundesamt für Umwelt haben deshalb beschlossen, eine Aktualisierung des Screenings 2001 vorzunehmen.

Aktualisierung der Grundlagendaten und methodische Weiterentwicklung

Die Screening-Methodik basiert grundsätzlich auf der Pilotrisikoanalyse Bahn. Aufgrund der erwähnten Erkenntnisse aus ortsspezifischen Risikoanalysen wurden für die vorliegende Untersuchung neben einer Aktualisierung der Grundlagendaten – insbesondere der Transportmengen für die drei Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor – verschiedene methodische Weiterentwicklungen geprüft und berücksichtigt.

Überprüfung/Berücksichtigung methodischer Elemente

Folgende Elemente der Methodik wurden im Rahmen der Aktualisierung geprüft:

- Trendanalyse Unfallgeschehen und Freisetzungshäufigkeiten
- Einfluss lokaler Geschwindigkeit
- Detaillierte Betrachtung Chlorfreisetzungsszenarien
- Berücksichtigung des Einflusses von Zugkontrollleinrichtungen
- Interaktion von Leitstoffen
- Ergänzte Abschätzung der Personenexposition

Für keine Strecken Summenkurve über Akzeptabilitätslinie

Die Resultate des aktualisierten Screenings sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Im Gegensatz zu den bisherigen Screenings sind aktuell auf dem 3'471 km langen Normalspurbahnnetz (ohne Tunnelstrecken mit einer Gesamtlänge von 134 km) keine Strecken mehr zu verzeichnen, für welche die ermittelte Summenkurve im W-A-Diagramm über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001] liegt. 11% des Streckennetzes liegen im Übergangsbereich, was primär auf den Einfluss der beiden Leitstoffe Benzin und Chlor zurückzuführen ist.

Resultate des aktualisierten Screenings 2006

Leitstoff	Unter Unerheblichkeitslinie		Unterer Übergangsbereich		Oberer Übergangsbereich		Über Akzeptabilitätslinie	
	[km]	[%]	[km]	[%]	[km]	[%]	[km]	[%]
Alle	3'104	89%	295	9%	72	2%	0	0%
Benzin	3'117	90%	292	8%	61	2%	0	0%
Propan	3'422	99%	47	1%	1	0.04%	0	0%
Chlor	3'335	96%	119	3%	17	0.5%	0	0%

Verminderter Einfluss des Leitstoffes Chlor

Die Auswertung zeigt, dass insbesondere der Einfluss des Leitstoffes Chlor aufgrund des veränderten Transportaufkommens sowie der methodischen

Weiterentwicklungen im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen weniger stark ausgeprägt ist. Dies führt zum einen dazu, dass keine Strecken zu verzeichnen sind, für welche die abgeschätzte Summenkurve über der Akzeptabilitätslinie liegt und zum anderen dazu, dass der Stellenwert des Leitstoffes Benzin relativ zu den anderen Leitstoffen eher zugenommen hat.

Betrachtet man den Verlauf der abgeschätzten Summenkurven aus dem Screening im Häufigkeits-Ausmass-Diagramm (W-A-Diagramm) der kritischsten Streckenelemente, so zeigt sich, dass in einer Vielzahl der Fälle die Gesamtsummenkurven aufgrund des Verlaufs der Summenkurve für den Leitstoff Chlor im oberen Übergangsbereich liegen. Charakteristisch für den Verlauf der Summenkurven für den Leitstoff Chlor ist, dass teilweise sehr grosse Schadenausmasse (mit entsprechend geringer Eintretenshäufigkeit) möglich sind. Demgegenüber weisen die Summenkurven für den Leitstoff Benzin i.d.R. grössere Eintretenshäufigkeiten, aber deutlich geringere maximale Schadenausmasse auf.

Charakteristik der Summenkurven für die Leitstoffe Benzin und Chlor

Die Ergebnisse zeigen, dass aktuell keine Strecken mehr auf dem schweizerischen Normalspurnetz zu verzeichnen sind, für welche die im aktuellen Screening ermittelten Summenkurven über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001] liegen. Dies ist neben den aktuellen ortsspezifischen Daten zum Gefahrgutauftreten auf die methodischen Weiterentwicklungen, die u.a. eine Angleichung an bestehende Risikoermittlungen nach StFV zum Ziel haben, und die grossen Anstrengungen der Bahnen für Sicherheitsmassnahmen in den letzten Jahren zurückzuführen.

Ergebnisse des aktualisierten Screenings

Die Tatsache, dass keine Strecken mehr mit Summenkurven über der Akzeptabilitätslinie vorliegen, heisst nicht, dass alle Risiken als tragbar beurteilt werden können. Bei den Risiken im Übergangsbereich hat das BAV gemäss [BK II, 2001] als Vollzugsbehörde die Tragbarkeit von Risiken zu beurteilen. Können Risiken im Übergangsbereich mit verhältnismässigen Massnahmen verringert werden, so müssen allenfalls zusätzliche Sicherheitsmassnahmen umgesetzt werden. Die Massnahme "Sicherheitstechnisch verbesserte Kesselwagen" weist eine sehr hohe Wirkung auf. Diese Massnahme ist – im Gegensatz zu anderen, nur lokal wirkenden Massnahmen – vergleichsweise kostengünstig. Sie weist damit ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Dies wurde auch bereits in [TgG Bahn, 2003] aufgezeigt und schon damals von allen Beteiligten ohne Vorbehalte zur Umsetzung empfohlen. Entsprechend wurde diese Massnahme denn auch als zentralster Punkt in die "Gemeinsame Erklärung" zwischen SBB, SGCI und UVEK vom Juni 2002 aufgenommen.

Beurteilung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	2
1.3	Abgrenzung	3
1.4	Vorgehen	3
2	Aktualisierung Risikoabschätzung	5
2.1	Untersuchtes Streckennetz	5
2.2	Gefahrguttransporte	5
2.3	Methodische Weiterentwicklungen.....	9
2.3.1	Übergeordnete/netzweite Einflussgrößen	9
2.3.2	Ortsspezifische Einflussgrößen	14
3	Ergebnisse aktualisiertes Screening	21
4	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	23

Anhänge

- A1 Übersichtskarten Transportmengen 2005
- A2 Übersichtskarten Personenrisiken
- A3 Wirkungsfaktoren HFO
- A4 Fallbeispiele

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Verkehrswege, auf denen gefährliche Güter transportiert werden, unterstehen der Störfallverordnung (StFV) [StFV, 1991]. Gemäss StFV sind bei Verkehrswegen die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen zum Schutze der Bevölkerung und der Umwelt vor schweren Schädigungen infolge von Störfällen zu treffen. Zentrales Element der StFV ist ein zweistufiges Kontroll- und Beurteilungsverfahren, mit dem die getroffenen Sicherheitsmassnahmen geprüft und die Tragbarkeit des Risikos für Bevölkerung und Umwelt infolge von Störfällen beim Transport gefährlicher Güter beurteilt werden.

Grundlage:
Störfallverordnung (StFV)

Für die Beurteilung der Tragbarkeit des Risikos bei Verkehrswegen werden die Beurteilungskriterien [BK II, 2001] des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) herangezogen. Als Basis zur Festlegung der Beurteilungskriterien sowie zur weiteren Umsetzung der StFV bei den Bahnen wurden in den vergangenen Jahren folgende Grundlagen erarbeitet:

Beurteilungskriterien für
Verkehrswege und Grundlagen

- *Pilotrisikoanalyse Bahn*: Im Frühjahr 1998 wurde mittels einer Pilotrisikoanalyse [PRA Bahn, 1998] die Methodik zur Ermittlung der Risiken für die Bevölkerung (Personenrisiken) infolge eines Störfalls beim Transport gefährlicher Güter mit der Bahn auf offener Strecke erarbeitet. Diese Methodik wurde an einem Fallbeispiel angewendet. *Ziel der Studie: Entwicklung einer Methodik.*
- *Screening²⁾ 2000*: Im Jahre 2000 wurde eine netzweite Übersicht der Personenrisiken infolge des Transports gefährlicher Güter auf dem gesamten risikomässig relevanten Normalspur-Bahnnetz der Schweiz erarbeitet [TgG Bahn, 2000]. Diese netzweite summarische Abschätzung der Risiken basierte auf der oben genannten Pilotrisikoanalyse. Zusätzlich wurden verschiedene Massnahmen hinsichtlich ihrer Risikominde- rung sowie ihrer betrieblichen und finanziellen Folgen grob beurteilt. *Ziel der Studie: Netzweite Abschätzung der Risiken und grobe Beurteilung von Massnahmenwirkungen; Grundlagen für die Erarbeitung der Beurteilungskriterien II zur StFV.*

2) Als Screening wird nachfolgend die grobe Abschätzung der netzweiten Risiken aus dem Gefahrguttransport auf der Bahn bezeichnet. Die Methodik basiert auf einem pragmatischen parametrisierten Ansatz, der aus der Methodik der Pilotrisikoanalyse [PRA Bahn, 1998] abgeleitet wurde. Die Methodik dient der Schaffung einer groben Risikoübersicht und ersetzt keine ortsspezifischen Risikermittlungen nach StFV, da im Rahmen des Screenings gewisse risikorelevanten Einflussgrössen nicht im Detail abgebildet werden können (z.B. publikumsintensive Anlagen wie Fussballstadien). Vor diesem Hintergrund sind auch die Ergebnisse des Screenings zu bewerten bzw. zu interpretieren.

- *Screening 2001*: Im Nachgang zum Screening 2000 wurde im Jahre 2001 eine Aktualisierung vorgenommen, in dem neben aktualisierten Gefahrguttransportmengen auch methodische Weiterentwicklungen berücksichtigt wurden [TgG Bahn, 2003]. Ferner wurden die risikomindernde Wirkung und die Umsetzungsmöglichkeiten von verschiedenen Sicherheitsmassnahmen vertieft untersucht. *Ziel der Studie: Vertiefte Prüfung der risikomindernden Wirkung technischer und betrieblicher Sicherheitsmassnahmen.*

Zusammenfassung der Resultate
Screening 2001

Die Anwendung der Beurteilungskriterien gemäss Richtlinien des BAFU [BK II, 2001] auf das gesamte Bahnnetz ergab für das Screening 2001 folgende Resultate:³⁾

- Für rund 1% des Normalspur-Bahnnetzes – dies entspricht 34 km – liegen die abgeschätzten Summenkurven über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001].
- Auf 15% des Streckennetzes liegen die Risiken im Übergangsbereich.
- Auf den restlichen 84% des Streckennetzes liegen die abgeschätzten Summenkurven unter der Unerheblichkeitslinie gemäss [BK II, 2001]. Darunter befinden sich auch diejenigen Strecken, die infolge kleiner Gefahrgutmengen bzw. tiefer Werte für die Häufigkeit einer schweren Schädigung gemäss Kurzbericht nicht weiter untersucht wurden.

1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Veränderungen gegenüber
Screening 2001

Gegenüber dem Screening 2001, haben sich folgende Veränderungen ergeben:

- Menge und Routen der transportierten Gefahrgüter (z.B. von Chlor im Zusammenhang mit der Schliessung von Produktionsstätten in der Schweiz).
- Umsetzung verschiedener ereignisverhindernder Sicherheitsmassnahmen, die zu einem sinkenden Trend bei den Unfall- und Freisetzungshäufigkeiten pro Zug- bzw. Wagenkilometer führen.
- Eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Methodik zur Ermittlung der Risiken im Rahmen von ortsspezifischen Risikoermittlungen hat zudem gezeigt, dass die Ergebnisse aus dem Screening als konservativ zu beurteilen sind.

3) Die Angaben beziehen sich auf das Normalspurnetz der Schweiz, das eine Länge von 3605 km aufweist. In der Untersuchung nicht berücksichtigt wurden Tunnelstrecken, die insgesamt rund 134 km umfassen (Anteil Tunnel am untersuchten Streckennetz).

Als eine der Grundlagen für die Umsetzung der "Gemeinsamen Erklärung (GE)" ist ein Überblick über die aktuellen Risiken aus dem Gefahrguttransport erforderlich. Im Rahmen des Controllings zur GE wurde deshalb entschieden, eine Aktualisierung des Screenings Personenrisiken sowie eine Überprüfung der bisherigen Annahmen vorzunehmen. Der vorliegende Bericht erläutert die methodischen Weiterentwicklungen und fasst die Ergebnisse der Aktualisierung zusammen. Die Arbeiten erfolgten unter der Leitung der SBB (Zentralbereich Sicherheit).

Umsetzung der "Gemeinsamen Erklärung"

1.3 Abgrenzung

Für die Untersuchung gelten folgende Abgrenzungen:

Abgrenzung der Untersuchung

- Es werden alle Strecken des schweizerischen Normalspurnetzes untersucht, auf denen im Jahr 2005 Gefahrgutmengen von mindestens 100'000 t oder einer der Leitstoffe⁴⁾ Chlor oder Propan in beliebiger Menge transportiert wurden.
- Tunnel sowie Rangierbahnhöfe werden für die Abschätzung der Summenkurven wie bereits in früheren Screenings nicht berücksichtigt.⁵⁾
- Das Screening beschränkt sich wie bisher auf den Schadenindikator Personenschäden. Umweltrisiken sind nicht Gegenstand des Screenings.

1.4 Vorgehen

Die grundsätzliche Methodik der Risikoanalyse wurde 1997/1998 im Rahmen einer Pilotrisikoanalyse für die Anwendung bei der Bahn erarbeitet [PRA Bahn, 1998]. Die Screening-Methodik basiert auf der Pilotrisikoanalyse sowie Vereinfachungen für die Zwecke eines Screenings. Die vorliegende Untersuchung orientiert sich hinsichtlich des methodischen Vorgehens an den bisherigen Studien [TgG Bahn, 2000] und [TgG Bahn, 2003].

Pilotrisikoanalyse Bahn als Basis

Aufgrund der eingangs erwähnten Erkenntnisse aus ortsspezifischen Risikoanalysen wurden für die aktuelle Untersuchung verschiedene methodi-

Methodische Weiterentwicklungen

-
- 4) Um das Spektrum der transportierten Gefahrgüter abbilden zu können, wurden in den früheren Studien die Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor definiert, die als Repräsentanten für Stoffe mit vergleichbaren Eigenschaften herangezogen werden. Bei der Ermittlung der ortsspezifischen Transportströme werden die jeweils ähnlichen Stoffe über Gewichtungsfaktoren mitberücksichtigt. Weitere Angaben dazu finden sich in [PRA Bahn, 1998], [TgG Bahn, 2000] und [TgG Bahn, 2003].
- 5) Bei der Erhebung der Gefahrgutströme wurden diese Streckentypen mitberücksichtigt.

sche Weiterentwicklungen geprüft und – soweit im Sinne der Fragestellung sinnvoll bzw. zweckmässig – im Rahmen der Aktualisierung berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.3).

2 Aktualisierung Risikoabschätzung

2.1 Untersuchtes Streckennetz

Das Netz der Schweizer Normalspurbahnen umfasst insgesamt rund 3'600 km. Davon entfallen etwa 3'000 km oder ca. 80% auf das Netz der SBB AG, rund 440 km oder 12% entfallen auf das Netz der BLS AG. Insgesamt wurden durch die Bahnen für 1620 Streckenelemente bzw. rund 1'900 km die aktuellen Gefahrgutmengen erhoben. Abbildung 1 zeigt das untersuchte Streckennetz.

Erhebung der aktuellen
Gefahrgutmengen für rund
1900 km

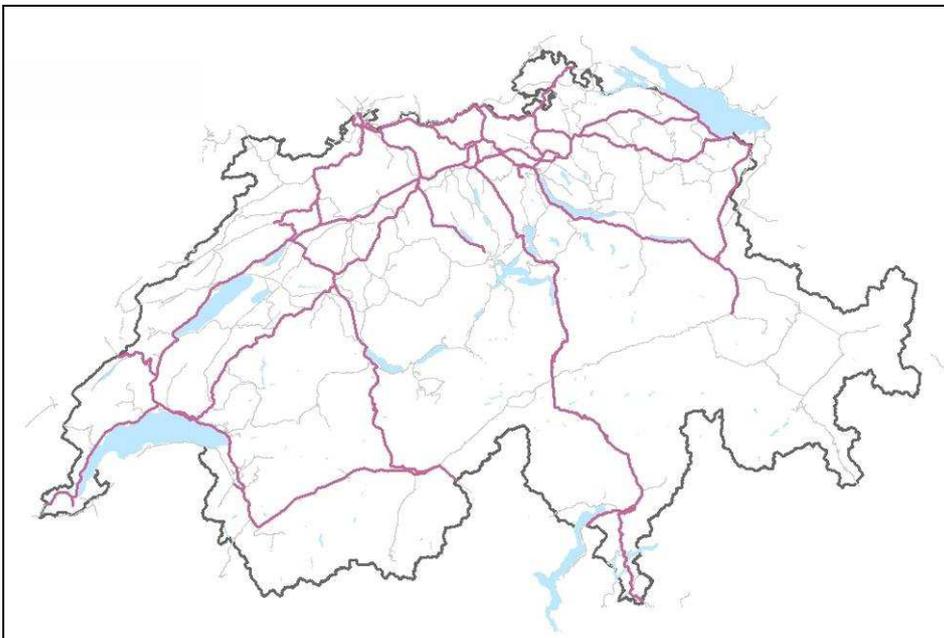


Abbildung 1:
Untersuchtes Streckennetz⁶⁾

2.2 Gefahrguttransporte

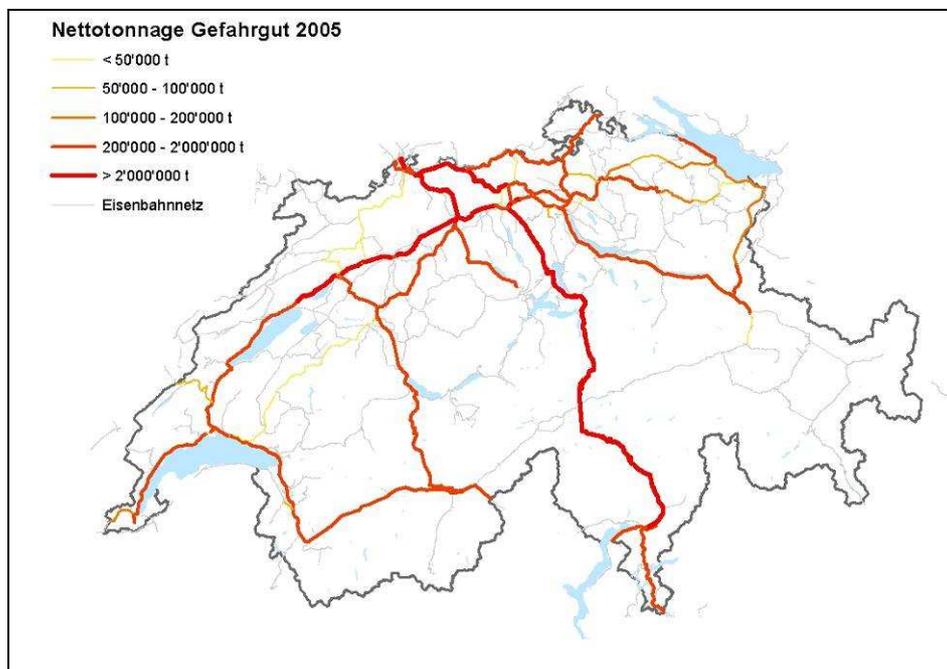
Die Gefahrgutmengen für das Jahr 2005 aus dem Cargo-Informationssystem (CIS) wurden von den Bahnen zusammen mit Informationen zur Transportroute (aufgrund der Zugnummern) so aufbereitet, dass für jeden untersuchten Streckenabschnitt und jede UN-Nummer die Nettotonnage

Ermittlung der ortsspezifischen
Gefahrgutströme

6) Aufgrund der Aktualisierung der Transportdaten, die als Kriterium für die Berücksichtigung bzw. Nichtberücksichtigung von Strecken herangezogen werden, ist das hier ausgewiesene Streckennetz nicht genau identisch mit demjenigen der bisherigen Screenings (für das Screening 2001 wurde das Streckennetz aus dem Screening 2000 übernommen).

sowie die Zahl der Wagen angegeben werden kann.⁷⁾ In Abbildung 2 sind die aktuellen ortsspezifischen Gefahrgutdaten für die kumulierten Nettotonnagen dargestellt.

Abbildung 2:
Gefahrgutaufkommen 2005
(Nettotonnagen)



Vergleich mit
Transportmengen 2000

Vergleicht man die aktuellen Transportmengen auf Basis der Nettotonnagen, so zeigt sich, dass sich örtlich teilweise deutliche Veränderungen gegenüber den Gefahrgutdaten aus dem Jahr 2000 ergeben. Ein Grund dafür sind die effektiven Veränderungen im Transportaufkommen. Vereinzelt sind die Veränderungen auch auf vertiefte Abklärungen bei der Erhebung zum Gefahrgutaufkommen zurückzuführen.⁸⁾

Bestimmung der
leitstoffspezifischen
Transportmengen

Auf Basis der ortsspezifischen Transportmengen wurden analog zu den bisherigen Untersuchungen unter Berücksichtigung stoffspezifischer Gewichtungsfaktoren die resultierenden Transportmengen für die drei Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor bestimmt. Nachfolgend sind in Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 sowie in Anhang A1 die jewei-

7) Die Angaben zu den Transportmengen beziehen sich auf insgesamt 154 Linien entlang der untersuchten Strecken. Als Anfangs- bzw. Endpunkte dieser Linien werden alle mittelgrossen oder grossen Bahnhöfe, bei denen die Transportmengen signifikant ändern können, sowie Knotenpunkte herangezogen, an denen mehrere Linien zusammenkommen. Die Angaben zur Zahl der Wagen beinhalten auch Leerfahrten. Die Zahl der vollen Wagen, die für die Zwecke der Risikoanalyse verwendet wird, wird aus der kumulierten Nettotonnage und einem entsprechenden leitstoffabhängigen Mittelwert pro gefülltem Kesselwagen ermittelt.

8) Auf Basis der verfügbaren Grundlagen kann nicht in allen Fällen eindeutig eruiert werden, wie die Transportströme kleinräumig effektiv verlaufen. Dies gilt insbesondere im Bereich von Städten und Agglomerationen. Im Vergleich zum Screening 2001 wurden für die vorliegende Studie verstärkt ortsspezifische Abklärungen zu diesen Fragen vorgenommen. Ferner wurden auch die Transportmengen an den Knotenpunkten (Schnittpunkt zweier Linien) spezifisch mit den Bahnen abgestimmt. Ebenso gilt es festzuhalten, dass die Erhebung der Transportdaten bei den Bahnen weiter verbessert werden konnte. So wurden beispielsweise auch Mehrfahrten von Zügen spezifisch erfasst.

ligen Transportmengen grafisch dargestellt. Die Grafiken zeigen das jährliche Transportaufkommen, umgerechnet auf volle Kesselwagen pro Jahr. Für die entsprechende Umrechnung der leistungsspezifischen Transportmengen wurde von folgenden mittleren Transportmengen pro Kesselwagen ausgegangen:

- Leitstoff Benzin: 60 Tonnen pro Kesselwagen
- Leitstoff Propan: 42 Tonnen pro Kesselwagen
- Leitstoff Chlor: 53 Tonnen pro Kesselwagen

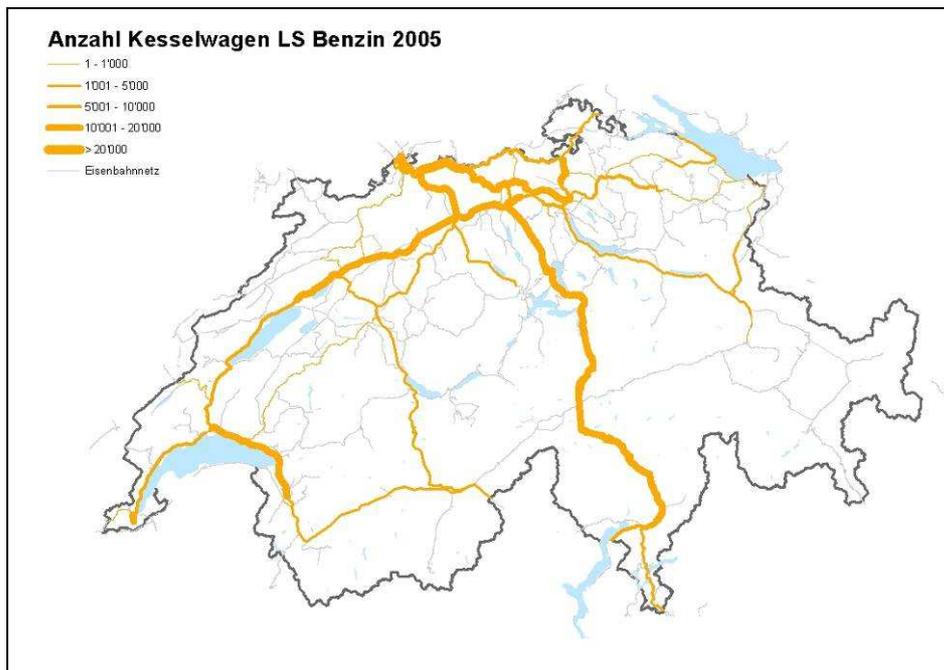


Abbildung 3:
Transportmengen Leitstoff
Benzin 2005 in
[Kesselwagen/Jahr]

Abbildung 4:
Transportmengen Leitstoff
Propan 2005 in
[Kesselwagen/Jahr]

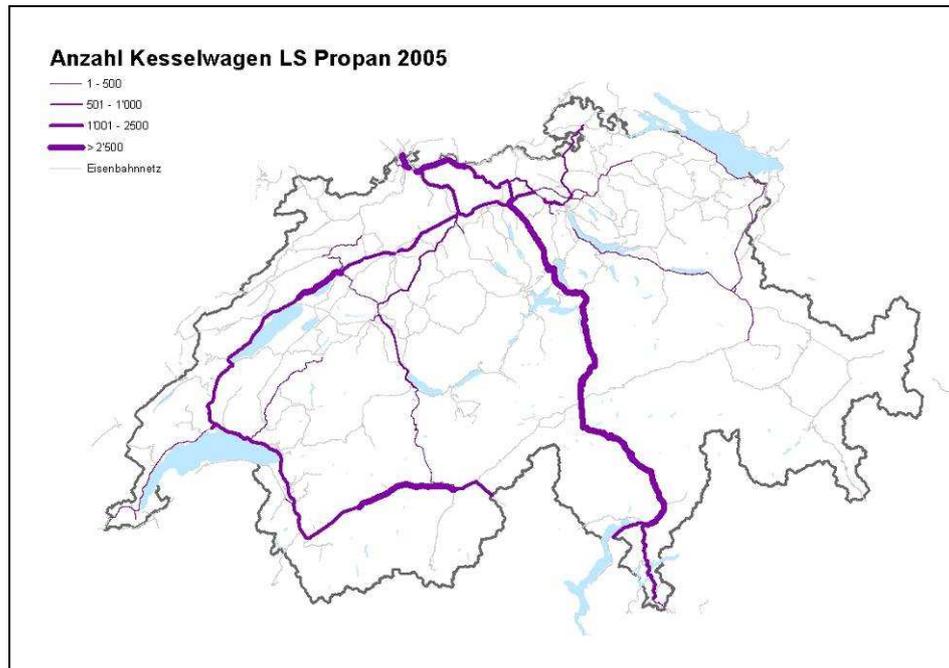
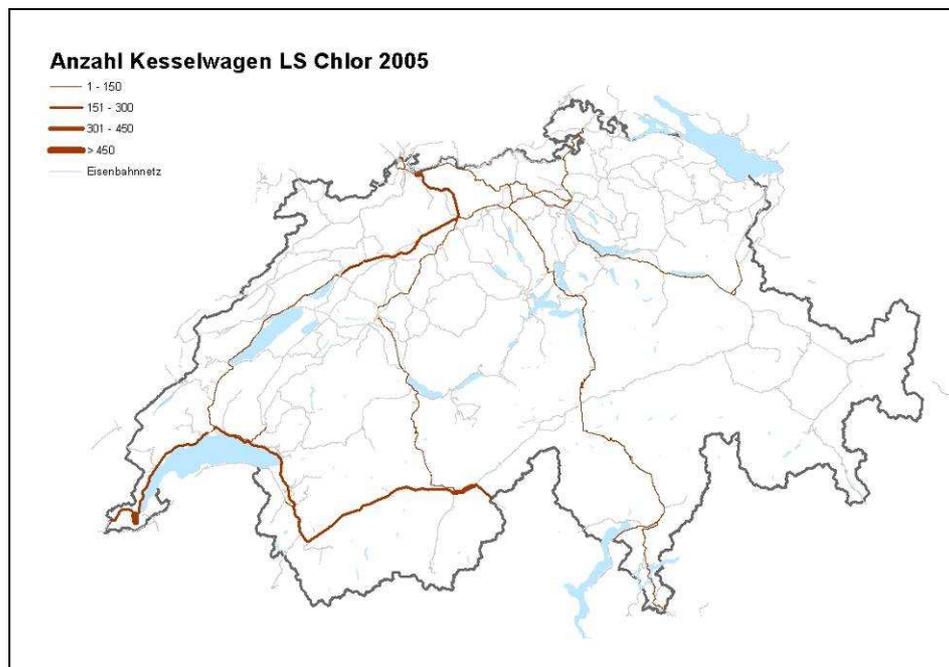


Abbildung 5:
Transportmengen Leitstoff Chlor
2005 in [Kesselwagen/Jahr]



Leitstoffspezifische Verteilung
der Transporte

Insgesamt wird anhand der Grafiken verdeutlicht, dass sich die Transporte der beiden Leitstoffe Propan und Chlor im Gegensatz zum Leitstoff Benzin nur über Teile des Bahnnetzes erstrecken. Der Leitstoff Propan wird auf rund 88%, der Leitstoff Chlor auf rund 68% des untersuchten Streckennetzes transportiert, während der Leitstoff Benzin praktisch auf dem ge-

samten untersuchten Streckennetz transportiert wird, wenn auch in sehr unterschiedlichen Mengen.

Die Transportströme des Leitstoffes Chlor haben sich im Vergleich zum Screening 2001 infolge der Einstellung der Chlorgasproduktion eines Betriebes im Raum Zurzach erheblich verändert. Die Versorgung der chlorverarbeitenden Betriebe im Kanton Wallis erfolgt heute grösstenteils über die Westschweiz und den Simplontunnel. Das Binnentransportaufkommen wurde dadurch spürbar reduziert. Basierend auf den aktuellen Transportdaten aus dem Jahr 2005 ergibt sich für den Leitstoff Chlor eine Transportleistung von 7.1 Mio. Tonnen-km. In der letzten Untersuchung [TgG Bahn, 2003] lag dieser Wert mit rund 11 Mio. Tonnen-km um fast einen Faktor 2 höher.

Veränderung Transportströme und -leistung für den Leitstoff Chlor

2.3 Methodische Weiterentwicklungen

Im Rahmen der Aktualisierung des Screenings der Personenrisiken wurden verschiedene methodische Elemente hinsichtlich nachweislich konservativer Annahmen geprüft. Ferner wurde die bereits im Screening 2001 [TgG Bahn, 2003] durchgeführte Trendanalyse zur Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung des Unfallgeschehens bei den Bahnen fortgeführt sowie weitere ortsspezifische Grundlagen zusätzlich in der Methodik berücksichtigt. Nachfolgend sind die wesentlichen Aspekte der methodischen Weiterentwicklungen gegenüber den bisherigen Screenings zusammengefasst. Sie sind wie folgt gegliedert:

Aktualisierung und Weiterentwicklung der methodischen Grundlagen

- Übergeordnete/netzweite Einflussgrössen
- Ortsspezifische Einflussgrössen

2.3.1 Übergeordnete/netzweite Einflussgrössen

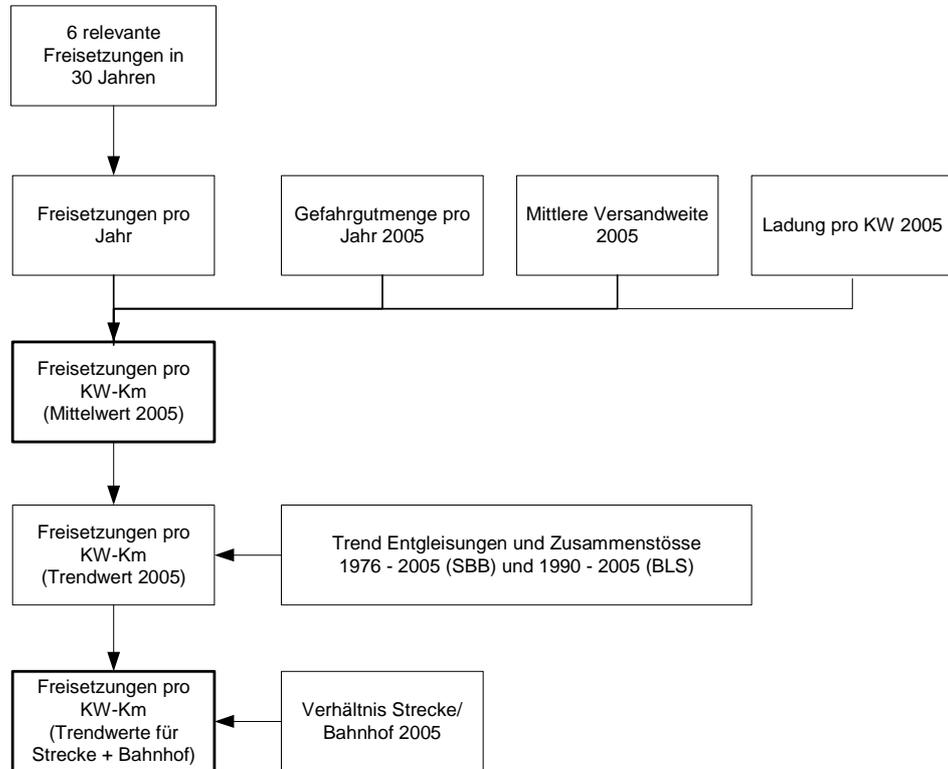
Fortführung der Trendanalyse für das Unfallgeschehen und die Freisetzungshäufigkeiten

Um die Unfallhäufigkeit zu senken, setzen die Bahnen seit langem zahlreiche Sicherheitsmassnahmen in verschiedenen technischen und operationellen Bereichen um. Dies betrifft Massnahmen an der Infrastruktur, am Rollmaterial und im Betrieb. Die Umsetzung und laufende Verbesserung solcher Massnahmen drücken sich in einem rückläufigen Trend der Entgleisungs- und Zusammenstossraten und damit auch der Unfall- bzw. Gefahrgutfreisetzungsraten aus. Um diesen Aspekt berücksichtigen zu können, wurde die bereits im Screening 2001 [TgG Bahn, 2003] durchgeführte

Zeitliche Entwicklung der Unfall- bzw. Freisetzungsraten berücksichtigen

Trendanalyse fortgeführt. Das prinzipielle Vorgehen dazu ist analog zu [TgG Bahn, 2003] und ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

Abbildung 6:
Vorgehen zur Trendanalyse



Sechs relevante Freisetzungen
in 30 Jahren

Aufgrund der Datenverfügbarkeit (Freisetzungen) lassen sich nur für den Leitstoff Benzin statistische Auswertungen ableiten. Die Abschätzung der Freisetzungsrates für den Leitstoff Benzin basiert auf einer statistischen Analyse der Periode 1976 bis 2005 der Daten der SBB sowie den entsprechenden Angaben der BLS für den Zeitraum 1990 bis 2005. In dieser Zeit haben sich bei insgesamt 157 Unfallereignissen (79 Entgleisungen und 78 Zusammenstösse), welche im Sinne der vorliegenden Fragestellung als relevant ausgeschieden wurden, insgesamt 6 relevante Freisetzungen bei Zugfahrten ereignet⁹⁾. Als relevant werden dabei Freisetzungen von mehr als 1'000 Liter bezeichnet.

Abnehmender Trend bei
Entgleisungen und
Zusammenstössen

In der gleichen Zeitperiode haben sich die Anzahl Entgleisungen und Zusammenstösse bei Zugfahrten, bezogen auf einen Zugkilometer, gemäss Abbildung 7 entwickelt. Die Grafik zeigt die Entwicklung der jährlichen Häufigkeiten von Entgleisungen und Zusammenstössen (rote Kurve) sowie die daraus abgeleiteten Trendfunktionen (gestrichelt: lineare Trendfunktion; ausgezogen: exponentielle Trendfunktion; vgl. auch Fussnote 10). Da die Freisetzungshäufigkeit proportional ist zur Zahl der schweren Unfälle (insbesondere Entgleisungen und Zusammenstösse), ist davon auszugehen,

9) Ohne Berücksichtigung von Rangierbewegungen.

dass auch die Freisetzungshäufigkeiten in den letzten Jahren analog abgenommen haben.

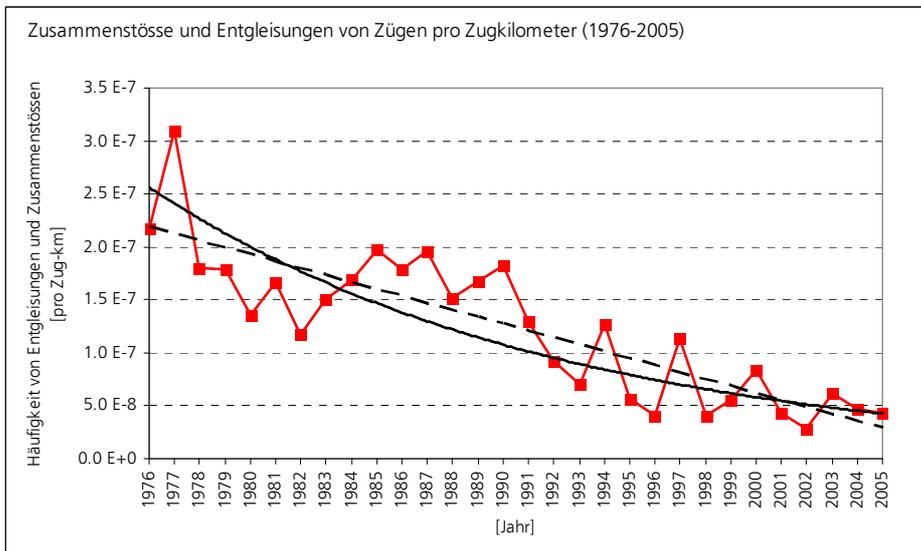


Abbildung 7:
Trend bei den relevanten
Zugunfällen¹⁰⁾

Legt man der Freisetzungsrates den gleichen Trend zugrunde und bezieht den Wert auf einen zurückgelegten Kesselwagen-Kilometer (KW-km), so ergibt sich für den Leitstoff Benzin und das Jahr 2005 ein Wert von $1.8 \cdot 10^{-9}$ Freisetzungen pro KW-km. Dieser Wert ist somit im Vergleich zum Screening 2001 ($4.4 \cdot 10^{-9}$ Freisetzungen pro KW-km) um rund einen Faktor 2 kleiner.¹¹⁾

Freisetzungsrates für den
Leitstoff Benzin im Jahr 2005

Die Freisetzungsrates kann lokal variieren. Für das vorliegende Screening ist massgeblich, ob es sich um eine freie Strecke oder um einen Bahnhofsbereich handelt. Analog [TgG Bahn, 2003] wurden die entsprechenden Freisetzungsrates anhand einer detaillierten Auswertung der Unfallstatistiken den SBB und der BLS ermittelt (insgesamt 157 Zusammenstöße und Entgleisungen als Basis). Die Auswertung zeigt, dass sich von den 157 Unfällen 46 auf freier Strecke und 111 in Bahnhofsbereichen ereignet haben. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Fahrleistungen¹²⁾ ergibt sich damit ein Verhältnis freie Strecke zu Bahnhofsbereich von 1 zu 12.7 ([TgG Bahn, 2003]: 1 zu 9).

Unterschied freie Strecke
und Bahnhofsbereich

10) Im Vergleich zur Trendanalyse in [TgG Bahn, 2003], welche auf einer linearen Trendfunktion basierte, wird für die vorliegenden Untersuchung eine exponentielle Trendfunktion für die Abschätzung herangezogen. Die beiden Trendfunktionen sind in Abbildung 7 zur Illustration dargestellt. Aufgrund der Fortführung der Trendanalyse zeigt sich, dass die neu gewählte exponentielle Trendfunktion besser mit der ermittelten Häufigkeit von Zusammenstößen und Entgleisungen korreliert, als die lineare Funktion.

11) Dieser Faktor wirkt sich netzweit auf die Lage der abgeschätzten Summenkurven aus (Reduktion gegenüber Screening 2001).

12) Insgesamt rund 160 Mio. Zugkilometer für den Untersuchungszeitraum. Davon entfallen 84% auf freie Strecken und 16% auf Bahnhofsbereiche.

Trend: Rückläufige Freisetzungsraten

Für die freie Strecke ergibt dies eine Freisetzungsrates von $6.2 \cdot 10^{-10}$ und den Bahnhofsbereich $7.9 \cdot 10^{-9}$ pro KW-km. Die Freisetzungsraten sind somit um rund einen Faktor 2 (Bahnhofbereiche) bzw. 3 (offene Strecken) geringer gegenüber den Werten in [TgG Bahn, 2003].

Leitstoffe Chlor und Propan

Für die Leitstoffe Propan und Chlor können keine zuverlässigen statistischen Grundlagen beigezogen werden. Ereignisse sind in den letzten 30 Jahren in der Schweiz nicht aufgetreten und auch eine Ausdehnung des Beobachtungsraumes auf Europa ergibt kaum statistisch verwertbare Informationen.

Keine Anpassungen bei Freisetzungsraten aus Gaskesselwagen

Da keine neuen, belastbaren Erkenntnisse zur Frage der Freisetzungsraten aus Gaskesselwagen vorliegen, wird im Folgenden weiterhin von den Annahmen in den bisherigen Untersuchungen ausgegangen, welche für die Leitstoffe Propan und Chlor eine um einen Faktor 10 gegenüber dem Leitstoff Benzin verminderte Freisetzungsrates ausweisen.

Leitstoff Chlor: Angleichung an Erkenntnisse aus ortsspezifischen Risikoermittlungen

Leitstoff Chlor: Screening Summenkurven konservativ

Die Abschätzung der Summenkurven im Rahmen des Screenings basiert wie bereits erwähnt auf einer Vereinfachung der Methodik gemäss [PRA Bahn, 1998]. Der Vergleich der bisherigen Screening-Ergebnisse mit detaillierten ortsspezifischen Risikoermittlungen nach StFV hat gezeigt, dass die abgeschätzten Screening-Summenkurven für den Leitstoff Chlor zu konservativ abgeschätzt wurden.

Anpassung an Erkenntnisse aus ortsspezifischen Risikoermittlungen

Für den Leitstoff Chlor werden in der Screening-Methodik die Freisetzungsrates "spontan" und "kontinuierlich" unterschieden. Für die kontinuierlichen Freisetzungsszenarien wurde jeweils zwischen einer grossen und einer kleinen Freisetzung unterschieden.¹³⁾ Wie die Vergleiche mit den ortsspezifischen Risikoermittlungen gezeigt haben, wurde hierbei in den bisherigen Screenings der Anteil der grossen (kontinuierlichen) Freisetzungsrates zu konservativ abgeschätzt.¹⁴⁾ Im Vergleich zu den ortsspezifischen Risikoermittlungen führte dies dazu, dass die Lage der Summenkurven für den Leitstoff Chlor im Screening für diese Szenarien um etwa einen Faktor 3-5 kritischer eingeschätzt wurde. Für das aktuelle Screening wurde deshalb der Anteil dieser Szenarien entsprechend vermindert.

Interaktion Leitstoffe

Überprüfung der Annahmen aus [PRA Bahn, 1998]

Bei einer Freisetzung des Leitstoffes Benzin kann es unter Umständen zu so genannten Sekundärfreisetzungsrates anderer Leitstoffe kommen, wenn sich

13) Für spontane Freisetzungsrates wird in allen Fällen von einer grossen Freisetzungsmenge ausgegangen.

14) Anders ausgedrückt wurde für das Szenario einer kleinen kontinuierlichen Freisetzung des Leitstoffes Chlor von einer zu geringen bedingten Wahrscheinlichkeit ausgegangen.

ein solcher Kesselwagen im Wirkungsbereich des Brandes befindet (Interaktion von Leitstoffen). Diese Möglichkeit wurde in der ursprünglichen Methodik der Pilotrisikoanalyse [PRA Bahn, 1998] für die Leitstoffe Propan und Chlor berücksichtigt. Im Rahmen dieser Aktualisierung des Screenings wurden die damals getroffenen Annahmen nochmals überprüft.

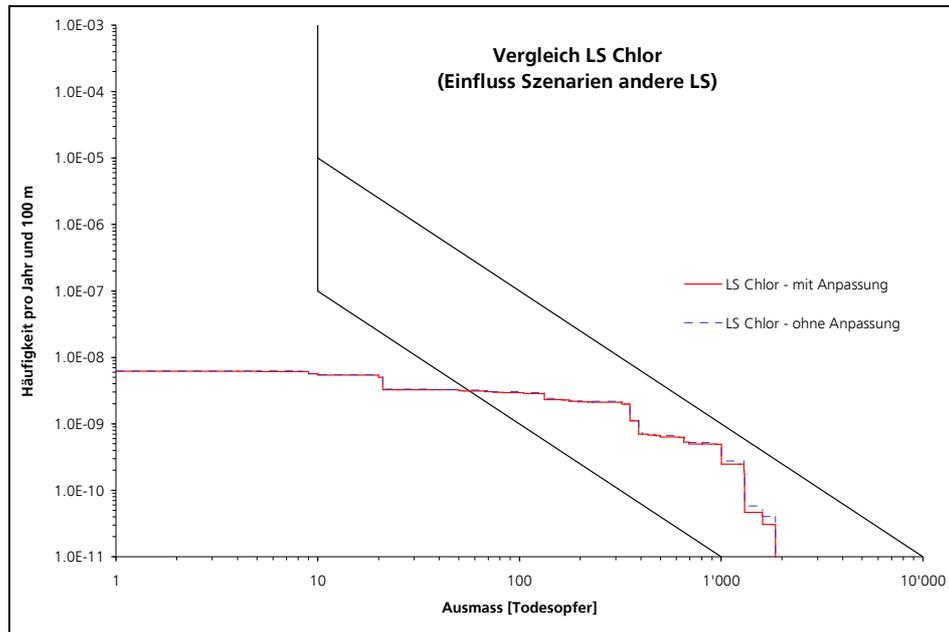
Massgebend für die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Sekundärfreisetzung ist, ob sich in unmittelbarer Nähe bzw. im Wirkungsbereich eines brennenden Kesselwagens des Leitstoffes Benzin ein Kesselwagen des Leitstoffes Propan bzw. Chlor befindet. Die Zusammenstellung der Güterzüge erfolgt i.d.R. aufgrund der jeweiligen Zieldestinationen der einzelnen Wagen. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, generell gültige Grundlagen heranzuziehen, um die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten besser abschätzen zu können.

Zusammensetzung der Güter
massgebend

Basierend auf Sensitivitätsbetrachtungen wurde der Einfluss der Teilszenarien auf die resultierenden Summenkurven untersucht. Exemplarisch zeigt Abbildung 8 eine vergleichende Summenkurve für den Leitstoff Chlor. Wie sich gezeigt hat, ist der Einfluss der Szenarien insgesamt verhältnismässig klein. Generell ist davon auszugehen, dass die in [PRA Bahn, 1998] getroffenen Annahmen als tendenziell konservativ zu beurteilen sind. Da sich aber keine fundierten Grundlagen finden, die eine Anpassung der bisherigen Annahmen aufdrängen und der Einfluss der Sekundärfreisetzungen verhältnismässig gering ist, wurden keine methodischen Anpassungen vorgenommen.

Keine Änderung der bisherigen
Annahmen

Abbildung 8:
Exemplarische
Sensitivitätsbetrachtung für den
Leitstoff Chlor¹⁵⁾



2.3.2 Ortsspezifische Einflussgrössen

Geschwindigkeit

Einfluss der Geschwindigkeit

Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem Unfall zu einer Freisetzung von Gefahrgütern kommt, hängt massgeblich von der Stärke der mechanischen Einwirkung auf den Kesselwagen ab. Die Stärke der Einwirkung wird u.a. durch die Geschwindigkeit des Kesselwagens bzw. Zuges bestimmt. In den bisherigen Screenings wurde jeweils für alle untersuchten Streckenelemente von einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen.

Für 23 Streckenelemente
ortsspezifische
Geschwindigkeiten
berücksichtigt

In den bisherigen Screenings hat sich gezeigt, dass insbesondere für grössere Bahnhöfe die abgeschätzten Summenkurven teilweise über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001] liegen. Auf einzelnen dieser Streckenabschnitte beträgt die effektiv maximal zulässige Geschwindigkeit aber weniger als 80 km/h. Aus diesem Grund wurden für 23 ausgewählte Streckenelemente die jeweiligen ortsspezifischen Geschwindigkeiten berücksichtigt. Für alle anderen Bereiche wurde weiterhin von einer Geschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen.

Abschätzung Einfluss
Geschwindigkeit im Rahmen
einer Risikoermittlung StfV

Im Rahmen der Risikoermittlung nach StfV für den Bahnhof Biel [RE Biel, 2002] wurde der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Freisetzungsrate sowie auf die jeweilige bedingte Wahrscheinlichkeit einer spontanen bzw.

15) Die Darstellung in Abbildung 8 zeigt exemplarisch folgende zwei Summenkurven für den Leitstoff Chlor: Summenkurve mit Annahmen gemäss [PRA Bahn, 1998] (blaue, gestrichelte Linie) für welche für Sekundärfreisetzungen ein Korrekturfaktor von 1.6 für grosse spontane Freisetzungen abgeschätzt wurde. Die rote, ausgezogene Kurve wurde im Zuge der Sensitivitätsbetrachtungen ermittelt und geht von einem Korrekturfaktor von 1.2 aus.

kontinuierlichen Freisetzung bereits einmal untersucht und ein entsprechender Vorschlag zur Berücksichtigung ausgearbeitet:

In [CCPS, 1994] wird folgende Proportionalität zwischen Freisetzungshäufigkeit H und Zuggeschwindigkeit v_{Zug} ausgewiesen:

$$H \propto v_{Zug}^{0.7}$$

Geht man von einer mittleren Geschwindigkeit der Gefahrgutzüge von 80 km/h aus, so kann der Einfluss der Zuggeschwindigkeit v_{Zug} auf die Freisetzungshäufigkeit wie folgt als Faktor f_v geschrieben werden:

$$f_v = \left(\frac{v_{Zug}}{80} \right)^{0.7}$$

Die obigen Zusammenhänge gelten tendenziell für dünnwandige Kesselwagen (Leitstoff Benzin). Für dickwandige Kesselwagen (Leitstoffe Propan und Chlor) wurde angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Freisetzung im Bereich der tiefen Geschwindigkeiten (bis ca. 80 km/h) tiefer liegen als bei dünnwandigen Kesselwagen. Ab einer Geschwindigkeit von 80 km/h hingegen nimmt der relative Unterschied bzgl. der Freisetzungswahrscheinlichkeit zwischen dünn- und dickwandigen Kesselwagen vermutlich ab. In der folgenden Abbildung ist dieser Zusammenhang graphisch dargestellt:

Zusammenhang zwischen Freisetzungshäufigkeit und Geschwindigkeit

Dünnwandige/dickwandige Kesselwagen

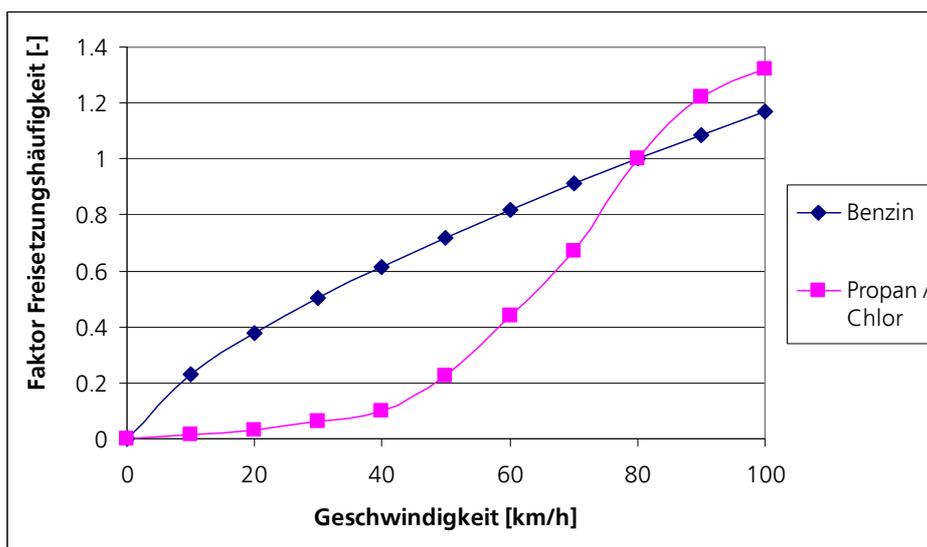


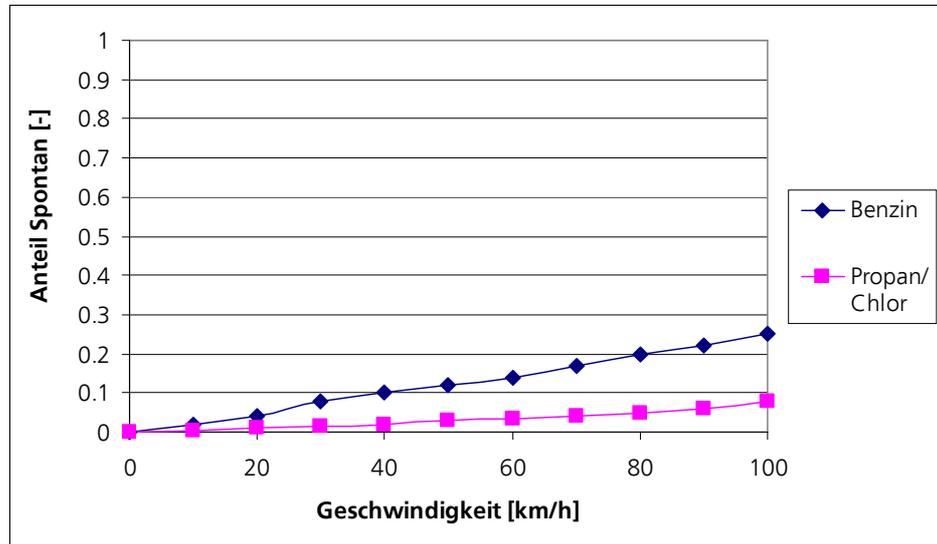
Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Freisetzungshäufigkeit

Nicht nur die Wahrscheinlichkeit, sondern auch die Art der Freisetzung, d.h. das Verhältnis zwischen spontaner und kontinuierlicher Freisetzung, ist von der Geschwindigkeit abhängig. Basierend auf den Annahmen gemäss [TgG Bahn, 2000] wurde eine Funktion gemäss Abbildung 10 definiert.

Art der Freisetzung hängt auch von Geschwindigkeit ab

Daraus wird ersichtlich, dass der Anteil der spontanen Freisetzungen bei dünnwandigen Kesselwagen mit zunehmender Geschwindigkeit rascher zunimmt als bei dickwandigen Kesselwagen.

Abbildung 10:
Zusammenhang zwischen
Geschwindigkeit und
Freisetzungsart



Weitergehende
Literaturrecherche

Im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung wurden verschiedene Literaturquellen hinsichtlich weitergehender Informationen und Grundlagen zu diesem Aspekt noch einmal gesichtet und ausgewertet. Die Analyse zeigt aber, dass sich praktisch keine geeigneten spezifischen Werte ableiten lassen, die eine fundierte Verbesserung der bisherigen Abschätzung ermöglichen würden. Aus diesem Grund wurde festgelegt, dass die Berücksichtigung der ortsspezifischen Geschwindigkeiten analog zu [RE Biel, 2002] vorgenommen werden soll.

Zugsicherung / Zugkontrolleinrichtungen

Ortsspezifische
Zugkontrolleinrichtungen

Als Ergänzung zur bisherigen Methodik wurde die zusätzliche Berücksichtigung folgender risikorelevanter Einflussgrößen geprüft:

- Zugüberwachungsanlagen (ZUB)
- Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen (HFO)

Keine ortsspezifische
Berücksichtigung von ZUB

Eine ortsspezifische Berücksichtigung von ZUB wurde geprüft, ist aber aus methodischer Sicht als problematisch zu beurteilen. Grund dafür ist die Tatsache, dass keine spezifischen Informationen für lokale Gefahrenpunkte vorliegen. Da ZUB-Einrichtungen bei den risikoreichsten Gefahrenpunkten vorhanden sind, ist die Wirkung des ZUB primär eine Nivellierung der örtlichen Risiken (Reduktion der Streuung zwischen überdurchschnittlich hohen und tiefen Risiken). Es ist deshalb nicht klar, ob ein "durchschnittlicher" mit ZUB ausgerüsteter Gefahrenpunkt tiefere Risiken ausweist als der durchschnittliche nicht mit ZUB ausgerüstete Gefahrenpunkt. Aufgrund dieser

Problematik wurde in der Projektgruppe beschlossen, die entsprechenden ortsspezifischen Informationen nicht weiter zu berücksichtigen.¹⁶⁾

Grundlage für die Abschätzung der risikomindernden Wirkung von HFO-Anlagen bildet eine Studie der SBB aus dem Jahr 2003 [SBB, 2003], in welcher ein möglicher weiterer Ausbau des bestehenden Netzes beurteilt wurde. Zur Berücksichtigung der insgesamt an 32 Standorten bestehenden 52 HFO-Anlagen wurde das Streckennetz in fünf verschiedene Wirkungsbereiche gemäss der nachfolgenden Tabelle 1 unterteilt.

Abdeckung	Beschreibung	Wirkungsfaktor	Wirkungsfaktor (skaliert)
keine ¹⁷⁾	0 – 4 km nach HFO und keine andere innerhalb von 60 km	2	1.8
schlecht	> 60 km nach HFO-Anlage	1.55	1.4
mittel	40 – 60 km nach HFO-Anlage	1.25	1.1
gut	20 – 40 km nach HFO-Anlage	1	0.9
sehr gut	4 – 20 km nach HFO-Anlage	0.85	0.8

Berücksichtigung der risikomindernden Wirkung der 52 HFO-Anlagen

Tabelle 1:
Wirkungsfaktoren HFO-Anlagen

Die pragmatische Abschätzung der Wirkungsfaktoren basiert auf [SBB, 2003] sowie folgenden Annahmen:

- Gemäss den Auswertungen in [SBB, 2003] sind jährlich etwa 0.3 Entgleisungen von Güterzügen pro Jahr infolge von Heissläufern oder Festbremsern zu erwarten.
- Im Mittel zwischen 2000 und 2005 haben sich jährlich rund zwei Entgleisungen von Güterzügen pro Jahr ereignet.
- Basierend auf den beiden obigen Angaben lässt sich abschätzen, dass sich 15% der Entgleisungsrisiken für Güterzüge durch HFO-Anlagen beeinflussen lassen. Darauf basierend wird für eine sehr gute Abdeckung durch HFO-Anlagen eine Reduktion der Freisetzungsrates von 15% bzw. ein Wirkungsfaktor von 0.85 angenommen (vgl. Tabelle 1).

Annahmen zur Abschätzung der Wirkungsfaktoren

Um zu gewährleisten, dass die ortsspezifische Wirkung der HFO-Anlagen korrekt in die netzweite Abschätzung der Freisetzungshäufigkeit (vgl. Trendanalyse) – in der implizit eine "mittlere" Wirkung bereits berücksichtigt ist – einbezogen wird, müssen die Wirkungsfaktoren entsprechend skaliert werden. Dieser Skalierung werden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

Skalierung der Wirkungsfaktoren

- Die Freisetzungshäufigkeit ist proportional zum Produkt aus den jeweiligen Längen der Streckenanteile für die fünf Wirkungsfaktoren und

16) Der netzweite risikomindernde Einfluss von Zugkontrollenrichtungen fliesst aber in der Trendanalyse (siehe Kapitel 2.3.1) ein.

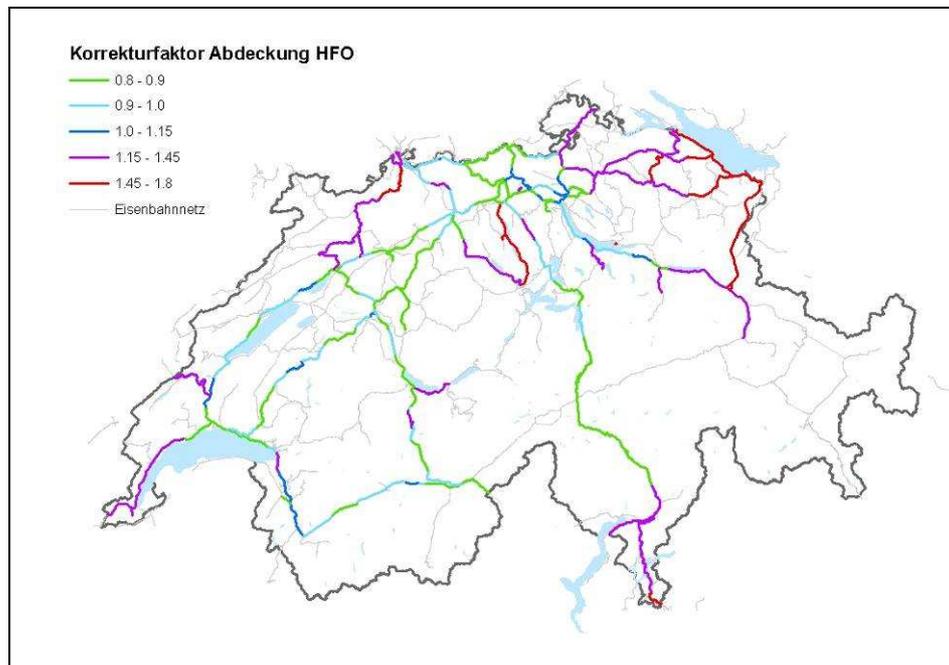
17) Im Nahbereich (0 – 4 km) weisen die Anlagen keine Wirkung auf, da ein Zug nach einem entsprechenden Alarm erst nach einer gewissen Zeit gestoppt werden kann

der Anzahl der in diesen Bereichen verkehrenden Kesselwagen mit Gefahr-
gut (drei Leitstoffe mit jeweiligen Gewichtungsfaktoren).

- Analog zur Abschätzung der Unfall- und Freisetzungsraten wurde der entsprechende Faktor von 12.7 für die Unterscheidung von offenen Strecken und Bahnhofsbereichen berücksichtigt.
- Nicht alle HFO-Anlagen decken jeweils beide Fahrtrichtungen ab. Bei der Zuordnung der Wirkung auf das untersuchte Streckennetz bzw. bei der Skalierung wurde die jeweilige Wirkung über beide Richtungen berücksichtigt, indem für jede Fahrtrichtung einzeln der entsprechende Wirkungsfaktor abgeschätzt und über beide Richtungen gemittelt wurde.

Die aus der Abschätzung resultierenden skalierten Wirkungsfaktoren sind nachfolgend in Abbildung 11 dargestellt (eine vergrösserte Darstellung findet sich in Anhang A3).

Abbildung 11:
Übersicht der netzweiten
skalierten Wirkungsfaktoren der
HFO-Anlagen



Personenexposition

Bisher: Statistische Daten zur
Wohnbevölkerung

Die Abschätzung der Personenexposition wurde in den bisherigen Screenings auf statistische Hektarraster-Daten des Bundesamtes für Statistik für die Wohnbevölkerung abgestützt. Für die drei Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor wurden anhand dieser Daten für die jeweiligen Wirkbereiche die Zahl der potenziell betroffenen Personen ermittelt.¹⁸⁾

18) Für den Leitstoff Benzin wurde zudem aufgrund der räumlichen Auflösung der verfügbaren GIS-Daten (die Daten liegen im Hektarraster vor) die Länge des Abstandskorridors neben den Bahnstrecken für die Ermittlung der Personendichten von 25 m auf 100 m erhöht.

In ortsspezifischen Risikoermittlungen nach StFV werden zusätzlich zur Wohnbevölkerung auch die Daten der Arbeitsplatzbevölkerung herangezogen. Um die Qualität der Abschätzung Personenexposition verbessern zu können, wurden deshalb im Rahmen der Aktualisierung des Screenings auch diese Daten mitberücksichtigt. Die aktuellen Abschätzungen basieren somit auf folgenden Grundlagen:

- Statistische Angaben zur Wohnbevölkerung (Daten für das Jahr 2000, Bundesamt für Statistik)
- Statistische Angaben zur Arbeitsplatzbevölkerung (Daten für Vollzeit- und Teilzeitstellen für die Jahre 2000/2001, Bundesamt für Statistik)

Neu: Aktualisierte Angaben zur Wohn- und Arbeitsplatzbevölkerung

Folgende Annahmen zur Abschätzung der Personenexposition in den leitstoffspezifischen Abstandsbereichen wurden getroffen:

Annahmen zur Abschätzung der Personenexposition

- Die Zahl der Teilzeit-Arbeitsplatzbevölkerung wurde mit 60% gewichtet.
- In Anlehnung an die ortsspezifischen Risikoermittlungen StFV wird neu die zeitliche Abhängigkeit der Personenexposition über Präsenzfaktoren¹⁹⁾ abgebildet:

	Arbeitsbevölkerung		Wohnbevölkerung	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Präsenzfaktor Arbeitstag	80%	5%	30%	90%
Präsenzfaktor Wochenende	5%	0%	60%	100%

Tabelle 2:
Präsenzfaktoren

19) Unter einem Präsenzfaktor wird der jeweilige Anteil der Personen verstanden, welcher am Tag und in der Nacht bzw. an Arbeitsagen und Wochenenden als anwesend/exponiert angenommen wird.

3 Ergebnisse aktualisiertes Screening

Die Resultate des aktualisierten Screenings sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Im Gegensatz zu den bisherigen Screenings sind aktuell auf dem 3471 km langen Normalspurbahnnetz (ohne Tunnelstrecken mit einer Gesamtlänge von 134 km an untersuchten Streckennetz) keine Strecken mehr zu verzeichnen, für welche die ermittelte Summenkurve im W-A-Diagramm über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001] liegt.²⁰⁾ 11% des Streckennetzes liegen im Übergangsbereich, was primär auf den Einfluss der beiden Leitstoffe Benzin und Chlor zurückzuführen ist.

Keine Risiken über Akzeptabilitätslinie

Leitstoff	Unter Unerheblichkeitslinie		Unterer Übergangsbereich		Oberer Übergangsbereich		Über Akzeptabilitätslinie	
	[km]	[%]	[km]	[%]	[km]	[%]	[km]	[%]
Alle	3'104	89%	295	9%	72	2%	0	0%
Benzin	3'117	90%	292	8%	61	2%	0	0%
Propan	3'422	99%	47	1%	1	0.04%	0	0%
Chlor	3'335	96%	119	3%	17	0.5%	0	0%

Tabelle 3: Resultate aktualisierte Risikoanalyse²¹⁾

Vergleicht man die Ergebnisse mit denjenigen aus dem Screening 2001 so zeigt sich, dass die Anteile der Strecken im Übergangsbereich bzw. mit abgeschätzten Summenkurven unterhalb der Akzeptabilitätslinie geringer sind. Dementsprechend hat sich der Anteil derjenigen Strecken vergrössert, für welche die Summenkurve unterhalb der Unerheblichkeitslinie liegt. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die Veränderungen der aktuellen Ergebnisse gegenüber der letzten Untersuchung aufgeführt.

Erhöhter Anteil Strecken mit Risiken unterhalb Unerheblichkeitslinie gegenüber Screening 2001

Leitstoff	Unter Unerheblichkeitslinie	Übergangsbereich	Über Akzeptabilitätslinie
	Veränderung [km]	Veränderung [km]	Veränderung [km]
Alle	+195.1	-161.5	-33.5
Benzin	+29.1	-27.5	-1.5
Propan	+66.7	-66.6	0
Chlor	+333.3	-299.7	-33.5

Tabelle 4: Veränderung im Vergleich zum Screening 2001²²⁾

Die grafischen Darstellungen der Resultate für die drei Leitstoffe sind in Anhang A2 zu finden. Die Ergebnisse für alle Leitstoffe sind aus der nachfolgenden Abbildung 12 ersichtlich.

Karten in Anhang A2

20) Hier und in den nachfolgenden Kapiteln werden die Kilometerangaben pro Akzeptabilitätsbereich wie folgt angegeben: Die 134 km Tunnelstrecken (Tunnel des untersuchten Streckennetz) werden generell nicht berücksichtigt. Offene Strecken des Normalspurnetzes, die infolge geringer Transportmengen nicht untersucht wurden, werden generell unter der Kategorie "unter Unerheblichkeitslinie" berücksichtigt.

21) Um die Ergebnisse differenzierter ausweisen zu können, wurde für Strecken, für welche die abgeschätzte Summenkurve im Übergangsbereich liegt, jeweils in einen oberen und einen unteren Bereich unterteilt. Die entsprechende Grenze liegt zwischen der Unerheblichkeitslinie und der Akzeptabilitätslinie im W-A-Diagramm gemäss [BK II, 2001].

22) Werte gerundet, weshalb sich die leitstoffspezifischen Werte der Veränderung teilweise nicht zu Null addieren.

Abbildung 12:
Übersicht Personenrisiken
alle Leitstoffe



4 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der aktualisierten Ergebnisse der Risikoanalyse zeigt, dass insbesondere der Einfluss des Leitstoffes Chlor aufgrund des veränderten Transportaufkommens (vgl. Kapitel 2.2) sowie der methodischen Weiterentwicklungen im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen weniger stark ausgeprägt ist. Dies führt zu dem, dass keine Strecken mehr zu verzeichnen sind, für welche die abgeschätzte Summenkurve über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001] liegt. Zum anderen hat der Stellenwert des Leitstoffes Benzin relativ zu den anderen Leitstoffen zugenommen.

Verminderter Einfluss des Leitstoffes Chlor

Der Vergleich der Ergebnisse des vorliegenden Screenings mit dem Screening 2001 lässt kaum allgemein gültige Schlussfolgerungen hinsichtlich des Einflusses der einzelnen methodischen Weiterentwicklungen und der aktualisierten Transportmengen zu. Je nach Charakteristik/Ausprägung der ortsspezifischen Parameter kann der jeweilige Einfluss auf die Lage der abgeschätzten Summenkurve unterschiedlich ausfallen. Anhand von ausgewählten Fallbeispielen wird in Anhang A4 exemplarisch dargestellt, wie sich die Aktualisierung der Grundlagendaten sowie die methodischen Weiterentwicklungen auf die Ergebnisse auswirken.

Illustrierende Fallbeispiele

Betrachtet man die kritischsten Streckenelemente,²³⁾ so zeigt sich, dass in einer Vielzahl der Fälle die Gesamtsummenkurven aufgrund des Verlaufs der Summenkurve für den Leitstoff Chlor im oberen Übergangsbereich liegen. Dies gilt auch für das netzweit kritischste Streckenelement "Gare de Cornavin". Charakteristisch für den Verlauf der Summenkurven für den Leitstoff Chlor ist, dass teilweise sehr grosse Schadenausmassen (mit entsprechend geringer Eintretenshäufigkeit) möglich sind. Demgegenüber weisen die Summenkurven für den Leitstoff Benzin i.d.R. grössere Eintretenshäufigkeiten, aber deutlich geringere maximale Schadenausmassen auf.

Charakteristik der Summenkurven für die Leitstoffe Benzin und Chlor

Gleichartig zu den bisherigen Untersuchungen spielt der Leitstoff Propan hinsichtlich der sich ergebenden Gesamtrisiken nur eine untergeordnete Rolle. Etwa 48 km des Streckennetzes liegen für diesen Leitstoff im Übergangsbereich, davon nur 1 km in der oberen Hälfte.

Untergeordnete Bedeutung des Leitstoffes Propan

Wie aus Abbildung 12 hervorgeht, sind die Strecken, für welche sich die abgeschätzte Gesamtsummenkurve im oberen Übergangsbereich befindet,

Strecken mit erhöhtem Gefahrgutaufkommen und Bahnhofsbereich im Vordergrund

23) Als kritisch werden hierbei Streckenelemente angesehen, für welche die abgeschätzte Summenkurve (alle Leitstoffe) nur knapp unterhalb der Akzeptabilitätslinie verlaufen.

auf Bahnlinien mit grossem Gefahrgutaufkommen zu finden. Hinsichtlich des Einflusses des Streckentyps zeigt sich erwartungsgemäss dasselbe Bild wie in den bisherigen Screenings: Im Vordergrund stehen aufgrund der erhöhten statistischen Unfall- und Freisetzungsraten sowie der in diesen Bereichen häufig zu verzeichnenden erhöhten Personendichten die Bahnhofbereiche.

Wirkung Massnahme
"verbesserte
Chlor-Kesselwagen"

Eine pragmatische Abschätzung für den Leitstoff Chlor zeigt, dass noch rund 4 km des Streckennetzes im oberen und rund 35 km im unteren Übergangsbereich liegen würden, wenn für den Transport verbesserte Kesselwagen gemäss der "Gemeinsamen Erklärung" eingesetzt würden.²⁴⁾ In Anhang A4 wird anhand von zwei Fallbeispielen die Wirkung des Einsatzes verbesserter Kesselwagen für den Transport von Chlor (UN-Nr. 1017) aufgezeigt.

Ergebnisse des aktualisierten
Screenings

Die aktualisierten Ergebnisse zeigen, dass auf dem schweizerischen Normalspurnetz keine Strecken zu verzeichnen sind, für welche die abgeschätzte Summenkurve über der Akzeptabilitätslinie gemäss [BK II, 2001] liegt. Dies ist neben den aktuellen ortsspezifischen Daten zum Gefahrgutaufkommen auf die methodischen Weiterentwicklungen, die u.a. eine Angleichung an bestehende Risikoermittlungen StFV zum Ziel haben, und die grossen Anstrengungen der Bahnen für Sicherheitsmassnahmen in den letzten Jahren zurückzuführen. Massgeblichen Einfluss auf die Gesamtrisiken haben analog zum Screening 2001 die Leitstoffe Chlor und Benzin. Dabei gilt es auch die unterschiedliche Charakteristik der jeweiligen Risiken für die beiden Leitstoffe zu berücksichtigen.

Beurteilung

Die Tatsache, dass keine Strecken mehr mit Summenkurven über der Akzeptabilitätslinie vorliegen, heisst nicht, dass alle Risiken als tragbar beurteilt werden können. Bei den Risiken im Übergangsbereich hat das BAV gemäss [BK II, 2001] als Vollzugsbehörde die Tragbarkeit von Risiken zu beurteilen. Können Risiken im Übergangsbereich mit verhältnismässigen Massnahmen verringert werden, so müssen allenfalls zusätzliche Sicherheitsmassnahmen umgesetzt werden. Wie in Anhang A4-9 dargelegt, weist die Massnahme "Sicherheitstechnisch verbesserte Kesselwagen" eine sehr hohe Wirkung auf. Diese Massnahme ist – im Gegensatz zu anderen, nur lokal wirkenden Massnahmen – vergleichsweise kostengünstig. Sie weist damit ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Dies wurde auch bereits in [TgG Bahn, 2003] aufgezeigt und schon damals von allen Beteiligten ohne Vorbehalte zur Umsetzung empfohlen. Entsprechend wurde diese Massnahme denn auch als zentraler Punkt in die "Gemeinsame Erklärung" zwischen SBB, SGCI und UVEK vom Juni 2002 aufgenommen.

24) Die "Gemeinsame Erklärung" geht von verbesserten Kesselwagen für den Stoff Chlor (UN-Nr. 1017) aus. Die vorliegende pragmatische Abschätzung bezieht sich auf den Leitstoff Chlor. Die Abschätzung geht von einer um einen Faktor 5 reduzierten Freisetzungshäufigkeit für die verbesserten Kesselwagen aus.

Grundlagen

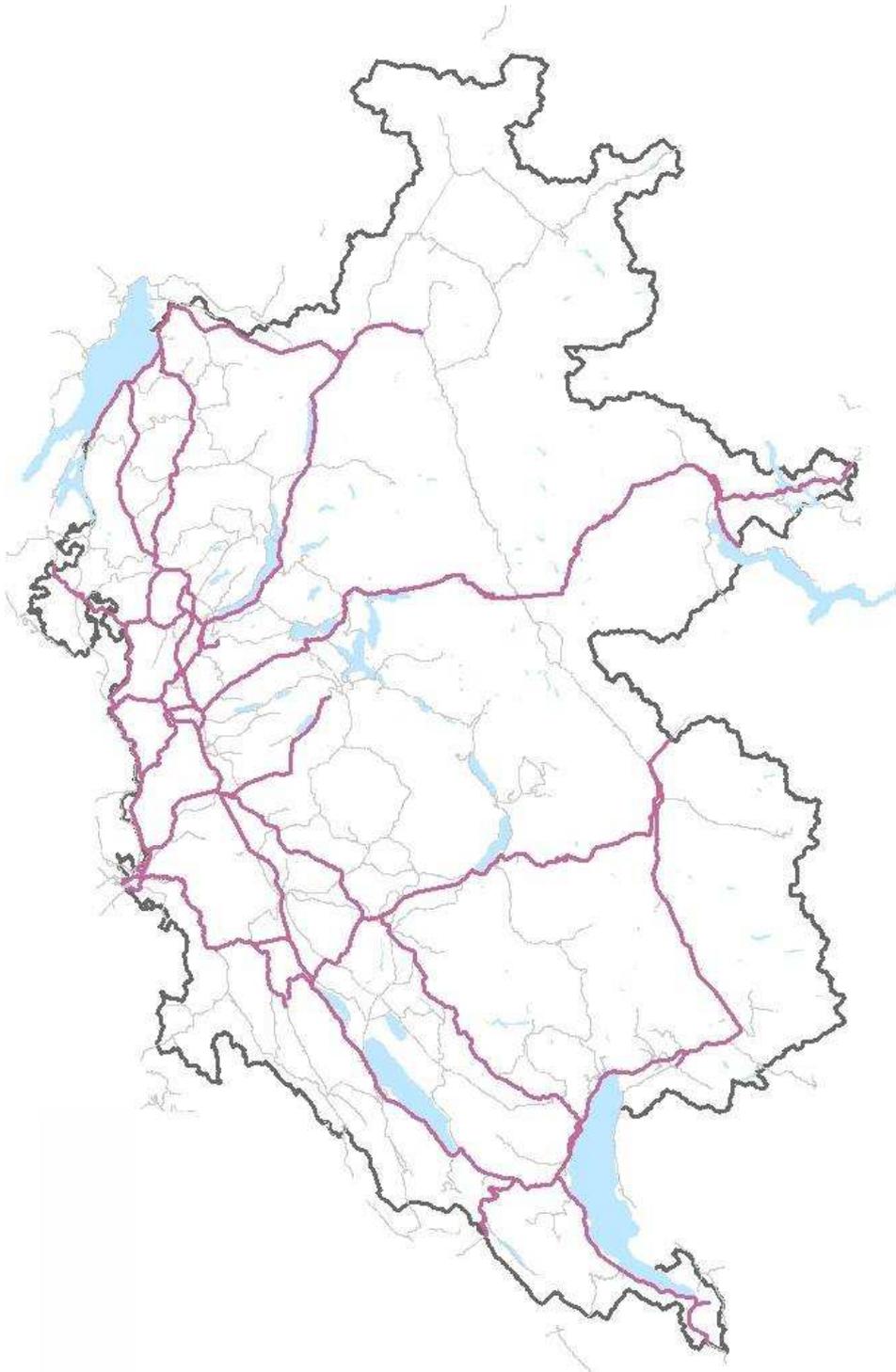
- [BK II, 2001] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung StFV
Juli 2001
- [CCPS, 1994] Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers
Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVE's
New York, 1994
- [PRA Bahn, 1998] Unterarbeitsgruppe „Beurteilungskriterien Verkehrswege“
Pilotrisikoanalyse für den Transport gefährlicher Güter
Fallbeispiel Bahn
Ernst Basler + Partner AG, Mai 1998
- [RE Biel, 2002] Schweizerische Bundesbahnen, Sicherheit und Qualität
Bau eines By-pass-Gleises im Bahnhof Biel/Bienne
Quantitative Risikoermittlung gemäss Störfallverordnung
Ernst Basler + Partner AG, 2002
- [SBB, 2003] Schweizerische Bundesbahnen, Sicherheit und Qualität
Beurteilung eines Ausbaus des bestehenden Netzes von Heissläufer- und Festbremsortungsanlagen
Ernst Basler + Partner AG, 2003
- [StFV, 1991] **Verordnung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV)**
814.012
- [TgG Bahn, 2000] Bundesamt für Verkehr (BAV), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schweizerische Bundesbahnen (SBB)
Personenrisiken und Wirkung von Sicherheitsmassnahmen beim Transport gefährlicher Güter auf der Bahn
Ernst Basler + Partner AG, November 2000
- [TgG Bahn, 2003] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Verkehr (BAV), Schweizerische Bundesbahnen (SBB)
Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion der Risiken beim Gefahrguttransport auf der Schiene
Ernst Basler + Partner AG, Februar 2003

Wichtigste, im Rahmen der Literaturrecherche ausgewertete Grundlagen

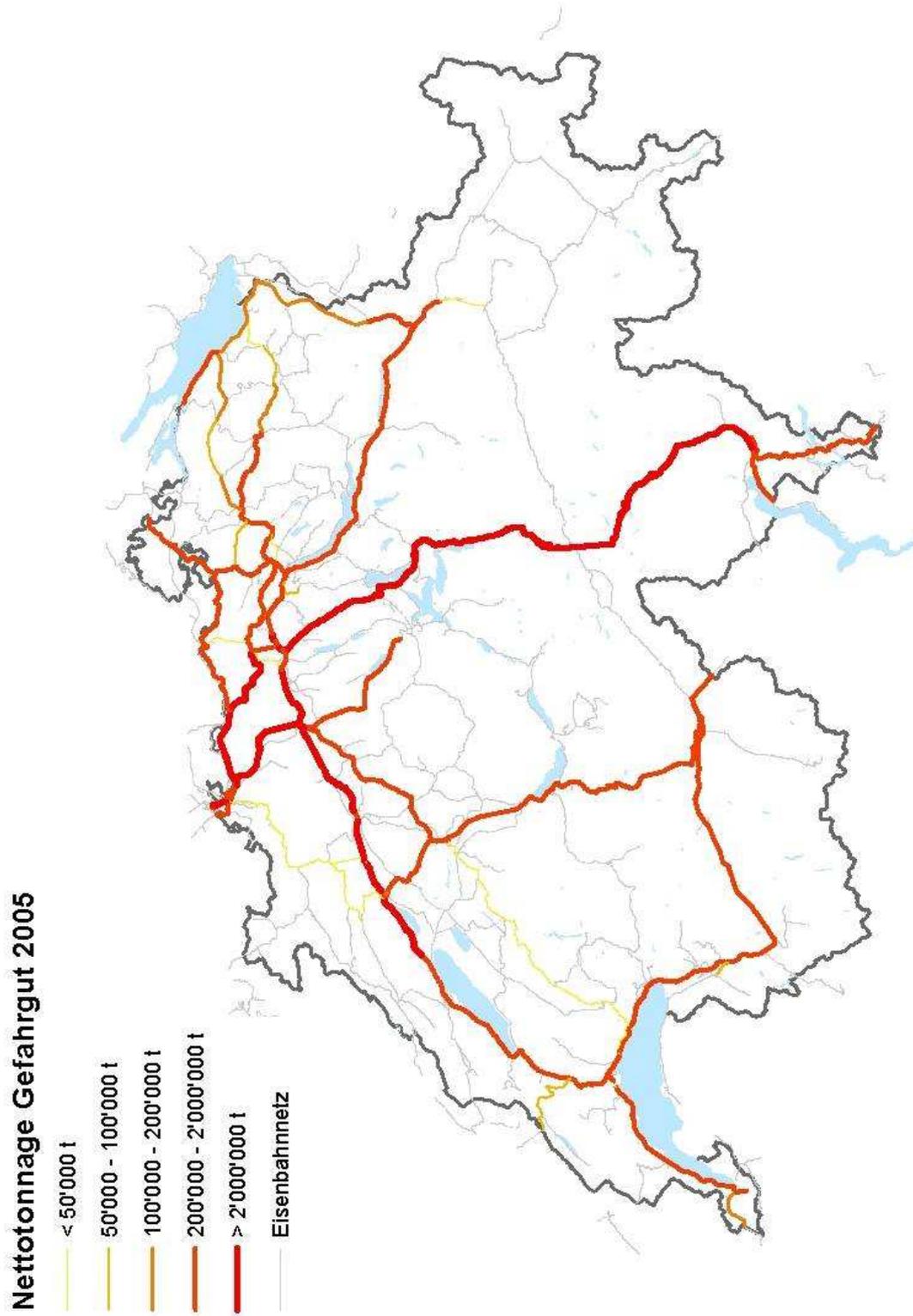
Autor	Titel	Jahr
C.P.L. Barkan	"Optimizing the Design of Railway Tank Cars to minimize accident-caused Releases" (Paper)	2005
US DOT	"Evaluation of Semi-Empirical Analyses for Tank Car Puncture Velocity, Part I & II"	2001
G. Klumpe	"Analyse der Chlortechnologie der alten deutschen Bundesländer im Hinblick auf Störfallfreisetzungen mit Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung unter besonderer Berücksichtigung des Schienentransportes von Chlor in Eisenbahnkesselwagen"	1996
W.R. Rhyne	"Hazardous Materials Transportation Risk Analysis"	1994
US DOT	„Hazardous Materials Transportation in Tank Cars, Analysis of Risks", Part I & Part II	1993/ 1995
L.H. Brockhoff	"Design of a Risk Management Model for Transport of Dangerous Goods"	1992
US NTSB	"Transport of Hazardous Materials by Rail"	1991
W.R. Rhyne	"Transportation of Hazardous Materials"	1990
US DOT	Chlorine Tank Car Puncture Resistance Evaluation"	1989

A1 Übersichtskarten Transportmengen 2005

Untersuchtes Streckennetz



Transportmengen 2005



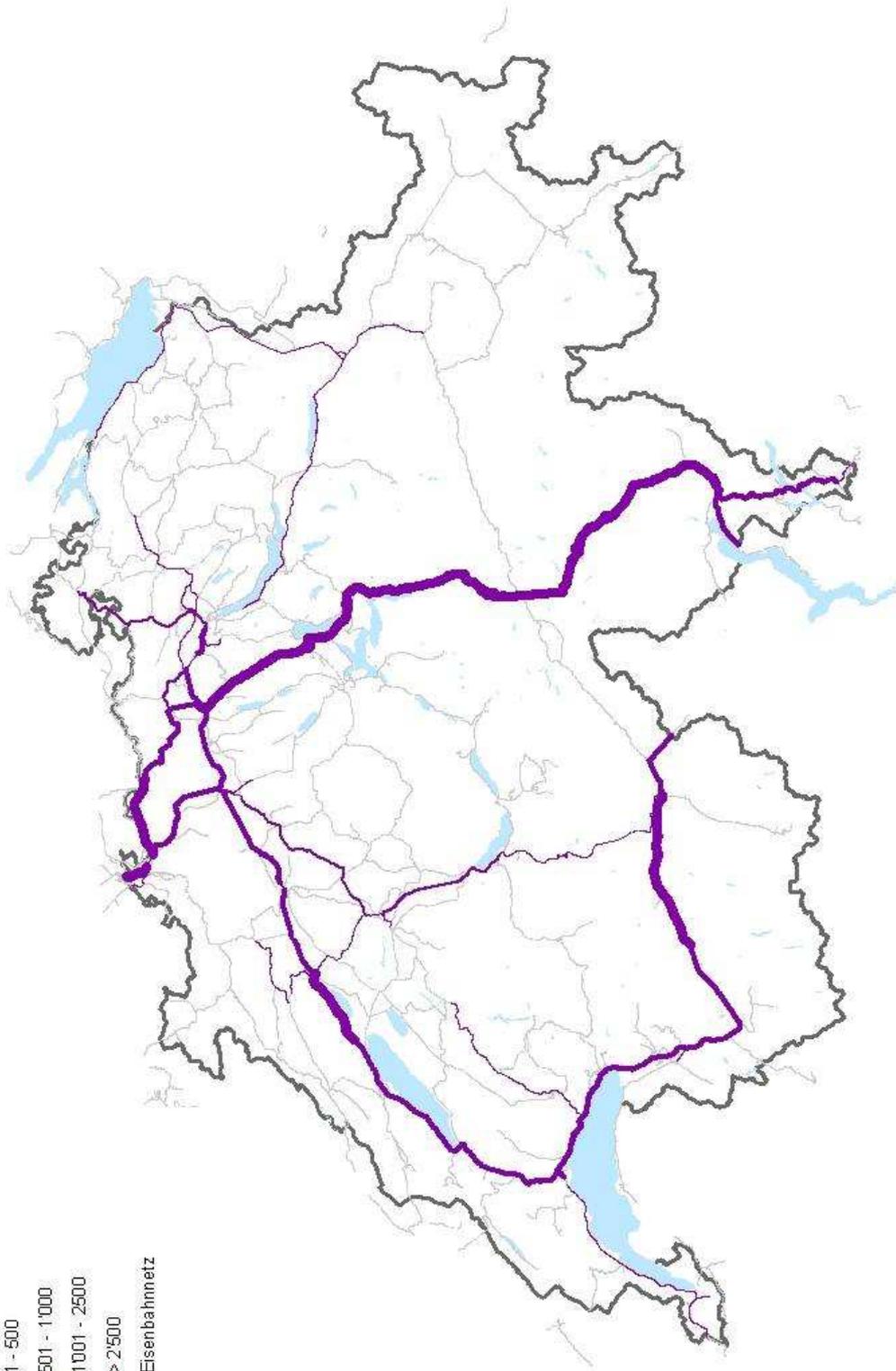
Anzahl Kesselwagen LS Benzin 2005

- 1 - 1'000
- 1'001 - 5'000
- 5'001 - 10'000
- 10'001 - 20'000
- > 20'000
- Eisenbahnnetz



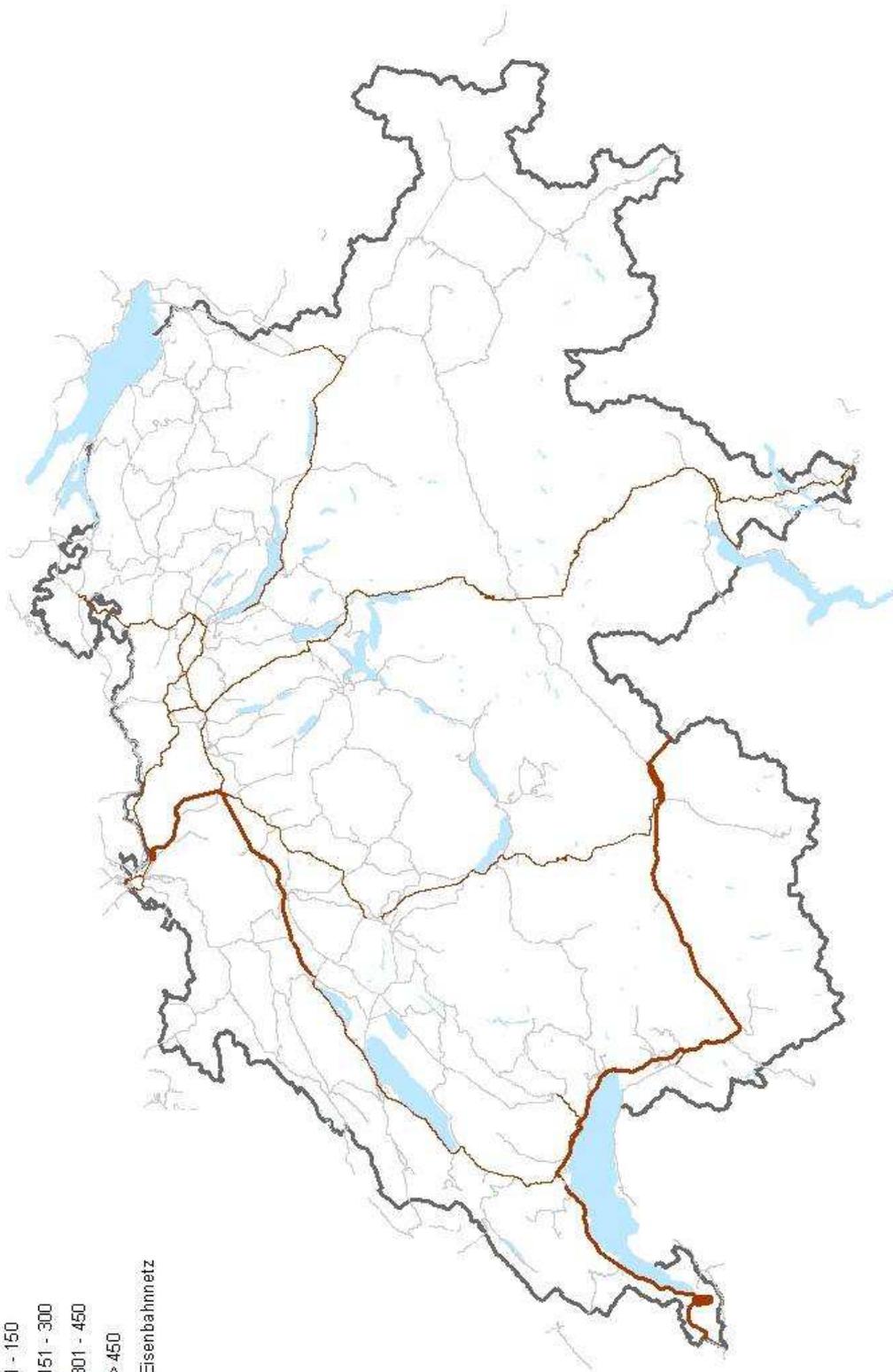
Anzahl Kesselwagen LS Propan 2005

- 1 - 500
- 501 - 1'000
- 1'001 - 2'500
- > 2'500
- Eisenbahnnetz



Anzahl Kesselwagen LS Chlor 2005

- 1 - 150
- 151 - 300
- 301 - 450
- > 450
- Eisenbahnnetz



A2 Übersichtskarten Personenrisiken

Personenrisiken alle Leitstoffe

-  unter Unerheblichkeitslinie
-  untere Hälfte Übergangsbereich
-  obere Hälfte Übergangsbereich
-  über Akzeptabilitätslinie
-  Eisenbahnnetz



Personenrisiken Leitstoff Benzin

-  unter Unerheblichkeitslinie
-  untere Hälfte Übergangsbereich
-  obere Hälfte Übergangsbereich
-  über Akzeptabilitätslinie
-  Eisenbahnnetz



Personenrisiken Leitstoff Propan

-  unter Unerheblichkeitslinie
-  untere Hälfte Übergangsbereich
-  obere Hälfte Übergangsbereich
-  über Akzeptabilitätslinie
-  Eisenbahnnetz

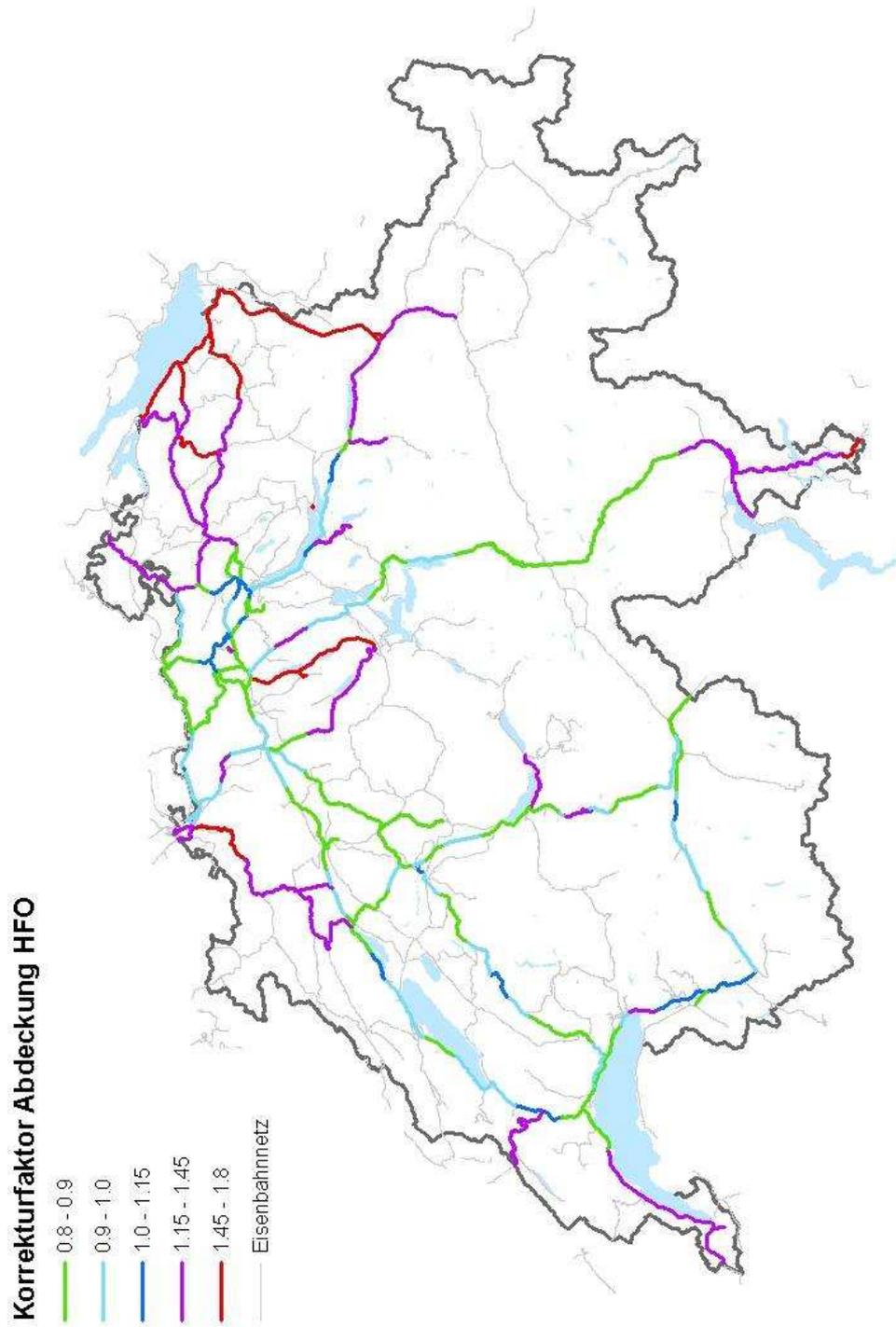


Personenrisiken Leitstoff Chlor

-  unter Unerheblichkeitslinie
-  untere Hälfte Übergangsbereich
-  obere Hälfte Übergangsbereich
-  über Akzeptabilitätslinie
-  Eisenbahnnetz



A3 Wirkungsfaktoren HFO



A4 Fallbeispiele

Vergleich aktuelle Ergebnisse mit Screening 2001

Anhand von drei ausgesuchten Fallbeispielen wird nachfolgend illustriert, wie sich die aktuellen Ergebnisse aufgrund der Aktualisierung der Grundlegenden sowie der methodischen Weiterentwicklungen gegenüber dem Screening 2001 verändert haben:

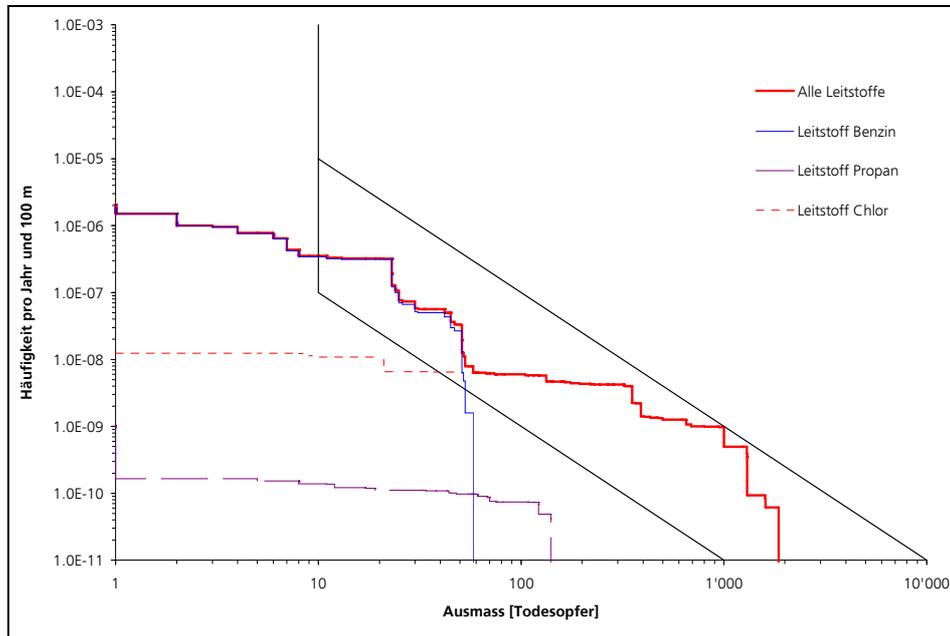
- Fallbeispiel 1: Gare de Cornavin (kritischstes Element Screening 2006 bezüglich aller Leitstoffe und bezüglich Leitstoff Chlor)
- Fallbeispiel 2: Bahnhof Oerlikon (kritischstes Element Screening 2001 bezüglich aller Leitstoffe und bezüglich Leitstoff Chlor)
- Fallbeispiel 3: Bahnhof Pratteln (kritischstes Element Screening 2006 bezüglich Leitstoff Benzin)

Fallbeispiel 1: Gare de Cornavin

Der Bahnhof Cornavin ist gemäss den aktuellen Resultaten das Streckenlement, für welches die netzweit grössten Risiken abgeschätzt werden.²⁵⁾ Nachfolgend sind die aktuellen Summenkurven sowie diejenigen aus dem Screening 2001 [TgG Bahn, 2003] dargestellt. Ferner werden die risikorelevanten ortsspezifischen Einflussgrössen aufgezeigt.

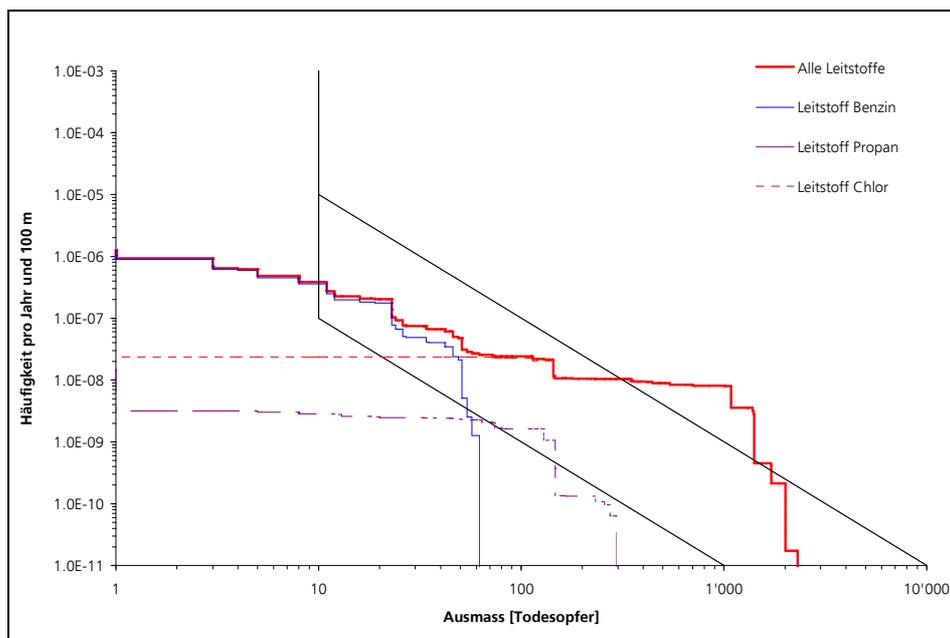
25) Bezogen auf die Lage der resultierenden Gesamtsummenkurve im W-A-Diagramm im Vergleich zur Akzeptabilitätsgerade gemäss den Beurteilungskriterien II [BK II, 2001].

Aktuelle Summenkurven Screening 2006 Gare de Cornavin

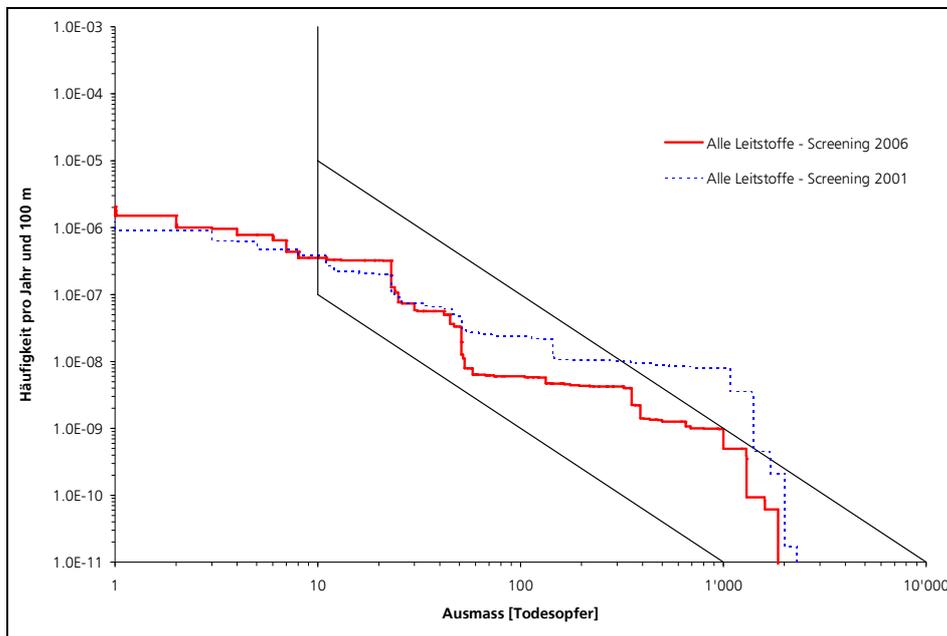


Aufgrund der abgeschätzten Lage der Summenkurve kann für den Leitstoff Chlor abgeleitet werden, dass die Akzeptabilitätslinie überschritten würde, wenn das jährliche Transportaufkommen an Leitstoff Chlor um 4 Kesselwagen grösser wäre.

Summenkurven Screening 2001 Gare de Cornavin



Vergleich Summenkurven alle Leitstoffe Gare de Cornavin



Vergleich der risikorelevanten Einflussgrössen Gare de Cornavin

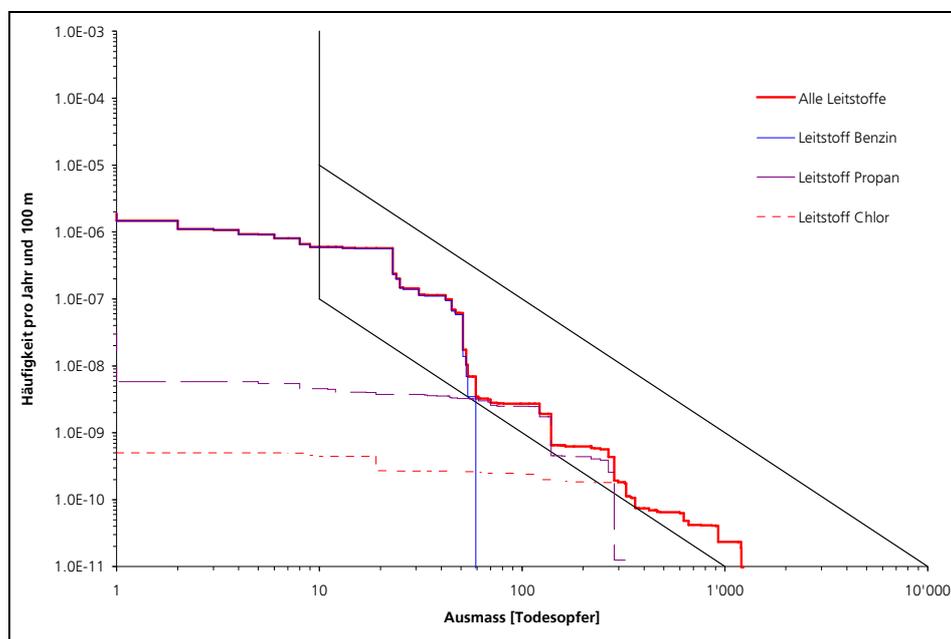
		Screening 2006	Screening 2001	Faktor 2006/2001
Freisetzungsrate				
Leitstoff Benzin	[Freis./KW-km]	7.9E-09	1.7E-08	0.46
Leitstoff Propan	[Freis./KW-km]	7.9E-10	1.7E-09	0.46
Leitstoff Chlor	[Freis./KW-km]	7.9E-10	1.7E-09	0.46
Transportmengen				
Leitstoff Benzin	[KW/y]	9682	2740	3.53
Leitstoff Propan	[KW/y]	41	149	0.28
Leitstoff Chlor	[KW/y]	275	134	2.05
Bevölkerungsdichte				
LS Benzin, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	4537	8200	0.55
LS Propan, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	9452	9289	1.02
LS Chlor, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	6845	6416	1.07
LS Benzin, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	8104	nicht berücksichtigt	--
LS Propan, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	8239	nicht berücksichtigt	--
LS Chlor, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	4484	nicht berücksichtigt	--
Verteilung Freisetzungsort Leitstoff Chlor (v=80 km/h)				
Anteil spontane Freisetzungen	[-]	5%	5%	1.00
Anteil kontinuierliche Freisetzungen	[-]	95%	95%	1.00
davon grosse Freisetzungen	[-]	20%	90%	0.22
davon kleine Freisetzungen	[-]	80%	10%	8.00
Weitere Einflussgrössen				
Anzahl Reisezüge pro Tag	[-]	253	253	1.00
Anzahl haltende Reisezüge pro Tag	[-]	234	234	1.00
Faktor HFO	[-]	1.35	nicht berücksichtigt	--
Geschwindigkeit	[km/h]	60	80	--
Gleise	[-]	mehrgleisig	mehrgleisig	--
Intervention	[-]	gut zugänglich	gut zugänglich	--

Für die Abschätzung der Personenexposition wurde für das vorliegende Screening zusätzlich von den Annahmen gemäss Tabelle 2 ausgegangen. Die Zahl der Reisezüge wurde aus dem Screening 2001 übernommen.

Fallbeispiel 2: Bahnhof Oerlikon

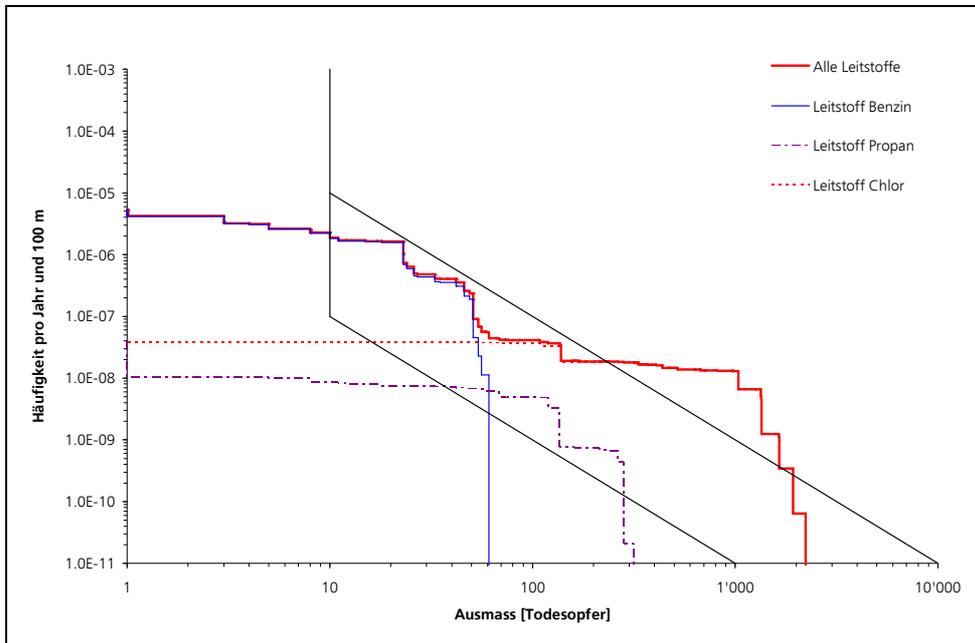
Der Bahnhof Oerlikon ist gemäss den Resultaten aus [TgG, 2003] das Streckenlement, für welches gemäss dem Screening 2001 die netzweit grössten Risiken abgeschätzt wurden.²⁶⁾ Massgebend für die Überschreitung der Akzeptabilitätslinie im W-A-Diagramm war der Leitstoff Chlor. Nachfolgend sind die aktuellen Summenkurven sowie diejenigen aus [TgG Bahn, 2003] dargestellt. Ferner werden die risikorelevanten ortsspezifischen Einflussgrössen aufgezeigt.

Aktuelle Summenkurven Screening 2006 Bahnhof Oerlikon

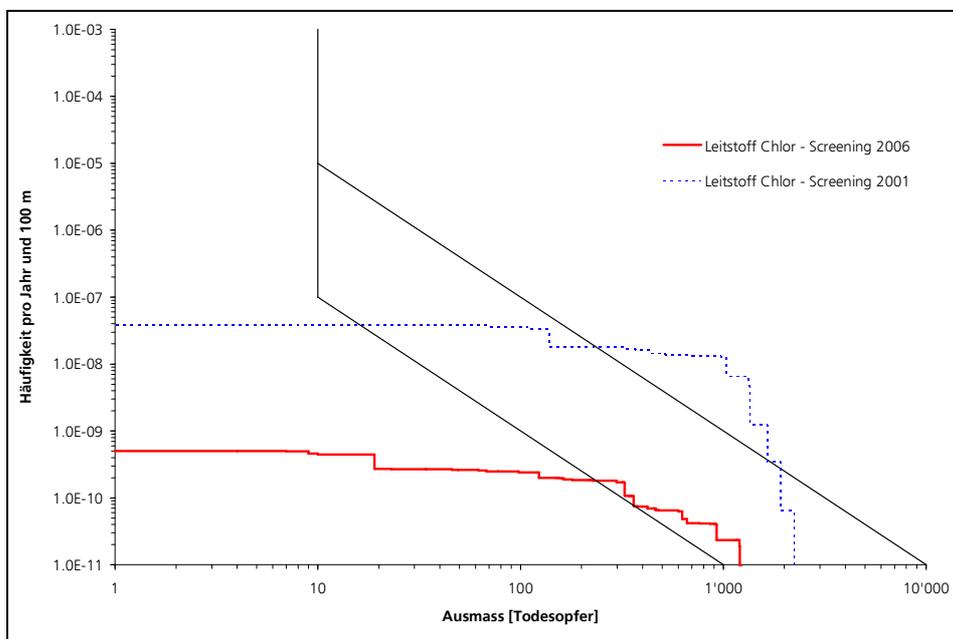


26) Vgl. Fussnote 25.

Summenkurven Screening 2001 Bahnhof Oerlikon



Vergleich Summenkurven Leitstoff Chlor Bahnhof Oerlikon



Vergleich der risikorelevanten Einflussgrössen Bahnhof Oerlikon

		Screening 2006	Screening 2001	Faktor 2006/2001
Freisetzungsrate				
Leitstoff Benzin	[Freis./KW-km]	7.9E-09	1.7E-08	0.46
Leitstoff Propan	[Freis./KW-km]	7.9E-10	1.7E-09	0.46
Leitstoff Chlor	[Freis./KW-km]	7.9E-10	1.7E-09	0.46
Transportmengen				
Leitstoff Benzin	[KW/y]	8431	10632	0.79
Leitstoff Propan	[KW/y]	995	445	2.24
Leitstoff Chlor	[KW/y]	9	217	0.04
Bevölkerungsdichte				
LS Benzin, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	5756	6359	0.91
LS Propan, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	6838	7038	0.97
LS Chlor, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	4557	4637	0.98
LS Benzin, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	3602	nicht berücksichtigt	--
LS Propan, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	8916	nicht berücksichtigt	--
LS Chlor, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	3000	nicht berücksichtigt	--
Verteilung Freisetzungsort Leitstoff Chlor (v=80 km/h)				
Anteil spontane Freisetzungen	[-]	5%	5%	1.00
Anteil kontinuierliche Freisetzungen	[-]	95%	95%	1.00
davon grosse Freisetzungen	[-]	20%	90%	0.22
davon kleine Freisetzungen	[-]	80%	10%	8.00
Weitere Einflussgrössen				
Anzahl Reisezüge pro Tag	[-]	581	581	1.00
Anzahl haltende Reisezüge pro Tag	[-]	444	444	1.00
Faktor HFO	[-]	1.1	nicht berücksichtigt	--
Geschwindigkeit	[km/h]	70	80	--
Gleise	[-]	mehrgleisig	mehrgleisig	--
Intervention	[-]	gut zugänglich	gut zugänglich	--

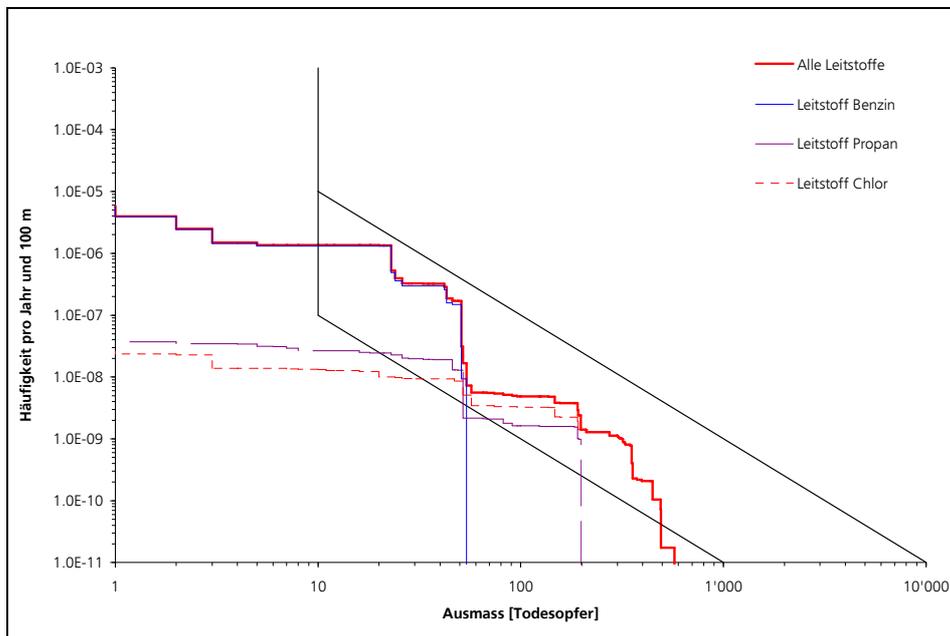
Für die Abschätzung der Personenexposition wurde für das vorliegende Screening zusätzlich von den Annahmen gemäss Tabelle 2 ausgegangen. Die Zahl der Reisezüge wurde aus dem Screening 2001 übernommen.

Fallbeispiel 3: Bahnhof Pratteln

Der Bahnhof Pratteln ist gemäss den aktuellen Resultaten das Streckenlement, für welches die netzweit grössten Risiken für den Leitstoff Benzin abgeschätzt werden.²⁷⁾ Nachfolgend sind die aktuellen Summenkurven sowie diejenigen aus [TgG Bahn, 2003] dargestellt. Ferner werden die risikorelevanten ortsspezifischen Einflussgrössen aufgezeigt.

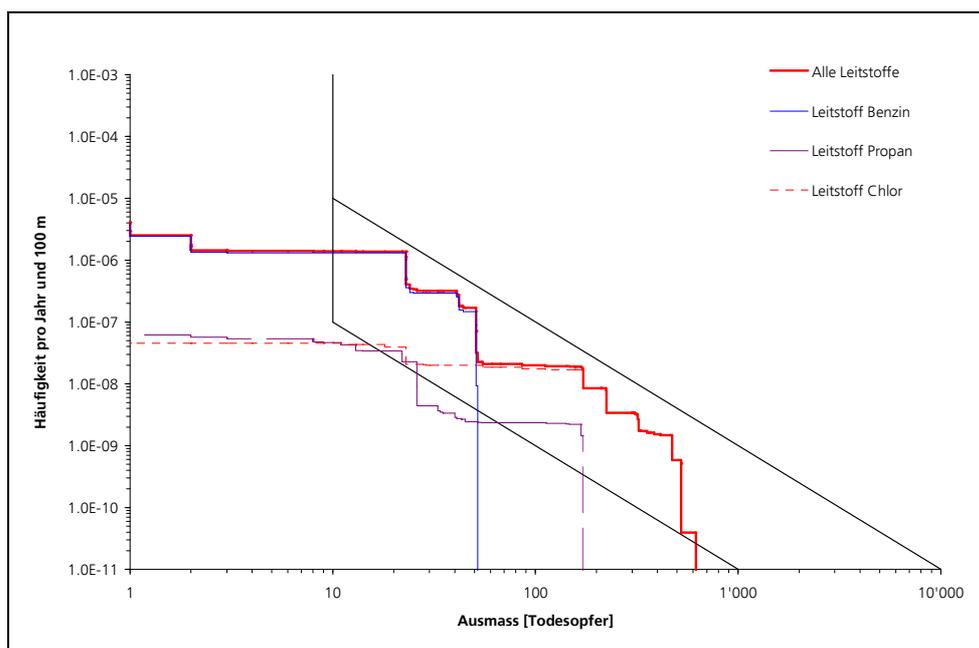
27) Vgl. Fussnote 26.

Aktuelle Summenkurven Screening 2006 Bahnhof Pratteln

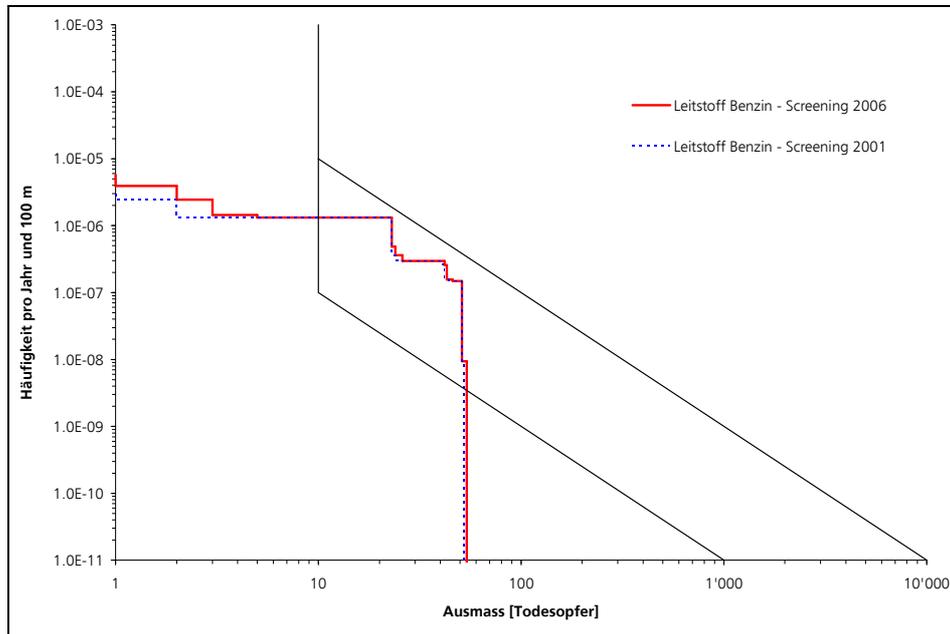


Aufgrund der abgeschätzten Lage der Summenkurve kann für den Leitstoff Benzin abgeleitet werden, dass die Akzeptabilitätslinie erst überschritten würde, wenn das jährliche Transportaufkommen an Leitstoff Benzin um einen Faktor von 1.44 grösser wäre. Dies entspricht bei einem aktuellen Transportaufkommen von rund 39'550 Kesselwagen pro Jahr zusätzlich etwa 17'780 Kesselwagen.

Summenkurven Screening 2001 Bahnhof Pratteln



Vergleich Summenkurven Leitstoff Benzin Bahnhof Pratteln



Vergleich der risikorelevanten Einflussgrössen Bahnhof Pratteln

		Screening 2006	Screening 2001	Faktor 2006/2001
Freisetzungsrate				
Leitstoff Benzin	[Freis./KW-km]	7.9E-09	1.7E-08	0.46
Leitstoff Propan	[Freis./KW-km]	7.9E-10	1.7E-09	0.46
Leitstoff Chlor	[Freis./KW-km]	7.9E-10	1.7E-09	0.46
Transportmengen				
Leitstoff Benzin	[KW/y]	39549	17064	2.32
Leitstoff Propan	[KW/y]	4758	2996	1.59
Leitstoff Chlor	[KW/y]	344	258	1.33
Bevölkerungsdichte				
LS Benzin, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	3076	1193	2.58
LS Propan, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	3257	1548	2.10
LS Chlor, Wohnbevölkerung	[Pers./km ²]	898	941	0.95
LS Benzin, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	1169	nicht berücksichtigt	--
LS Propan, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	3851	nicht berücksichtigt	--
LS Chlor, Arbeitsplatzbevölkerung	[Pers./km ²]	621	nicht berücksichtigt	--
Weitere Einflussgrössen				
Anzahl Reisezüge pro Tag	[-]	299	299	1.00
Anzahl haltende Reisezüge pro Tag	[-]	127	127	1.00
Faktor HFO	[-]	0.95	nicht berücksichtigt	--
Geschwindigkeit	[km/h]	80	80	--
Gleise	[-]	mehrgleisig	mehrgleisig	--
Intervention	[-]	gut zugänglich	gut zugänglich	--

Für die Abschätzung der Personenexposition wurde für das vorliegende Screening zusätzlich von den Annahmen gemäss Tabelle 2 ausgegangen. Die Zahl der Reisezüge wurde aus dem Screening 2001 übernommen.

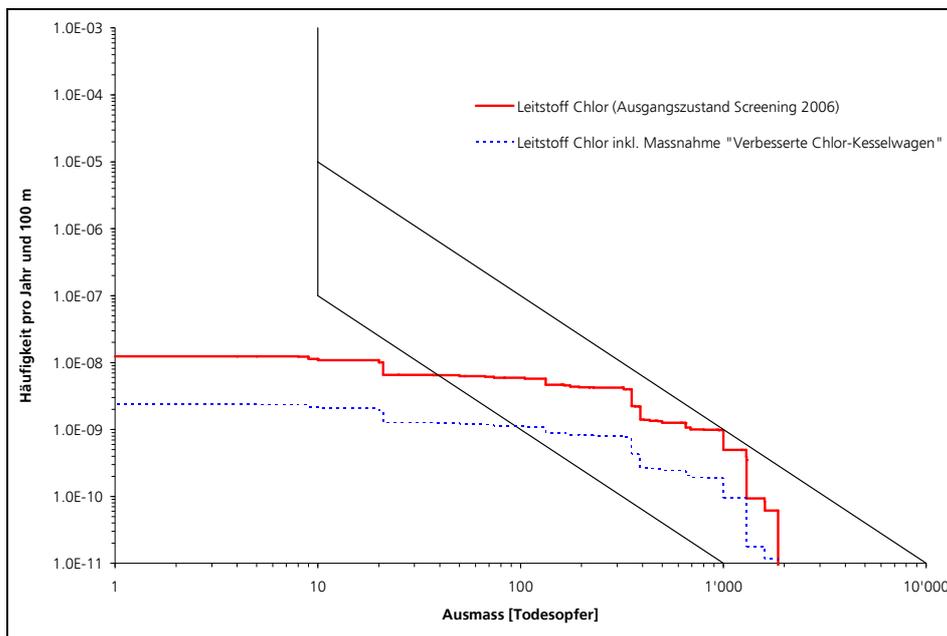
Wirkung Massnahme "Verbesserte Kesselwagen"

Anhand von zwei Fallbeispielen wird nachfolgend illustriert, wie sich die Umsetzung der Massnahme "Verbesserte Chlorkesselwagen" gemäss der "Gemeinsamen Erklärung" auf die Risikosituation auswirkt. Zur Abschätzung der Massnahmenwirkung wird von einer um einen Faktor 5 reduzierten Freisetzungshäufigkeit für den Stoff Chlor (UN-Nr. 1017) ausgegangen.²⁸⁾ Basis bilden die Ergebnisse für das aktuelle Screening 2006. Folgende Streckenelemente werden für das Fallbeispiel herangezogen:

- Fallbeispiel 4: Gare de Cornavin (Kritischstes Streckenelement Leitstoff Chlor)
- Fallbeispiel 5: Gare de Lausanne (Zweitkritischstes Streckenelement Leitstoff Chlor)

Fallbeispiel 4: Gare de Cornavin

Vergleich Summenkurven Leitstoff Chlor Gare de Cornavin



28) Aufgrund der Tatsache, dass sich die Massnahme nicht für alle dem Leitstoff Chlor zugeordneten Stoffe auswirkt, resultiert für den Leitstoff Chlor eine Freisetzungshäufigkeit ≤ 5 . Aufgrund der Tatsache, dass der Stoff Chlor (UN-Nr. 1017) mit einem Gewichtungsfaktor von 1 in die Ermittlung der Leitstoff-Transportmenge einfließt, wirkt sich die Massnahme aber entsprechend auch stark auf die leitstoffspezifische Betrachtung aus.

Fallbeispiel 5: Gare de Lausanne

Vergleich Summenkurven Leitstoff Chlor Gare de Lausanne

