



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

**RICHTLINIE**  
**RISIKOANALYSE FÜR**  
**TUNNEL DER**  
**NATIONALSTRASSEN**

---

*Ausgabe 2014 V1.10*  
*ASTRA 19004*

# Impressum

## **Autor(en) / Arbeitsgruppe**

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| Gammeter Christian | ASTRA, N-SSI      |
| Gogniat Bernard    | ASTRA, N-SSI      |
| Jeanneret Alain    | ASTRA, N-SSI      |
| Siegenthaler Reto  | ASTRA, I-B (OpSi) |
| Folly Matthias     | ASTRA, I-FU       |

|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Schubert Matthias | Matrisk GmbH        |
| Brandt Rune       | HBI Haerter AG      |
| Høj Niels Peter   | HOJ Consulting GmbH |
| Köhler Jochen     | Matrisk GmbH        |
| Faber Michael H.  | Matrisk GmbH        |

**Übersetzung** (Originalversion in Deutsch)  
Deutsch (HBI Haerter AG)  
Italienisch (HBI Haerter AG, Sprachdienste ASTRA)

## **Herausgeber**

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Abteilung Strassennetze N  
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI  
3003 Bern

## **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) heruntergeladen werden.

© ASTRA 2014

Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

## Vorwort

Die vorliegende Richtlinie ASTRA 19004 „Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen“ setzt eine Anforderung der UVEK Weisungen ASTRA 74001 „Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassennetz“ um, und definiert die für das Schweizerische Nationalstrassennetz anwendbare Methodik zur Risikoermittlung. In Ergänzung zur Richtlinie wurde die Dokumentation ASTRA 89005 „Risikokonzept für Tunnel der Nationalstrassen“ und das Anwendungsbeispiel ASTRA 89007 erstellt.

Die Richtlinie ist auf den integralen Prozess der Entscheidungsfindung und Projektentwicklung innerhalb des ASTRA abgestimmt und Bestandteil der Projektgenerierung, der Projektierung, der Realisierung und des Betriebs von Strassentunneln der Nationalstrassen. Es entspricht der besten Praxis, Risiken aktiv zu verwalten und Entscheidungen unter Verwendung quantitativer Analysen zu treffen. Sie gibt den generellen Rahmen hierfür vor und ermöglicht es transparent, nachvollziehbar und einheitlich Risiken zu analysieren. Sie gibt Entscheidungsträgern auf allen beteiligten Ebenen einen Rahmen für die Risikoermittlung. Sie ermöglicht es, spezifische Risikoanalysen unter Berücksichtigung der orts- und objektspezifischen Bedingungen zu erstellen, sowie Risiken und risikoreduzierende Massnahmen zu bewerten.

Die Richtlinie wurde von der im Impressum genannten Arbeitsgruppe unter der Leitung des ASTRA entwickelt. Die Arbeitsgruppe umfasst Experten aus der Praxis und Experten aus dem internationalen akademischen Bereich. Neben den Autoren und der Arbeitsgruppe sei den externen Experten und der Begleitgruppe herzlich für ihr grosses Engagement gedankt.

### **Bundesamt für Strassen**

Rudolf Dieterle, Dr. sc. techn.  
Direktor



# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | <b>Impressum .....</b>  | <b>2</b>  |
|          | <b>Vorwort.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1      | Zweck der Richtlinie .....                                      | 7         |
| 1.2      | Geltungsbereich .....   | 7         |
| 1.3      | Adressaten .....  | 7         |
| 1.4      | Inkrafttreten und Änderungen .....                              | 7         |
| <b>2</b> | <b>Gesetzliche und normative Verweisungen.....</b>              | <b>8</b>  |
| 2.1      | Hinweise auf gesetzliche Vorschriften .....                     | 8         |
| 2.2      | Standards und technische Dokumente vom UVEK und ASTRA .....     | 8         |
| 2.3      | Weitere Dokumente .....   | 10        |
| <b>3</b> | <b>Kontext.....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1      | Aufgaben der Risikoanalyse .....                                | 12        |
| 3.2      | Identifikation des Entscheidungsträgers .....                   | 12        |
| 3.2.1    | Identifikation der Vollzugsstelle.....                          | 12        |
| 3.2.2    | Aufgaben der Vollzugsstelle.....                                | 12        |
| 3.3      | Rahmenbedingungen.....  | 12        |
| 3.4      | Berücksichtigte Konsequenzen.....                               | 12        |
| <b>4</b> | <b>Integraler Prozess .....</b>                                 | <b>13</b> |
| 4.1      | Projektgenerierung .....  | 13        |
| 4.1.1    | Neu- und Ausbauprojekte .....                                   | 13        |
| 4.1.2    | Erhaltungsprojekte .....  | 13        |
| 4.2      | Projektierung/Realisierung .....                                | 15        |
| 4.2.1    | Projektierung .....   | 15        |
| 4.2.2    | Realisierung .....  | 16        |
| 4.3      | Betrieb/betrieblicher Unterhalt.....                            | 16        |
| <b>5</b> | <b>Vollzug des Risikokonzepts.....</b>                          | <b>17</b> |
| 5.1      | Vollzug in den Projektphasen.....                               | 17        |
| 5.1.1    | Vereinfachter Ansatz.....                                       | 17        |
| 5.1.2    | Detaillierter Ansatz .....                                      | 18        |
| 5.2      | Projektänderungen.....  | 18        |
| 5.3      | Nachführung des Risikoberichts .....                            | 18        |
| <b>6</b> | <b>Sicherheitsanforderungen an Tunnel .....</b>                 | <b>19</b> |
| 6.1      | Besondere Charakteristiken.....                                 | 19        |
| 6.1.1    | Gestaltung der Sicherheitseinrichtungen .....                   | 19        |
| 6.2      | Abweichungen von ASTRA-Standards und Normen .....               | 19        |
| <b>7</b> | <b>Risikokonzept.....</b>                                       | <b>20</b> |
| 7.1      | System .....  | 21        |
| 7.1.1    | Systemdefinition .....  | 21        |
| 7.1.2    | Systemrepräsentation .....                                      | 22        |
| 7.1.3    | Gefahren .....  | 23        |
| 7.2      | Risikoermittlung.....   | 23        |
| 7.3      | Risikobewertung.....  | 24        |
| 7.3.1    | Risikoreduzierende Massnahmen und Massnahmenkombinationen ..... | 24        |
| 7.3.2    | Massnahmeneffizienz .....                                       | 24        |
| 7.3.3    | Bewertung von Massnahmen und Massnahmenkombinationen .....      | 25        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>8</b> | <b>Resultate</b> .....                 | <b>26</b> |
| 8.1      | Zusammenfassung der Ergebnisse .....   | 26        |
| 8.2      | Handlungsempfehlung .....              | 26        |
| 8.2.1    | Tabellarische Zusammenfassung .....    | 26        |
| 8.2.2    | Graphische Darstellung.....            | 27        |
| 8.2.3    | Variantenwahl.....                     | 30        |
| <b>9</b> | <b>Risikobericht</b> .....             | <b>31</b> |
| 9.1      | Inhalt Risikobericht.....              | 31        |
|          | <b>Anhänge</b> .....                   | <b>32</b> |
|          | <b>Glossar</b> .....                   | <b>37</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b> .....      | <b>38</b> |
|          | <b>Auflistung der Änderungen</b> ..... | <b>41</b> |

# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck der Richtlinie

Die Richtlinie spezifiziert den Vollzug von Risikoanalysen zur Sicherstellung einer ausreichenden Personensicherheit in Tunneln der Nationalstrassen.

Die Richtlinie legt die Grundsätze fest, nach welchen Methoden, in welchen Projektphasen und bei welchen spezifischen Bedingungen Risikoermittlungen und Risikobewertungen durchgeführt werden müssen.

Die Richtlinie gibt vor, unter welchen Bedingungen kein Vollzug, ein vereinfachter Vollzug und ein detaillierter Vollzug der Dokumentation ASTRA 89005 [14] notwendig ist.

Die Richtlinie dient einerseits der Vereinfachung im Vollzug von Risikoanalysen in Tunneln der Nationalstrasse und stellt sicher, dass die Ergebnisse alle relevanten Aspekte berücksichtigen, und stellt die Vergleichbarkeit von Risikobewertungen sicher.

## 1.2 Geltungsbereich

Die Richtlinie gilt für alle bestehenden und noch zu erstellenden Tunnel des Nationalstrassennetzes ab einer Länge des längsten Fahrstreifens von 300 m, gemessen im Bereich des völlig geschlossenen Tunnelabschnitts, welche bergmännisch oder im Tagbau erstellt werden oder erstellt worden sind. Sie ist für alle Phasen des Lebenszyklus der Bauwerke anwendbar: Planung, Projektgenerierung, Bau, Betrieb und Unterhalt.

Sie gilt auch für Tunnelbauvorhaben, die die Kantone in Rahmen der Fertigstellung des beschlossenen Nationalstrassennetzes erstellen.

In Einhausungen und in Galerien herrschen teilweise tunnelähnliche Zustände, die mit der vorliegenden Richtlinie beurteilt werden können, wenn die Anforderungen gemäss [14] erfüllt sind.

Übergeordnete Aspekte sind durch die UVEK Weisungen [7] geregelt.

Die Systemgrenzen der Richtlinie umfassen den Tunnel sowie 50 m vor allen Einfahrtportalen und 50 m nach allen Ausfahrtportalen. Das Portal ist der Punkt, an dem der Tunnelquerschnitt vollständig geschlossen ist. Zusätzlich umfasst das System den Verkehr und alle nach [14] definierten Gefahren, die sich aus dem Verkehrsgeschehen ergeben. Andere Gefahren beispielsweise aus Naturgefahren liegen ausserhalb der Systemgrenzen.

## 1.3 Adressaten

Die Richtlinie richtet sich vor allem:

- an die Vollzugsstellen der Projektgenerierung, der Projektierung und Realisierung und des Betriebs und des betrieblichen Unterhalts des ASTRA,
- an Bauherren und
- Anwender, die mit dem Vollzug beauftragt werden (z.B. Ingenieure, Experten).

## 1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende Richtlinie tritt am 13.10.2014 in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 41 dokumentiert.

## 2 Gesetzliche und normative Verweisungen

In den folgenden Unterkapiteln werden Hinweise auf gesetzliche und normative Verweisungen gegeben und die relevanten und zugehörigen ASTRA-Standards dargestellt.

### 2.1 Hinweise auf gesetzliche Vorschriften

#### Erlasse der Legislative

- Bundesgesetz vom 8. März 1960 über die Nationalstrassen (NSG; SR 725.11)
- Strassenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958 (SVG; SR 741.01)

#### Erlasse der Exekutive

- Nationalstrassenverordnung vom 7. November 2007 (NSV; SR 725.111)
- Verordnung über den Schutz vor Störfällen (StFV; SR 814.012)
- Verordnung vom 29. November 2002 über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR; SR 741.621)
- Signalisationsverordnung vom 5. September 1979 (SSV; SR 741.21)

### 2.2 Standards und technische Dokumente vom UVEK und ASTRA

#### UVEK Weisungen

- Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassennetz (ASTRA 74001)

Die UVEK Weisungen ASTRA 74001 dienen der Sicherstellung eines optimalen und einheitlichen Sicherheitsniveaus für Strassenutzer in Tunneln des Nationalstrassennetzes, indem durch Vorgaben kritische Ereignisse, die eine Gefahr für Menschenleben, Umwelt und Tunnelbetriebsanlagen darstellen, vermieden werden sollen.

#### ASTRA Richtlinien

- Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassennetz (ASTRA 74001)

Zu den massgebenden Richtlinien für die Tunnelrisikoanalyse gehören (siehe auch Abb. 2.1).

- Sicherheitsmassnahmen gemäss StFV bei Nationalstrassen (ASTRA 19001)

Die Richtlinie ASTRA 19001 enthält spezifische Informationen zu Sicherheitsmassnahmen gemäss der Störfallverordnung (StFV).

- Umsetzung der Störfallverordnung auf den Nationalstrassen (ASTRA 19002)

Die Richtlinie ASTRA 19002 zeigt das Vorgehen zur Umsetzung der StFV im ASTRA. Sie definiert die Aufgaben der Beteiligten in den verschiedenen Projektstufen und beschreibt die Instrumente wie Kurzbericht oder Risikoermittlung. Damit definiert sie die übergeordneten Grundsätze bei der Umsetzung der StFV im ASTRA.

- Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen (ASTRA 19004)

Die vorliegende Richtlinie ASTRA 19004 stellt den Vollzug zur Umsetzung der risikobasierten Entscheidungsfindung zur Erhöhung und Sicherstellung der Personensicherheit durch effiziente Massnahmen in Tunneln der Nationalstrassen dar. Sie definiert die Aufgaben der Beteiligten in den verschiedenen Projektstufen und beschreibt, in welchen Fällen vereinfachte Ansätze zur Risikoermittlung gewählt werden dürfen. Sie definiert auch die übergeordneten Grundsätze beim Vollzug und macht Vorgaben an die Struktur und Inhalte der Risikoberichte.

- Lüftung der Strassentunnel (ASTRA 13001)

Die Dokumentation ASTRA 13001 enthält die zur Zeit der Veröffentlichung gebräuchlichsten Lüftungskonzepte. Sie legt Grundsätze und Kriterien für die Systemwahl, die Auslegung und den Betrieb der Lüftungsanlagen der Strassentunnel fest.

Die folgenden Richtlinien enthalten weiterführende Informationen und können für die Risikoanalyse relevant sein:

- Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln (ASTRA 13002)
- Branddetektion in Strassentunneln (ASTRA 13004)
- Videoanlagen (ASTRA 13005)
- Funksysteme in Strassentunneln (ASTRA 13006)
- Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in Strassentunneln (ASTRA 13010)
- Türen und Tore in Strassentunneln (ASTRA 13011)
- Verkehrszähler (ASTRA 13012)
- Anlagenkennzeichnungssystem Schweiz (AKS-CH) (ASTRA 13013)
- Verkehrsmanagement in der Schweiz (VM-CH) (ASTRA 15003)
- Operative Sicherheit Betrieb (ASTRA 16050)
- Normalprofile, Rastplätze und Raststätten der Nationalstrassen (ASTRA 11001)

### **ASTRA Fachhandbücher**

- Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik (T/G)

Im Fachhandbuch T/G werden unter Berücksichtigung der geltenden Weisungen, Richtlinien und Normen die Ausführungsmöglichkeiten auf wenige Standardlösungen reduziert. Dabei wird der Gewährleistungen der Sicherheit des besten Kosten-Leistungsverhältnis über den gesamten Lebenszyklus der Anlagen Rechnung getragen.

Das folgende Fachhandbuch enthält weiterführende Informationen und kann für die Risikoanalyse relevant sein:

- Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA)

### **SIA Normen**

Die folgenden Normen sind massgebend für die Risikoanalyse:

- Norm SIA 197 – Projektierung Tunnel – Grundlagen, 2004;

Die Norm SIA 197 enthält die Grundlagen, die bei der Projektierung von Verkehrstunneln zu beachten sind, ungeachtet der Zweckbestimmung.

- Norm SIA 197/2 – Projektierung Tunnel – Strassentunnel 2004.

Die Norm SIA 197/2 ergänzt die Norm SIA 197 und enthält Besonderheiten, die beim Strassentunnel zu berücksichtigen sind.

### **VSS Normen**

Die folgenden Normen können weiterführende Informationen enthalten, die für die Risikoanalyse relevant sein können:

- SN 640551-1 Beleuchtung in Strassentunneln, -galerien und -unterführungen
- SN 640080b Geschwindigkeit als Projektierungselement

### ASTRA Dokumentationen

Zu den massgebenden Dokumentationen für die Tunnelrisikoanalyse gehören (siehe auch Abb. 2.1).

- Gefahrguttransport in Strassentunneln (ASTRA 84002)  
Die Dokumentation ASTRA 89002 beschreibt die Methodik zur Ermittlung der Störfallrisiken für Personen durch den Transport gefährlicher Güter durch Strassentunnel.
- Risikokonzept für Tunnel der Nationalstrassen  
*Methodik zur Ermittlung und Bewertung der Risiken in Tunneln* (ASTRA 89005)  
Die Dokumentation ASTRA 89005 beschreibt die prinzipielle Methodik und die Modelle, die zur Risikoermittlung anzuwenden ist, und macht Vorgaben an die Grundlagen zur Entscheidungsfindung und zur Erhöhung der Personensicherheit.
- Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen  
*Anwendungsbeispiel* (ASTRA 89007)  
Die Dokumentation ASTRA 89007 enthält ein Anwendungsbeispiel, welches den Ablauf darstellt und konform zum Risikobericht ist.
- Umsetzung der Störfallverordnung StFV auf den Nationalstrassen  
*Kurzbericht* (ASTRA 89006)  
Die Dokumentation ASTRA 89006 definiert die Vorgaben hinsichtlich Struktur und inhaltlichen Elementen von Kurzberichten nach StFV.

Die folgenden ASTRA Dokumentationen können weiterführende Informationen enthalten, die für die Risikoanalyse relevant sein können:

- Minimale Anforderungen an den Betrieb - Strassentunnel  
*Leitfaden Operative Sicherheit Betrieb* (ASTRA 86053)
- Betriebskonzept Strecke/Strassentunnel  
*Leitfaden Operative Sicherheit Betrieb* (ASTRA 86052)

## 2.3 Weitere Dokumente

- Massnahmen und Terminplan zur Erfüllung der aktuellen Normen und Richtlinien in den schweizerischen Nationalstrassentunneln (TUSI Liste).

|                                 |   |  |  |
|---------------------------------|---|--|--|
| <b>Gesetze</b><br>Verordnungen  | <p><b>NSG; SR 725</b><br/>Bundesgesetz über Nationalstrassen</p>  | <p><b>SVG; SR 741.01</b><br/>Strassenverkehrsgesetz</p>  |  |
|                                 | <p><b>NSV; SR 725.111</b><br/>Nationalstrassenverordnung</p>  | <p><b>SDR; SR 741.621</b><br/>Verordnung Beförderung gefährlicher Güter</p>                                    |  |
|                                 | <p><b>StfV; SR 814.012</b><br/>Verordnung über Schutz vor Störfällen</p>                                  | <p><b>SSV; SR 741.21</b><br/>Signalisationsverordnung</p>  |  |
| <b>UVEK</b><br>Weisungen        | <p><b>ASTRA 74001</b><br/>Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassennetz</p>                  |  |  |
| <b>ASTRA</b><br>Richtlinien     | <p><b>ASTRA 19004</b><br/>Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen</p>                               | <p><b>ASTRA 19002</b><br/>Umsetzung der Störfallverordnung auf den Nationalstrassen</p>                        | <p>weitere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ASTRA 13002</li> <li>ASTRA 13004</li> <li>ASTRA 13005</li> <li>ASTRA 13006</li> <li>ASTRA 13010</li> <li>ASTRA 13011</li> <li>ASTRA 13012</li> <li>ASTRA 13013</li> <li>ASTRA 15003</li> <li>ASTRA 16050</li> <li>ASTRA 11001</li> </ul> |
|                                 | <p><b>ASTRA 19001</b><br/>Sicherheitsmassnahmen gemäss Störfallverordnung bei Nationalstrassen</p>        | <p><b>ASTRA 13001</b><br/>Lüftung der Strassentunnel</p>   |  |
| <b>SIA / VSS</b><br>Normen      | <p><b>SIA 197</b><br/>Projektierung Tunnel, Grundlagen</p>  | <p><b>SIA 197/2</b><br/>Projektierung Tunnel, Strassentunnel</p>   | <p>weitere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>SN 640 551-1</li> <li>SN 640 080b</li> <li>SN 640 201</li> <li>SN 640 105b</li> </ul>  |
| <b>ASTRA</b><br>Fachhandbücher  | <p><b>Fachhandbuch T/G</b></p>  |  | <p>weitere</p> <p><b>Fachhandbuch BSA</b></p>  |
| <b>ASTRA</b><br>Dokumentationen | <p><b>ASTRA 89005</b><br/>Risikokonzept für Tunnel der Nationalstrassen<br/><i>Methodik</i></p>           | <p><b>ASTRA 89006</b><br/>Umsetzung der Störfallverordnung auf den Nationalstrassen<br/><i>Kurzbericht</i></p> | <p>weitere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ASTRA 86053</li> <li>ASTRA 86052</li> </ul>  |
|                                 | <p><b>ASTRA 89007</b><br/>Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen<br/><i>Anwendungsbeispiel</i></p> | <p><b>ASTRA 84002</b><br/>Gefahrguttransport in Strassentunneln</p>  |  |

Abb. 2.1 Übersicht der für die Risikoanalyse massgebenden technischen Dokumente des ASTRA im Bereich der Tunnelsicherheit.

## 3 Kontext

### 3.1 Aufgaben der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse hat zur Aufgabe ein gesellschaftlich tolerierbares Risikoniveau in Tunneln der Nationalstrasse sicherzustellen und zu erreichen, dass über das gesamte Nationalstrassennetz das Prinzip der Verhältnismässigkeit in Investitionen der Personensicherheit eingehalten wird.

Die quantitative Risikoanalyse bietet dem Entscheidungsträger eine transparente und nachvollziehbare und netzweit einheitliche Entscheidungsunterstützung.

Die quantitative Risikoanalyse unterstützt die Projektierung und die Realisierung von Neubau-, Ausbau- und Erhaltungsprojekten.

### 3.2 Identifikation des Entscheidungsträgers

Der Entscheidungsträger ist das ASTRA als Verwaltungsbehörde. Es hat die Aufgabe, mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen eine maximale Sicherheit im gesamten Nationalstrassennetz zu erreichen und die Funktionalität des Nationalstrassennetzes zu gewährleisten. Es wird daher in der Risikoanalyse eine gesellschaftliche Betrachtung vorgenommen und auf die Sicherheit des Tunnelbenutzers fokussiert. Betriebswirtschaftliche Aspekte sind in der Methodik nicht berücksichtigt.

#### 3.2.1 Identifikation der Vollzugsstelle

Die Vollzugsstelle ist in Abhängigkeit vom Lebenszyklus des Tunnelbauwerks gemäss Abb. 4.1 definiert.

#### 3.2.2 Aufgaben der Vollzugsstelle

Die Vollzugsstelle stellt sicher, dass die Annahmen in der Risikoanalyse mit den tatsächlichen Bedingungen übereinstimmen und prüft, ob die umgesetzten Massnahmen mit den Annahmen in der Risikoanalyse übereinstimmen. Die Vollzugsstelle unterhält ein Dokument für die Wirkungskontrolle und erstellt Bestätigungen nach Abschluss der Massnahmen.

Die Vollzugsstelle definiert den Ist-Zustand und prüft, ob es im Projektverlauf Abweichungen von diesem Zustand gibt. Die Vollzugsstelle beurteilt und dokumentiert Änderungen und stellt sicher, dass bei Änderungen im Projektverlauf die Risikoanalyse aktualisiert wird.

Die Vollzugsstelle übernimmt das Schnittstellenmanagement zwischen den relevanten Stellen gemäss [7] und stellt den Informationsfluss zwischen den in [7] definierten Stellen sicher.

### 3.3 Rahmenbedingungen

Neben den Erkenntnissen aus der Risikoanalyse können weitere Parameter in der Entscheidungsfindung wesentlich sein. Hierzu gehören in erster Linie gesetzliche Rahmenbedingungen, die eingehalten werden müssen, sowie politische Vorgaben oder Präferenzen. Jede Kenntnis über solche Einschränkungen ist im Risikobericht zu dokumentieren.

Gesetzliche Vorgaben sind strikte Rahmenbedingungen, die unabhängig vom Ergebnis der Risikoanalyse eingehalten werden müssen.

### 3.4 Berücksichtigte Konsequenzen

Die Richtlinie berücksichtigt nur Personenschäden, die infolge von Verkehrsunfällen, Bränden und Gefahrgutereignissen infolge des Verkehrs im Tunnel auftreten. Sachschäden an der Infrastruktur und Konsequenzen, die sich aus der Voll- oder Teilsperrung eines Tunnels ergeben können, werden nicht berücksichtigt. Die Entscheidungsfindung berücksichtigt nur die Wirkung einer Massnahme in Bezug auf die Personensicherheit.

## 4 Integraler Prozess

Die Risikoanalyse ist ein integraler Bestandteil bei der Erhaltung von Tunneln sowie bei jedem Neu- und Ausbau von Tunneln.

Die Notwendigkeit zum Vollzug einer Risikoanalyse gemäss [14], sowie die Tiefe des Bearbeitungsgrades hängt von mehreren Aspekten ab:

- Neubau oder bestehender Tunnel
- Planungs- und Projektierungsphase
- Sicherheitsanforderungen für Tunnel gemäss UVEK-Weisungen
- Abweichungen von Normen und Richtlinien

Der integrale Prozess, die beteiligten Organisationseinheiten innerhalb des ASTRA, deren Aufgaben und deren Beziehungen sind in Abb. 4.1 dargestellt. In den folgenden Kapiteln wird der übergeordnete Ablauf beschrieben. Der Verlauf der Risikoanalyse und dessen Ablauf erfolgt nach [14].

### 4.1 Projektgenerierung

Ein Projekt wird je nach Typ des Projektes von unterschiedlichen Organisationseinheiten initiiert. Es wird zwischen Neu- bzw. Ausbauprojekten und Erhaltungsprojekten unterschieden.

#### 4.1.1 Neu- und Ausbauprojekte

Für die Projektgenerierung bei Neubauprojekten (Netzvollendung) ist die Abteilung I, Bereich Fachunterstützung (FU), Netzvollendung (NV) zuständig. Unter ihrer Federführung werden die Projektgrundlagen erstellt und die Projektdefinition erstellt (Abb. 4.1).

Bei Ausbauprojekten ist die zuständige Filiale der Abteilung I für die Projektgenerierung und die Ermittlung der Projektgrundlagen zuständig.

#### 4.1.2 Erhaltungsprojekte

Für die Projektgenerierung bei Erhaltungsprojekten ist die Abteilung I, Erhaltungsplanung (EP) der verantwortlichen Filiale zuständig. Sie erstellt zuerst eine Priorisierung der zu sanierenden Tunnel. Diese Priorisierung erfolgt unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Budgets und der aktuellen Version des Dokuments „Massnahmen und Terminplan zur Erfüllung der aktuellen Normen und Richtlinien in den schweizerischen Nationalstrassentunneln“ [19]. In Tunneln, in denen die derzeit gültigen Normen und Richtlinien nicht erfüllt sind, kann das Risiko erhöht sein. Die Liste dient dazu, diese Tunnel zu identifizieren.

Die EP der zuständigen Filiale erstellt bei Erhaltungsprojekten die Projektdefinition für das Projekt und übergibt diese an das Projektmanagement (PM) der zuständigen Filialen.



## 4.2 Projektierung/Realisierung

Für die gesamte Projektierung, Beschaffung und die Umsetzung der Projekte ist die Abteilung I, PM der zuständigen Filiale verantwortlich.

Die Fachunterstützung (FU) unterstützt die Filialen bei spezifischen Problemstellungen. Sie gibt Hinweise - insbesondere in Fällen, bei denen Risikoanalysen, die über die Systemgrenzen von [14] hinausgehen - und stellt Informationen aus anderen Risikoanalysen zur Verfügung. Die Fachunterstützung genehmigt die Projekte zur Umsetzung der Massnahmen, die als Empfehlungen aus der Risikoanalyse resultieren.

### 4.2.1 Projektierung

Bei der Projektierung wird festgelegt, ob eine Risikoanalyse vorgenommen werden muss und welchen Detaillierungsgrad diese haben soll.

Ob eine Risikoanalyse vorgenommen werden muss, wird durch eine zweistufige Entscheidungshilfe ermittelt. In der ersten Stufe wird geprüft, ob im Tunnel besondere Charakteristiken vorhanden sind. In der zweiten Stufe wird geprüft, ob Abweichungen von ASTRA-Standards und Normen vorliegen.

Liegt keine besondere Charakteristik vor und besteht keine Abweichung von ASTRA-Standards und Normen, so wird das Risiko gemäss [14] als tolerierbar eingestuft und es ist keine Risikoanalyse erforderlich. Ein Risikobericht ist in jedem Fall zu erstellen und es ist im Risikobericht gemäss Kapitel 9 zu dokumentieren, wenn keine Risikoanalyse erforderlich ist.

Lässt es die Problemstellung sinnvoll erscheinen und unterstützt die Risikoanalyse den Entscheidungsträger, so kann eine Risikoanalyse erstellt werden, auch wenn es keine Abweichung von ASTRA-Standards und Normen gibt oder wenn keine besondere Charakteristik vorliegt.

#### **Besondere Charakteristiken**

Es ist zu prüfen, ob im Tunnel besondere Charakteristiken vorliegen, die eine Risikoanalyse zwingend erforderlich machen. Ob eine besondere Charakteristik vorliegt, wird gemäss der Checkliste in Anhang I bestimmt. Das Ergebnis ist im Risikobericht zu dokumentieren. Liegt eine besondere Charakteristik vor, so ist das Risikokzept (vgl. Kap.7 S.20), gemäss der Detaillierungsgrade der Projektstufen, zu vollziehen.

#### **Abweichungen von ASTRA Standards und Normen**

Gibt es eine Abweichung von ASTRA-Standards und Normen, so ist eine Risikoanalyse in der Projektierung vorzunehmen. Das Ergebnis ist im Risikobericht zu dokumentieren. In Abhängigkeit von den Projektstufen ist der geeignete Detaillierungsgrad festzulegen.

#### **Stufe GP/EK**

Auf Stufe *Generelles Projekt* GP (Risikoanalyse für das Projekt) respektive *Globales Erhaltungskonzept* EK (Risikoanalyse für den Ist-Zustand und für das Konzept) kann ein vereinfachter Ansatz des Risikokzeptes gemäss Kapitel 5.1.1 verwendet werden. Wenn möglich sollte auf dieser Stufe der detaillierte Ansatz verwendet werden. Es muss situativ entschieden werden, ob der vereinfachte Ansatz oder der detaillierte Ansatz gewählt wird.

Im *globalen Erhaltungskonzept* EK ist für den Ist-Zustand und für das Konzept der gleiche Detaillierungsgrad zu wählen.

Das Resultat der Risikoanalyse wird im Risikobericht gemäss Kapitel 9 festgehalten. Der Risikobericht ist Bestandteil des Projektdossiers T/G. Der Vollzug auf dieser Stufe ist in [14] zusammengestellt.

### **Stufe AP/MK**

Auf Stufe *Ausführungsprojekt* AP respektive *Massnahmenkonzept* MK sind die Resultate des vereinfachten Ansatzes durch die Ergebnisse aus der Anwendung des detaillierten Ansatzes gemäss Kapitel 5.1.2 zu ersetzen und die Resultate im Risikobericht zu dokumentieren.

Auf dieser Stufe ist das Risikokonzept im Massnahmenkonzept für den *Ist-Zustand* des Tunnels und für das *Konzept* zu vollziehen.

Im Ausführungsprojekt ist das Risikokonzept für das Projekt zu vollziehen.

Der Risikobericht ist Bestandteil des Projektdossiers T/G. Der Vollzug auf dieser Stufe ist in [14] zusammengestellt.

### **Stufe DP/MP**

Auf Stufe *Detailprojekt* DP respektive *Massnahmenprojekt* MP ist nur bei konzeptionellen oder anderen bedeutenden Änderungen des Projekts, im Vergleich zu den Konzepten auf Stufe AP/MK, ein Vollzug des detaillierten Ansatzes des Risikokonzepts für das Projekt nach [14] erforderlich.

Der Risikobericht ist Bestandteil des Projektdossiers T/G. Der Vollzug auf dieser Stufe ist in [14] zusammengestellt.

### **Einzelprojekt**

Ein Einzelprojekt zur Erhöhung der Tunnelsicherheit soll als Resultat einer Planung basierend auf einer vollständigen Risikoanalyse realisiert werden. Hierfür ist der detaillierte Ansatz zu wählen. Bei einem stufenweisen Ausbau ist für jede Zwischenstufe jeweils die effizienteste Massnahmenkombination zu identifizieren, da sich Massnahmen in ihrer Wirksamkeit gegenseitig beeinflussen können.

## **4.2.2 Realisierung**

Nach der Beschaffung und der Bauphase ist in der *Dokumentation des ausgeführten Werkes* DAW der Risikobericht nachzuführen und gegebenenfalls den Vollzug des Risikokonzepts durchzuführen. Der nachgeführte Risikobericht ist in den DAW abzulegen.

## **4.3 Betrieb/betrieblicher Unterhalt**

Nach Inbetriebnahme der Strassentunnelanlage haben die EP der zuständigen Filialen die Verantwortung für den sicheren Betrieb des Tunnels (i.S. Streckenmanager). Werden von der operativen Sicherheit (Streckenmanager; Sicherheitsbeauftragter Strecke) Schäden als relevant und dringlich für die Sicherheit eingestuft, so sind Sofortmassnahmen einzuleiten. Die Sofortmassnahmen sollten, wenn möglich, auf ihre Massnahmeneffizienz hin beurteilt werden. Sind die Schäden zwar sicherheitsrelevant, aber nicht dringlich oder nicht sicherheitsrelevant, so werden die Schäden für die Projektgenerierung rapportiert (Abb. 4.1).

## 5 Vollzug des Risikokonzepts

Der Inhaber der Nationalstrassen ist verantwortlich für die Umsetzung dieser Richtlinie. Gemäss [7] liegt die Verantwortlichkeit für Risikoanalysen beim ASTRA. Der Vollzug des Risikokonzepts ist von einer vom ASTRA unabhängigen Stelle auszuführen. Es liegt in der Verantwortung des ASTRA, dass die Grundannahmen aller durchgeführten Risikoanalysen in einem Tunnel aufeinander abgestimmt werden.

Der Vollzug des Risikokonzepts ist in [14] beschrieben. Die Verantwortung für die richtige Anwendung der Methode trägt der vom ASTRA für die Risikoanalyse Beauftragte.

Er muss sicherstellen, dass das Risiko nach Durchführung der Massnahmen tolerierbar ist. Eine begründete Abweichung von der Methode der Risikoermittlung kann in Einzelfällen notwendig sein. Alle Abweichungen sind transparent und vollständig im Risikobericht zu dokumentieren und mit der Vollzugsbehörde gemäss Kapitel 7 abzustimmen. Von der generellen Philosophie der Bewertung der Massnahmen und zur Tolerierbarkeit des Risikos gemäss Dokumentation ASTRA 89005 [14] darf nicht abgewichen werden.

### 5.1 Vollzug in den Projektphasen

Der Vollzug des Risikokonzepts erfolgt in unterschiedlichen Detaillierungsgraden in den verschiedenen Stufen der Projektphasen.

Der Detaillierungsgrad der Risikoermittlung und -bewertung muss dem Informationsstand der Projektphase entsprechen. Grundsätzlich sollte die Risikoanalyse alle bekannten und relevanten Risikoindikatoren beinhalten.

#### 5.1.1 Vereinfachter Ansatz

Auf Projektstufe GP und EK kann ein Vollzug des Risikokonzeptes mit einem vereinfachten Ansatz erfolgen. Der vereinfachte Ansatz bezieht sich dabei ausschliesslich auf die Information, die bei der Risikoanalyse verwendet wird. Die Minimalanforderungen für den Vollzug des Risikokonzeptes mit dem vereinfachten Ansatz erfolgt unter Berücksichtigung der folgenden Indikatoren:

- Tunnellänge,
- Verkehrsmenge,
- Art der Verkehrsführung (Richtungsverkehr bzw. Gegenverkehr),
- Anteil Schwerverkehr,
- Anzahl Fahrspuren pro Richtung,
- Art des Lüftungssystems sowie
- Abstand der Notausgänge.

Zusätzlich sind im vereinfachten Ansatz die Indikatoren einzubeziehen, die zur Festlegung einer Abweichung der Anforderungen im Tunnel geführt haben. Für alle Indikatoren, über die keine Information vorhanden ist, wird in der Risikoermittlung mit einer a-priori Wahrscheinlichkeitsverteilung gerechnet.

Mit dem vereinfachten Ansatz ist es möglich, eine erste Einschätzung über das Risikoniveau zu erhalten. Die Ergebnisse des vereinfachten Ansatzes haben hauptsächlich informativen Charakter.

Unter Verwendung der erforderlichen Anzahl an Indikatoren werden homogene Segmente über die Tunnellänge gebildet. Homogene Segmente sind Abschnitte im Tunnel in denen die Indikatoren konstant sind, d.h. ihre Eigenschaft nicht ändern.

### 5.1.2 Detaillierter Ansatz

Auf Projektstufe AP und MK sind detaillierte Risikoanalysen durchzuführen. Detailliert bedeutet konkret, dass alle Indikatoren gemäss [14] über die gesamte Tunnellänge bekannt sein müssen und in der Berechnung berücksichtigt werden müssen. Es werden keine a-priori Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Berechnung verwendet.

Die zu berücksichtigenden Indikatoren sind in Abb. 7.2 zusammengestellt.

Aus den Indikatoren werden homogene Segmente gebildet.

Die Ergebnisse auf der Stufe der Projektphase AP und MK haben den höchsten Detaillierungsgrad und dienen der Entscheidungsfindung in Bezug auf risikoreduzierende Massnahmen bzw. der Dokumentation, dass das Risiko ausreichend gering ist.

Falls ein Einzelprojekt nur auf Stufe MP/DP behandelt wird, so ist ein detaillierter Ansatz erforderlich.

## 5.2 Projektänderungen

Wird auf Stufe DP oder MP das Projekt konzeptionell bedeutend geändert oder werden Änderungen vorgenommen, die das Risiko beeinflussen könnten, so ist der erneute Vollzug des detaillierten Ansatzes des Risikokonzepts mit den bekannten Änderungen durchzuführen.

Ändern sich die Kosten im Projekt für die Ausführung der Massnahmen signifikant, so ist die Kosteneffizienz der Massnahmen unter Verwendung des detaillierten Ansatzes des Risikokonzepts erneut zu überprüfen. Signifikant bedeutet, dass die Kostenänderung grösser ist als die in den Fachhandbüchern definierten Genauigkeitsgrenzen des Kostenvoranschlags der Projektphase AP und MK.

Hat die Änderung einen Einfluss auf die Handlungsempfehlung, die auf Stufe AP und MK getroffen wurde, kann es notwendig sein, das Projekt entsprechend anzupassen.

Der Risikobericht ist entsprechend nachzuführen.

## 5.3 Nachführung des Risikoberichts

Der Risikobericht ist nach der Realisierung nachzuführen. Dies dient insbesondere der Erfassung und Bewertung von Realisierungsänderungen.

Der nachgeführte Risikobericht wird Bestandteil der DAW.

## 6 Sicherheitsanforderungen an Tunnel

Die übergeordneten UVEK-Weisungen [7] definieren Sicherheitsanforderungen, die einzuhalten sind. In Anlehnung an [7] ist aus verschiedenen Einflussfaktoren zu ermitteln, ob eine besondere Charakteristik im Tunnel vorliegt.

Ist keine besondere Charakteristik vorhanden und werden die ASTRA-Standards und Normen eingehalten, so ist davon auszugehen, dass keine Massnahmen vorhanden sind, die das Risiko effizient reduzieren könnten. In diesem Fall ist das vorhandene Risiko tolerierbar.

### 6.1 Besondere Charakteristiken

Für die Bestimmung einer besonderen Charakteristik sind in Anlehnung an die UVEK-Weisungen [7] folgende bauwerks- und verkehrsspezifische Einflussfaktoren zu betrachten:

#### Bauwerk

- Tunnellänge
- Nutzung der Tunnelröhren
- Ein- und Ausfahrten
- Anzahl der Fahrspuren
- Breite der Fahrspuren
- Querneigung
- Längsneigung

#### Verkehr

- Verkehrsaufkommen je Tunnelröhre (einschließlich der zeitlichen Verteilung)
- Gefahr täglicher oder saisonaler Staubbildung
- Vorkommen und Anteil des Schwerverkehrs
- Vorkommen, Anteil und Art des Gefahrgutverkehrs
- Geschwindigkeitsbezogene Aspekte

Jeder Parameter ist einer Analyse zu unterziehen und es ist zu beurteilen, ob eine besondere Charakteristik vorliegt. Eine Beurteilung erfolgt über die Checkliste in Anhang I.

Liegt eine Abweichung vor, muss gemäss Abb. 4.1 eine Risikoermittlung und/oder Risikobewertung durchgeführt werden. Der Ablauf der Risikobewertung ist in [14] dargestellt und beschrieben.

#### 6.1.1 Gestaltung der Sicherheitseinrichtungen

Das Abweichungsverbot aus Kap. 5.5 der UVEK-Weisungen [7] bezieht sich auf die Gestaltung von Sicherheitseinrichtungen. Damit soll erreicht werden, dass beispielsweise die Notausgänge in jedem Tunnel das gleiche Erscheinungsbild haben. Dies gilt für bestehende und geplante Tunnel.

### 6.2 Abweichungen von ASTRA-Standards und Normen

Abweichungen von ASTRA-Standards und Normen sind gemäss der UVEK-Weisungen [7] oder gemäss [19] zu ermitteln. Darüber hinaus können weitere projektspezifische Normen und Richtlinien massgebend werden. Liegen hier Abweichungen vor, so ist der Vollzug der Risikoanalyse notwendig.

## 7 Risikokonzept

Das Risikokonzept für die Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen basiert auf einem prozeduralen Vorgehen, welches in [14] detailliert beschrieben und erläutert ist. Es folgt dem allgemein angewendeten Ablauf von Risikoanalysen technischer Systeme und gilt übergeordnet auch für Fragestellungen in Strassentunnel, für die eine über die Systemgrenzen hinausgehende Risikoanalyse durchgeführt werden soll.

Das Risiko eines Ereignisses, bezogen auf eine Referenzperiode oder Referenzgrösse wird berechnet über die Eintretenswahrscheinlichkeit, beziehungsweise Eintretenshäufigkeit multipliziert mit den Konsequenzen, die aus dem Ereignis resultieren.

Das Risiko entspricht dem berechneten nominellen Erwartungswert der Anzahl an Unfällen, Todesfällen und Verletzten pro Referenzperiode infolge der Initialereignisse Unfälle, Brände und Gefahrgutereignissen.

Nach der Feststellung, dass eine Risikoanalyse erforderlich ist, wird das Risikokonzept vollzogen. Der generelle Ablauf ist in Abb. 7.1 dargestellt. Er besteht aus der Definition des Systems, der Risikoermittlung und der Risikobewertung.

Im ersten Schritt wird das System definiert und die Randbedingungen festgelegt. In der Systemdefinition sind auch konkrete spezifische Anforderungen an die Risikoanalyse in Abhängigkeit von der Fragestellung zusammen mit der Vollzugsstelle im Rahmen eines Pflichtenhefts festzulegen. Die folgenden Aspekte sind objektspezifisch zu berücksichtigen:

- Festlegung der Fragestellung und der Randbedingungen.
- Festlegung des Detaillierungsgrades der Analyse.
- Definition des Ist-Zustandes in Bezug auf das Bauwerk, auf den Verkehr sowie die voraussehbare zukünftige Entwicklung.
- Bestimmung orts- und objektspezifischer Daten, Pläne und bestehender Risikoanalysen sowie Informationen zum Unfallgeschehen.
- Durch den Planer und Betreiber erkannte relevante Gefahren.
- Planung und evtl. Durchführung einer Begehung und Gefahrenidentifikationssitzungen inkl. der Besprechung möglicher Massnahmen.
- Notwendigkeit einer über die Systemgrenzen hinausgehenden Risikoanalyse.

Sind alle Eingangsgrössen festgelegt, kann das Risiko mit der in [14] festgelegten Methode berechnet werden (Risikoermittlung). Für den Fall, dass eine über die Systemgrenzen hinausgehende Risikoanalyse notwendig ist, kann die Methode ergänzt und erweitert werden.

In der Risikobewertung wird das Risikoniveau der gesamten Tunnelanlage bewertet und mögliche Handlungsempfehlungen/Massnahmenempfehlungen formuliert. Diese Handlungsempfehlungen basieren auf Bewertungen der Verhältnismässigkeit der eingesetzten gesellschaftlichen Ressourcen, sowie auf festen Grenzwerten, um aussergewöhnlich hohe Gefährdungen zu vermeiden.

Alle Handlungsempfehlungen, die aus der Risikobewertung resultieren, basieren auf den nominell berechneten Werten der Risikoermittlung.

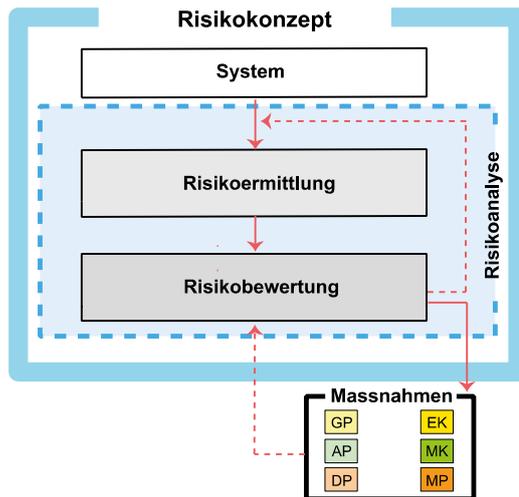


Abb. 7.1 Prinzipielle Darstellung des generellen Ablaufs des Risikokonzepts.

## 7.1 System

Zur Beschreibung des Systems gehören die Systemdefinition, die Systemabgrenzung, die Systemrepräsentation und die Definition der Gefahren.

### 7.1.1 Systemdefinition

Das Tunnelsystem ist formal durch den Geltungsbereich und durch die Vorgaben des Detaillierungsgrades des Vollzugs abgegrenzt und definiert.

Das betrachtete System umfasst den gesamten Tunnel gemessen im Bereich des völlig geschlossenen Tunnelabschnitts, sowie die Portalzonen gemessen 50 m vor dem geschlossenen Tunnelquerschnitt im Tunneleinfahrtsbereich und 50 m nach dem geschlossenen Tunnelquerschnitt im Tunnelausfahrtsbereich.

Als Referenzperiode für das Risiko ist ein Jahr definiert. Sind zeitliche Entwicklungen und saisonale Schwankungen zu berücksichtigen, so ist das Risiko getrennt für saisonale Szenarien zu berechnen und unter Berücksichtigung der zeitlichen Gewichtung als Risiko pro Jahr auszuweisen.

Alle Abweichungen vom Geltungsbereich sind zu dokumentieren und zu begründen. Besteht die Notwendigkeit, zeitliche Entwicklungen der Verkehrsmengen zu berücksichtigen, so können diese durch unterschiedliche Szenarien berücksichtigt werden. Werden zeitliche Entwicklungen berücksichtigt, so ist generell auch der zeitlichen Entwicklung der Ereignisraten in der Risikoermittlung Rechnung zu tragen.

Zusätzlich ist in der Systemdefinition im detaillierten Vollzug des Risikokonzepts folgendes enthalten:

- Eine Beschreibung des betrachteten Tunnels und seiner Zufahrten sowie die Pläne, die für das Verständnis des Konzepts und der vorgesehenen Betriebsregelungen erforderlich sind.
- Eine Darstellung des aktuellen bzw. prognostizierten Verkehrs mit der Darstellung und Begründung der derzeitigen oder vorgesehenen Regelung für die Beförderung von Gefahrgut.
- Eine Analyse der erheblichen Störungen und Unfälle, die bekannt sind, ist zu erstellen und der Systemdefinition beizulegen.

### 7.1.2 Systemrepräsentation

Das System wird generell über die berücksichtigten Indikatoren und deren funktionale Zusammenhänge repräsentiert. Die Indikatoren enthalten quantifizierte Informationen über das System in Form von Eintretenswahrscheinlichkeiten verschiedener Ereignisse oder Zustände. Im detaillierten Ansatz des Vollzugs des Risikokonzepts sind die Indikatoren zu berücksichtigen, die in Abb. 7.2 dargestellt sind.

|             |              |                         |
|-------------|--------------|-------------------------|
| Indikatoren | Verkehr      | Fahrtrichtung           |
|             |              | Zeitvariationskurven    |
|             |              | Tageszeit               |
|             |              | Verkehrsmenge           |
|             |              | Anteil Schwerverkehr    |
|             |              | Stau                    |
|             |              | Geschwindigkeit         |
|             |              | ADR Klasse              |
|             | Bauwerk      | Städtisch/Ländlich      |
|             |              | Zonen                   |
|             |              | Einfahrt/Ausfahrt       |
|             |              | Kurvenradius            |
|             |              | Längsneigung            |
|             |              | Fahrspurbreite          |
|             |              | Anzahl Spuren           |
|             |              | Verkehrsführung         |
|             |              | Abstand Notausgänge     |
|             |              | Querneigung             |
|             |              | Entwässerungssysteme    |
|             |              | Abstand Einlaufschächte |
|             | Nebenanlagen | Grösse der Schlitzrinne |
|             |              | Beleuchtung             |
|             |              | Lüftungssystem          |
|             |              | Notbeleuchtung          |
|             |              | Ereignisdetektion       |

Abb. 7.2 Übersicht über die Indikatoren.

Der Tunnel wird räumlich durch die Verwendung homogener Segmente repräsentiert. Ein Streckenabschnitt innerhalb des Tunnels ist homogen, wenn alle berücksichtigten Indikatoren auf dem Abschnitt ihren Wert nicht ändern. Ein homogenes Segment endet, wenn ein oder mehr Indikatoren ihren Wert ändern. Die Anzahl an homogenen Segmenten im Tunnel ist nicht beschränkt und ist der Problemstellung anzupassen. Aus dem Indikator Fahrtrichtung ergibt sich, dass die Fahrtrichtungen getrennt betrachtet werden. Im Brandfall sind die Konsequenzen nicht auf ein homogenes Segment beschränkt und können Teile des ganzen Tunnels betreffen. Dies ist im Konsequenzmodell zu berücksichtigen. Als Konsequenzen werden generell Todesfälle und Verletzte betrachtet.

Die Fahrtrichtungen sowie die Ein- und Ausfahrtrampen werden als separate Komponenten des Gesamtsystems des Tunnels berücksichtigt.

### 7.1.3 Gefahren

Die folgenden Gefahrenereignisse sind in der Risikoermittlung zu berücksichtigen:

- Verkehrsunfälle mit Personenschäden,
- Brandereignisse infolge von Unfällen,
- Brandereignisse infolge elektrischer Defekte und Überhitzungen sowie
- Brandereignisse infolge mechanischer Überhitzung.

Des Weiteren sind Gefahren aus Gefahrgutereignissen zu berücksichtigen, d.h.:

- Lachenbrand,
- Explosionen sowie
- toxische Ereignisse.

## 7.2 Risikoermittlung

Die Risikoermittlung hat zum Ziel, den nominellen Erwartungswert der Anzahl Todesfälle und Verletzte pro Jahr, in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten, zu bestimmen.

Die örtlichen Gegebenheiten werden über die Indikatoren bestimmt. Im vereinfachten Ansatz darf die Risikoermittlung unter Verwendung einer begrenzten Anzahl an Informationen über die Indikatoren erfolgen (siehe Kap. 5.1). Für die Indikatoren, für die keine Information verfügbar ist, ist mit einer a-priori Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu rechnen, die der allgemeinen Situation in schweizerischen Tunneln der Nationalstrassen entsprechen.

Im detaillierten Ansatz werden generell orts- und objektspezifische Informationen über alle Indikatoren verwendet. Abweichungen sind zu begründen, zu dokumentieren und mit der Vollzugsstelle abzustimmen.

Die Risikoermittlung dient auch dazu, den Einfluss möglicher zukünftig umzusetzender Massnahmen auf das bestehende Risikoniveau zu bestimmen.

Für jedes homogene Segment und getrennt für jede Fahrtrichtung wird das Risiko unter Verwendung der definierten Indikatoren für den Ist-Zustand separat berechnet und ausgewiesen. In der Risikoermittlung ist der Einfluss der in Kap. 7.1.2 definierten Indikatoren auf das Risiko, sowie deren Abhängigkeiten in einem angemessenen Detaillierungsgrad zu berücksichtigen. Angemessen ist der Detaillierungsgrad, wenn die Ergebnisse aus der Risikoermittlung eine eindeutige Rangierung der möglichen Massnahmen ermöglichen. Das Risikoprofil über die Tunnellänge ist anzugeben.

Besteht der Tunnel aus mehreren Komponenten [14], so ist für jede Komponente des Tunnels eine Risikoermittlung für den Ist-Zustand durchzuführen, und das Risiko für die gesamte Tunnelanlage zu aggregieren.

Die Aggregation ist über die räumliche und zeitliche Verteilung des Risikos durchzuführen, sowie über alle Typen von Konsequenzen. Das Risiko wird bewertet über den Erwartungswert der Anzahl Todesfälle in der Tunnelanlage. Verletzte sind mit Todesfalläquivalenten zu berücksichtigen.

Die Risiken aus Gefahrgutunfällen sind in W-A-Diagrammen anzugeben, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der Methodik für Gefahrgutereignisse [17] zu ermöglichen. Da die Systemgrenzen in [9] über den Tunnel hinausgehen, sind die Wahrscheinlichkeiten für eine hohe Anzahl an Todesfällen der beiden Methoden nicht direkt vergleichbar. Die Bewertung der Personenrisiken infolge Gefahrgutereignisse erfolgt über [16].

## 7.3 Risikobewertung

Das Risiko der gesamten Tunnelanlage ist gemäss den in [14] definierten zwei Grenzwerten zu bewerten. Zeigt die Risikoanalyse, dass das Risikoniveau geringer ist als der festgelegte untere Grenzwert, so ist das Risikoniveau tolerierbar und keine weiteren Massnahmen sind notwendig.

### 7.3.1 Risikoreduzierende Massnahmen und Massnahmenkombinationen

Liegt das Risiko in der gesamten Tunnelanlage oberhalb des definierten unteren Grenzwertes, so sind Massnahmen zu beurteilen und gemäss ihrer Verhältnismässigkeit zu prüfen. Dabei sind sowohl die Lebenszykluskosten der Massnahme als auch der Nutzen der Massnahme in Bezug auf die Personensicherheit zu berücksichtigen.

Die Identifikation aller möglichen Massnahmen ist zentral bei jedem integralen Risikomanagement und muss alle denkbaren und sinnvollen Massnahmen auf den drei Ebenen Verkehr, Bauwerk und Ausstattung beinhalten. Neben den baulich/technischen Massnahmen sind auch alle möglichen organisatorischen Massnahmen in Betracht zu ziehen. Die organisatorischen Massnahmen beinhalten auch spezifische Vorgaben aus betrieblichen Tätigkeiten des ASTRA in Tunneln der Nationalstrassen.

Die Identifikation risikoreduzierender Massnahmen und Massnahmenkombinationen ist ein Prozess, der Fachwissen aus vielen technischen/organisatorischen Bereichen verlangt. Die relevanten Massnahmen können z.B. in Rahmen von sogenannten „Screening Meetings“ identifiziert werden. Diese Sitzungen beinhalten eine Diskussion mit Beteiligung von Fachleuten (unter anderem von FU, Risikoexperten, Tunnelbauexperten, Lüftungsexperten, Beleuchtungsexperten, Tunnelbetreiber, Feuerwehr und Polizei).

Bauliche/technische Massnahmen können sich auf Indikatoren beziehen, die in der Methodik berücksichtigt sind, oder auf Massnahmen, die nicht explizit berücksichtigt sind. In letzterem Fall ist die Risikoreduktion (und die Massnahmenkosten) durch geeignete, wenn möglich quantitative Methoden zu bestimmen und mit einzubeziehen. Die gewählten Methoden sind im Risikobericht zu dokumentieren.

Nicht alle organisatorische Massnahmen werden in der Methodik explizit berücksichtigt. Alle organisatorischen Massnahmen sind gemäss den ASTRA-Standards umzusetzen. Gibt es in speziellen Fällen den Bedarf einer Abweichung von diesen Standards, so sollte der Einfluss dieser Abweichung auf das Risiko und die Kosten der Massnahme eingeschätzt und wenn möglich quantifiziert werden. Der Einfluss der Abweichung ist im Rahmen der Entscheidungsfindung gemäss den hier definierten Vorgaben zu bewerten. Die Grundlagen für die Quantifizierung sind im Risikobericht zu dokumentieren.

### 7.3.2 Massnahmeneffizienz

Die Verhältnismässigkeit der Massnahme und aller möglichen Massnahmenkombinationen ist mit dem Grenzkostenansatz (siehe [14]) zu bewerten. Die Grenzkosten werden vom Bundesamt für Raumentwicklung ARE bestimmt (*Value of statistical life (VOSL) : empfohlener Wert der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos in der Schweiz*).

Die Massnahmen können einzeln oder in Kombination vorgesehen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Massnahmen nicht immer unabhängig sind, und dass Massnahmen sich gegenseitig positiv und negativ beeinflussen können. Dieser Einfluss bezieht sich sowohl auf das Risikoniveau als auch auf die Kosten der Massnahmen. Bei Kombinationen von Massnahmen ist die gegenseitige Beeinflussung der Massnahmen in Bezug auf ihre Kosten und ihren Nutzen zu berücksichtigen.

### 7.3.3 Bewertung von Massnahmen und Massnahmenkombinationen

Liegt das Risiko in der gesamten Tunnelanlage oberhalb des oberen Grenzwertes, so ist das Risiko nicht tolerierbar. Es sind weitere Massnahmen und Massnahmenkombinationen zu evaluieren, um das Risiko unter den oberen Grenzwert zu führen, auch wenn diese nicht verhältnismässig sind. Allenfalls ist das Projekt generell zu prüfen.

Liegt das Risiko im Tunnel unterhalb des oberen Grenzwertes, dann ist das Risiko nur tolerierbar, sofern es keine weiteren Massnahmen mehr gibt, die verhältnismässig sind.

## 8 Resultate

Das Resultat der Risikobewertung ist eine Handlungsempfehlung für die Vollzugsstelle. Das Resultat enthält die gesamte Risikoanalyse und alle getroffenen Annahmen und ist transparent und nachvollziehbar im Risikobericht zu dokumentieren. Struktur und Inhalt des Berichtes sind in Kapitel 9 vorgegeben.

### 8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Jedem Risikobericht ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse voranzustellen. Diese Zusammenfassung enthält die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse. Konkret enthält die Zusammenfassung in Textform mindestens die folgenden Angaben:

- Name, Lage, Länge und Alter des Tunnelsystems
- Bezeichnung der Verkehrsachse
- Kennwerte des Verkehrs und Bezugszeitpunkt (DTV und Anteil Schwerverkehr)
- Grund der Risikoanalyse (Kurzdarstellung der Problemstellung)
- Angabe der Projektstufe und Detaillierungsgrad der Risikoanalyse
- Risikoniveau im Ist-Zustand
- Benennung der empfohlenen Massnahmen und Kostenschätzung
- Risikoniveau nach Massnahmen und die prozentuale Verbesserung

### 8.2 Handlungsempfehlung

Die Handlungsempfehlung aus der Risikoanalyse enthält eine kurze textliche Beschreibung der Massnahmenkombinationen, die für die Umsetzung empfohlen werden. Ist das Risikoniveau im Ist-Zustand tolerierbar, so ist in der Handlungsempfehlung explizit zu erwähnen, dass keine Massnahmen zur Umsetzung empfohlen werden.

#### 8.2.1 Tabellarische Zusammenfassung

Die tabellarische Zusammenfassung enthält die Resultate der gesamten Tunnelanlage mindestens für den Ist-Zustand sowie für alle untersuchten Massnahmenkombinationen. Sind zusätzliche Ergebnisse wie beispielsweise eine Prognose des Risikos für zukünftige Zustände berechnet worden, so sind diese ebenfalls in einer Tabelle zusammenzustellen. Für jede untersuchte Konfiguration, sind tabellarisch die aggregierten Ergebnisse der Risikoermittlung darzustellen.

|                          | Anzahl Todesfälle pro Jahr | Anzahl Verletzte pro Jahr | Anzahl Ereignisse pro Jahr |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>Unfälle</b>           | 0.0295                     | 0.735                     | 0.478                      |
| <b>Brände</b>            | 0.0047                     | 0.011                     | 0.357                      |
| <b>Gefahrgut</b>         | 0.0008                     | 0.002                     | 0.000                      |
| <b>Gesamt</b>            | 0.0350                     | 0.749                     | 0.835                      |
| <b>Verkehr</b>           |                            |                           |                            |
|                          | 12.230                     |                           | Mio. Fzg. km/Jahr          |
| <b>Unfallrate</b>        | 0.039                      |                           | 1/Mio. Fzg. km             |
| <b>Brandereignisrate</b> | 29.000                     |                           | 1/Mrd. Fzg. km             |
| <b>Todesfallrate</b>     | 2.860                      |                           | 1/Mrd. Fzg. km             |
| <b>Verletztenrate</b>    | 0.042                      |                           | 1/Mio. Fzg. km             |

Abb. 8.1 Beispielhafte Darstellung der tabellarischen Zusammenfassung der Ergebnisse der Risikoermittlung.

Zusätzlich ist eine tabellarische Übersicht über alle untersuchten Konfigurationen darzustellen, die den schnellen Vergleich zulässt. Diese tabellarische Zusammenfassung enthält mindestens die Informationen, die in Abb. 8.2 enthalten ist.

|  | Ist-Zustand | Massnahmenkombinationen |
|--|-------------|-------------------------|
|  | $M_{Ist}$   | $M_{Komb}$              |
| Unfallrate [1/ Mio Fzg. km]                              |             |                         |
| Brandrate [1/ Mrd Fzg. km]                               |             |                         |
| Todesfallrate Total [1/ Mrd Fzg. km]                     |             |                         |
| Anzahl Unfälle pro Jahr                                  |             |                         |
| Anzahl Verletzte infolge Unfällen pro Jahr               |             |                         |
| Anzahl Tote infolge Unfällen pro Jahr                    |             |                         |
| Anzahl Brände pro Jahr                                   |             |                         |
| Anzahl Verletzte infolge Fzg.-Bränden pro Jahr           |             |                         |
| Anzahl Tote infolge Fzg.-Unfällen pro Jahr               |             |                         |
| Anzahl Gefahrgutereignisse pro Jahr                      |             |                         |
| Anzahl Verletzte infolge Gefahrgutereignisse pro Jahr    |             |                         |
| Anzahl Tote infolge Gefahrgutereignisse pro Jahr         |             |                         |
| Anzahl Todesfälle Total (inkl. Todesfalläquivalente)     |             |                         |
| Verhältnisswert von Massnahmenkosten zu Massnahmennutzen |             |                         |
| Empfohlenes Massnahmenpaket                              |             |                         |

Abb. 8.2 Vorlage für die tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse für die gesamte Tunnelanlage.

Die tabellarische Zusammenstellung enthält das verbleibende Risiko nach Umsetzung der Massnahmen und Massnahmenkombinationen.

### 8.2.2 Graphische Darstellung

Graphisch darzustellen ist für den Ist-Zustand und für den Zustand nach Umsetzung der Massnahmenempfehlung die:

- Unfallrate pro Mio. Fzg. km über die Tunnellänge, getrennt für jede Berechnung.
- Todesfallrate pro Mrd. Fzg. km über die Tunnellänge, getrennt für jede Berechnung.
- Brandrate pro Mrd. Fzg. km über die Tunnellänge, getrennt für jede Berechnung.

Die Unfallraten und die Verletztenraten sind immer pro Millionen Fahrzeugkilometer anzugeben. Die Todesfallraten sind immer pro Milliarden Fahrzeugkilometer anzugeben.

In das Diagramm zur Todesfallrate ist auch der obere Grenzwert der Akzeptierbarkeit  $G_{II}$  einzuzeichnen (vgl. Abb. 8.4).

Analog ist auch die Brandereignisrate pro Milliarden Fahrzeugkilometer über die Tunnellänge, getrennt für jede Berechnung und Richtung, darzustellen.

Informativ ist auch die Überschreitungswahrscheinlichkeit von Todesfällen durch Gefahrgutereignisse pro 100 m Tunnellänge zusammen mit den Akzeptabilitätslinien gemäss [7] darzustellen (siehe Abb. 8.5). Bei einer Überschreitung der Akzeptabilitätslinien in diesem Diagramm ist zu prüfen, ob gemäss [8] weiter vorzugehen ist.

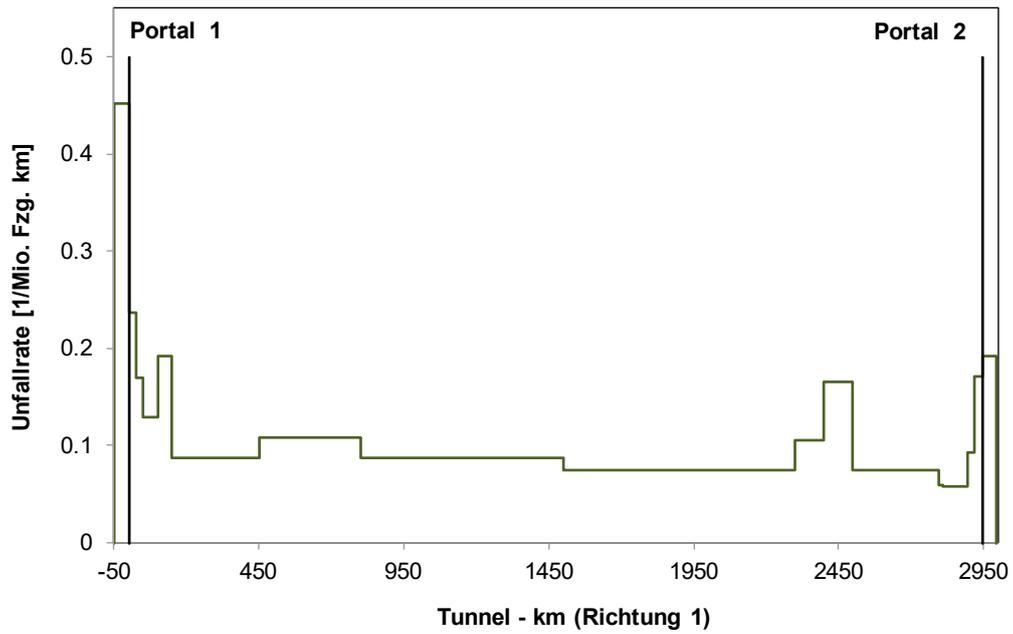


Abb. 8.3 Beispielhafte Darstellung des Verlaufs der Unfallrate über die Tunnellänge als Ergebnis der Risikoermittlung.

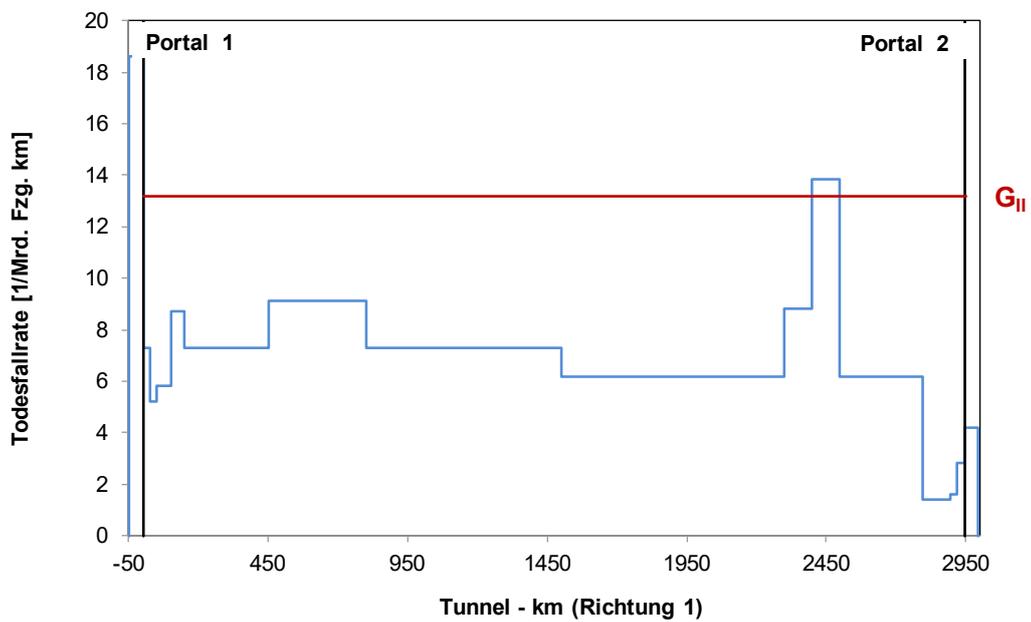


Abb. 8.4 Beispielhafte Darstellung des Verlaufs der Todesfallrate über die Tunnellänge als Ergebnis der Risikoermittlung.

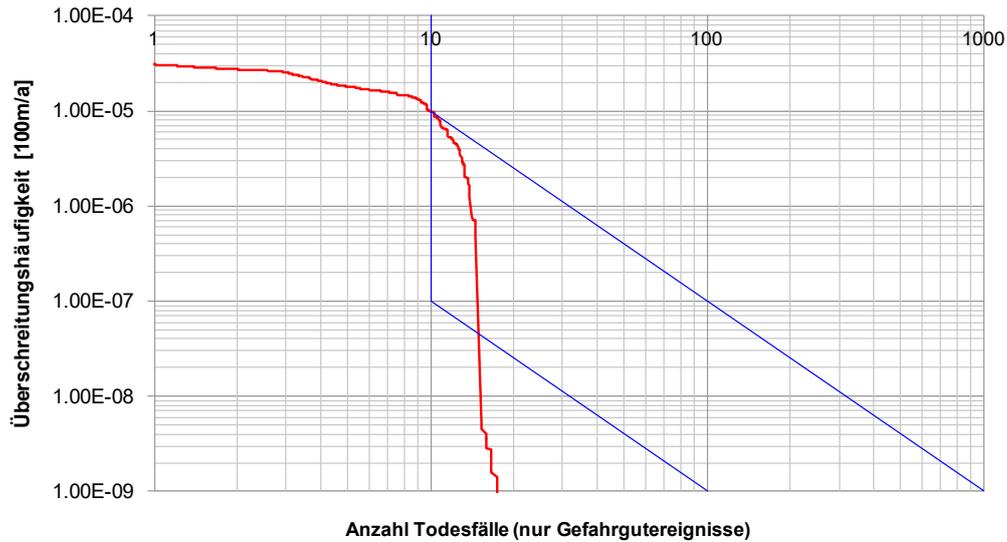


Abb. 8.5 Beispielhafte Darstellung der Überschreitungshäufigkeit für Todesfälle infolge Gefahrgutereignissen, normiert auf eine Länge von 100 m.

Das empfohlene Massnahmenpaket ist in einem zweidimensionalen Diagramm darzustellen, in dem die jährlichen Massnahmennutzen (y-Achse) gegenüber den jährlichen Massnahmenkosten (x-Achse) aufgetragen sind. Das Massnahmenpaket ist sukzessive aufzubauen, beginnend mit der effizientesten Massnahme. Die Akzeptanzgrenze nach dem Grenzkostenprinzip ist ebenfalls darzustellen. Es ist nur die effizienteste Massnahmenkombination darzustellen.

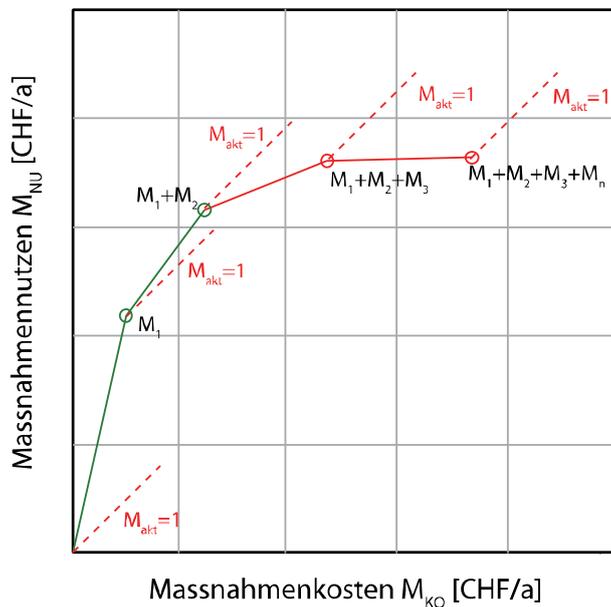


Abb. 8.6 Vorlage für die graphische Darstellung der Massnahmenkombination.

Zusätzlich ist graphisch zu zeigen, dass das Risiko nach Ausführung des empfohlenen Massnahmenpakets unterhalb des oberen festgelegten Grenzwertes liegt. Dafür ist das Massnahmenpaket in einem zweidimensionalen Diagramm darzustellen, in dem die Todesfallrate (y-Achse) gegenüber den jährlichen Massnahmenkosten (x-Achse) aufgetragen ist. Das Massnahmenpaket ist sukzessive aufbauend darzustellen, beginnend mit der effizientesten Massnahme. In diesem Diagramm ist auch die obere und untere definierte Akzeptanzgrenze ( $G_{II}$  und  $G_I$ ) darzustellen.

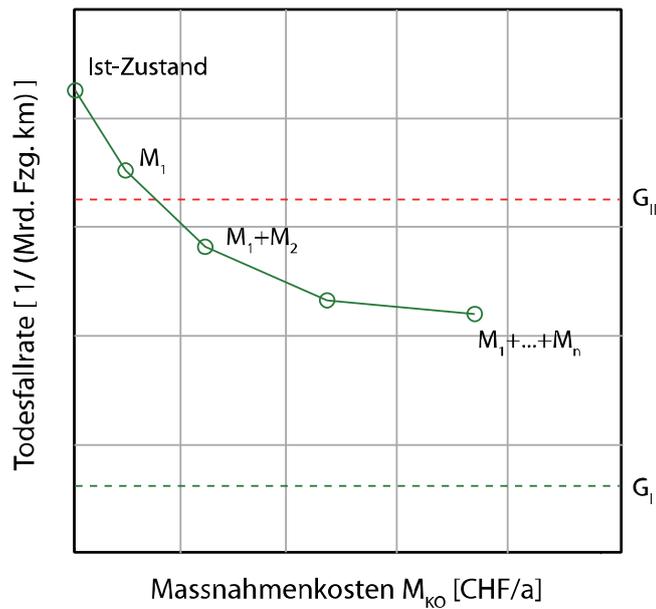


Abb. 8.7 Vorlage für die Graphische Darstellung für den Nachweis der Konformität der Ergebnisse mit den Akzeptanzgrenzen.

### 8.2.3 Variantenwahl

Die Variantenwahl beschreibt die empfohlene Massnahmenkombination detailliert. Die Variantenwahl enthält mindestens:

- die detaillierte Beschreibung der einzelnen Massnahmen und Massnahmenkombinationen,
- die Kostenschätzung der Massnahmen und Massnahmenkombinationen gemäss Projektstand,
- die Wirkung der Einzelmassnahmen und der Massnahmenkombinationen, d.h. eine Beschreibung, ob die Massnahme beispielsweise konsequenzenreduzierend wirkt oder die Eintretenswahrscheinlichkeiten verringert. Es ist auch zu beschreiben, auf welche Initialereignisse die Massnahme wirkt.

Die Variantenwahl enthält auch eine, auf den Ergebnissen begründete, Handlungsempfehlung.

# 9 Risikobericht

## 9.1 Inhalt Risikobericht

| Dossier  |        |   |   |
|----------|--------|---|---|
| Kap.     | U-Kap. | Themen und Dokumente  | Form  |
| <b>A</b> |        | <b>Zusammenfassung</b>  | Text  |
| <b>B</b> |        | <b>Auftrag und Pflichtenheft</b>                                  | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
| <b>C</b> |        | <b>Grundlagen und Randbedingungen</b>                             | Text, Tabellen, Abbildungen, Verweise       |
| <b>D</b> |        | <b>Systemdefinition und Systemabgrenzung</b>                      |   |
|          | .1     | Verkehrscharakteristiken  | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
|          | .2     | Bauwerkscharakteristiken  | Text, Tabellen, Pläne<br>1:10'000 / 1:5'000 |
|          | .3     | Nebenanlagen  | Schemaplan                                  |
| <b>E</b> |        | <b>Sicherheitsrelevante Anforderungen</b>                         |   |
|          | .1     | Besondere Charakteristik  | Checkliste                                  |
|          | .2     | Abweichungen von Normen und Standards                             | Text, Tabellen                              |
| <b>F</b> |        | <b>Systemrepräsentation</b>                                       |   |
|          | .1     | Detaillierungsgrad (vereinfacht/detailliert)                      | Text, Checkliste                            |
|          | .2     | Tunnelkomponenten   | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
|          | .3     | Homogene Segmente   | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
| <b>G</b> |        | <b>Risikoermittlung für den Ist-Zustand / für das Projekt</b>     | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
| <b>H</b> |        | <b>Risikoreduzierende Massnahmen / Massnahmenkombinationen</b>    | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
| <b>I</b> |        | <b>Risikoermittlung nach Massnahmen / Massnahmenkombinationen</b> | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
| <b>J</b> |        | <b>Risikobewertung</b>  |   |
|          | .1     | Massnahmennutzenrechnung $M_{NU}$                                 | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
|          | .2     | Massnahmenkostenrechnung $M_{KO}$                                 | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
|          | .3     | Massnahmeneffizienz $M_{EFF}$                                     | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
|          | .4     | Bewertung von Massnahmen, Akzeptanz                               | Text, Tabellen, Abbildungen                 |
| <b>K</b> |        | <b>Handlungsempfehlungen</b>                                      |   |
|          | .1     | Tabellarische Zusammenfassung                                     | Tabellen                                    |
|          | .2     | Graphische Darstellung  | Grafiken                                    |
|          | .3     | Variantenwahl   | Text, Tabellen, Abbildungen                 |

# Anhänge

I **Checkliste zur Bestimmung einer besonderen Charakteristik..... 33**

# I Checkliste zur Bestimmung einer besonderen Charakteristik

Eine besondere Charakteristik im Tunnel liegt vor, wenn **eine oder mehr** der folgenden Fragen mit „ja“ beantwortet werden kann:

|  |  |  |
|--|--|--|
| Bauwerk  | Ist die Tunnellänge > 5 km?  |  |
|  | Wechselnde Umnutzung der Tunnelröhre, z.B. wechselnde Richtung bei Richtungsverkehr oder zeitweise Gegenverkehr? |  |
|  | Ein-/Ausfahrten im Tunnel?   |  |
|  | Veränderung der Anzahl Fahrspuren in einer Tunnelröhre?  |  |
|  | Gibt es 4 oder mehr Fahrspuren in einer Tunnelröhre?   |  |
|  | Ist die Fahrspurbreite der rechten Spur < 3.50 m?  |  |
|  | Ist die Querneigung > 5.0 % oder < 2.5 %?  |  |
|  | Ist die Längsneigung an einer Stelle im Tunnel > 3 %?  |  |
| Verkehr  | Ist beim Gegenverkehrstunnel die Verkehrsmenge > 13'300 Fzg./((Fahrspur, 24 h)?                                  |  |
|  | Ist beim Richtungsverkehrstunnel die Verkehrsmenge > 14'200 Fzg./((Fahrspur, 24 h)?                              |  |
|  | Ist beim Gegenverkehrstunnel die Verkehrsmenge in der Spitzenstunde > 1'600 Fzg./((Fahrspur, h)?                 |  |
|  | Ist beim Richtungsverkehrstunnel die Verkehrsmenge in der Spitzenstunde > 1'900 Fzg./((Fahrspur, h)?             |  |
|  | Mehr als 75 h Stau pro Jahr?   |  |
|  | Ist der Anteil des Lkw -Verkehrs > 15 %?   |  |
|  | Anteil der Anteil des Gefahrgutverkehrs > 6 % vom Lkw Anteil?  |  |
|  | Ist beim Richtungsverkehrstunnel die signalisierte Geschwindigkeit > 100 km/h?                                   |  |
|  | Ist beim Gegenverkehrstunnel die signalisierte Geschwindigkeit > 80 km/h?  |  |
| Ist die signalisierte Geschwindigkeit bei einer Durchfahrt des Tunnels nicht konstant (Wechsel der Beschilderung)? |  |  |

Abb. I.1 Checkliste 1 zur Bestimmung einer besonderen Charakteristik.

Eine besondere Charakteristik im Tunnel liegt vor, wenn **drei oder mehr** der folgenden Fragen mit „ja“ beantwortet werden können:

|         |  |  |
|---------|--|--|
| Bauwerk | Ist die Tunnellänge > 3 km?  |  |
|         | Gibt es 3 oder mehr Fahrstreifen in einer Tunnelröhre?   |  |
| Verkehr | Ist beim Gegenverkehrstunnel die Verkehrsmenge > 12'300 Fzg./ (Fahrspur, 24 h)?                      |  |
|         | Ist beim Richtungsverkehrstunnel die Verkehrsmenge > 13'300 Fzg./ (Fahrspur, 24 h)?                  |  |
|         | Ist beim Gegenverkehrstunnel die Verkehrsmenge in der Spitzenstunde > 1'400 Fzg./ (Fahrspur, h)?     |  |
|         | Ist beim Richtungsverkehrstunnel die Verkehrsmenge in der Spitzenstunde > 1'700 Fzg./ (Fahrspur, h)? |  |
|         | Gibt es mehr als 50 h Stau im Tunnel pro Jahr?   |  |
|         | Ist der Anteil des Gefahrgutverkehrs > 4 % vom Lkw Anteil?   |  |

Abb. 1.2 Checkliste 2 zur Bestimmung einer besonderen Charakteristik.

Zusätzlich zu den vorherigen quantitativen Charakteristiken sind die folgenden beschreibenden Charakteristiken ebenfalls zu prüfen:

#### Bauart

Gemäss UVEK-Weisungen [7] ist auch die Bauart zu prüfen. Für Tunnel mit einer Bauart, die von Kap. 1.2 abweicht, wie beispielsweise Untertunnel und Tunnel mit Überbauung, liegt eine Abweichung vor. In diesem Fall ist die Ausarbeitung einer über die Systemgrenzen hinausgehenden Risikoanalyse notwendig. Das methodische Konzept der Risikoanalyse bleibt gültig. Die angewendete Methode der Risikoeermittlung ist vollständig und transparent im Risikobericht zu dokumentieren. Dies ist auch der Fall, falls der Brandwiderstand nicht die heutigen Anforderungen erfüllt.

#### Geografische und meteorologische Verhältnisse

Gemäss UVEK-Weisungen [7] sind auch die geografischen und meteorologischen Verhältnisse zu prüfen. Können geografische und/oder meteorologische Verhältnisse zu erhöhten Gefahren führen, z.B. infolge von Naturgefahren wie Wasser, Murgang, Sturz, Erdbeben, plötzliche und unerwartete, reduzierte Sichtweite (Nebel, Regen, Schnee, beschlagene Scheiben), dann liegt eine Abweichung vor, und die Ausarbeitung einer über die Systemgrenzen hinausgehenden Risikoanalyse ist erforderlich. Das methodische Konzept der Risikoanalyse bleibt gültig, solange es nicht andere ASTRA-Standards für die Problemstellung gibt (z.B. [18]). Alle Abweichungen sind im Risikobericht vollständig und transparent zu dokumentieren.

#### Charakteristiken der Zubringerstrassen

Gemäss UVEK-Weisungen [7] sind auch die Charakteristiken der Zubringerstrassen zu prüfen. Können Zufahrtsstrassen (z.B. Kreisell, kurze Ausfahrtstrecken, Kreuzungen, Eisenbahnüberquerungen, Ampel) zu Rückstau im Tunnel führen, oder ist aufgrund deren Beschaffenheit und Gestaltung mit erhöhtem Brandrisiko zu rechnen, dann ist die Ausarbeitung einer über die Systemgrenzen hinausgehenden Risikoanalyse erforderlich. Das methodische Konzept der Risikoanalyse bleibt gültig. Alle Abweichungen sind im Risikobericht vollständig und transparent zu dokumentieren.

### **Überholen im Tunnel**

Überholen von Schwerverkehr im Tunnel wurde in der Risikoermittlung in [14] nicht explizit berücksichtigt und liegt damit ausserhalb der Systemgrenzen. Wird eine Risikoanalyse hierzu durchgeführt, so ist diese im Risikobericht vollständig und transparent zu dokumentieren. Das methodische Konzept der Risikoanalyse gemäss [14] bleibt gültig.



## Glossar

| Begriff              | Bedeutung  |
|----------------------|--|
| a                    | Jahr   |
| Abteilung I          | Abteilung Strasseninfrastruktur  |
| AP                   | Ausführungsprojekt   |
| BSA                  | Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen  |
| DAW                  | Dokumentation des ausgeführten Werkes  |
| DP                   | Detailprojekt  |
| DTV                  | Durchschnittlicher Täglicher Verkehr   |
| EK                   | Globales Erhaltungskonzept   |
| EP                   | Erhaltungsplanung  |
| FU                   | Fachunterstützung  |
| Fzg                  | Fahrzeuge  |
| GE                   | Gebietseinheiten   |
| $G_I$                | Unterer festgelegter fester Grenzwert der Todesfallrate  |
| $G_{II}$             | Oberer festgelegter fester Grenzwert der Todesfallrate   |
| GP                   | Generelles Projekt   |
| h                    | Stunde   |
| Hazid                | Hazards Identification – Gefahrenidentifikation  |
| Lkw                  | Lastkraftwagen   |
| $M_{akt}$            | Kriterium für die Verhältnismässigkeit von Massnahmen und –kombinationen   |
| MK                   | Massnahmenkonzept  |
| $M_{Ko}$             | Massnahmenkosten in CHF/a  |
| $M_{komb.}$          | Massnahmenkombinationen  |
| $M_{Nu}$             | Massnahmennutzen in CHF/a  |
| MP                   | Massnahmenprojekt  |
| NV                   | Netzvollendung   |
| PM                   | Projektmanagement  |
| StFV                 | Störfallverordnung   |
| T/G                  | Tunnel/Geotechnik  |
| Tolerierbares Risiko | Das Risiko, welches die Gesellschaft nach Ermittlung, Bewertung und Behandlung zu tragen bereit ist, um definierte Ziele zu erreichen.   |
| TUSI Liste           | Tunnelsicherheits-Liste, Massnahmen und Terminplan zur Erfüllung der aktuellen Normen und Richtlinien in den schweizerischen Nationalstrassentunneln. Diese Liste wird fortlaufend aktualisiert. |
| W-A-Diagrammen       | Wahrscheinlichkeits-Ausmass Diagramm   |

# Literaturverzeichnis

## Bundesgesetze

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft (1960), „**Bundesgesetz vom 8. März 1960 über die Nationalstrassen (NSG)**“, SR 725.11, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).
- [2] Schweizerische Eidgenossenschaft (1958), „**Strassenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958 (SVG)**“, SR 741.01, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).

## Verordnungen

- [3] Schweizerische Eidgenossenschaft (1991), „**Verordnung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen, Störfallverordnung, StfV**“, SR 814.012, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).
- [4] Schweizerische Eidgenossenschaft (2007), „**Nationalstrassenverordnung (NSV) vom 7. November 2007**“, SR 725.111, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).
- [5] Schweizerische Eidgenossenschaft (1979), „**Signalisationsverordnung vom 5. September 1979 (SSV)**“, SR 741.21, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).
- [6] Schweizerische Eidgenossenschaft (2002), „**Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse**“, SR 741.621, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).

## Weisungen

- [7] Bundesamt für Strassen ASTRA (2010), „**Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassen-netz**“, Weisungen ASTRA°74001, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)

## Richtlinien des ASTRA

- [8] Bundesamt für Strassen ASTRA (2008), „**Sicherheitsmassnahmen gemäss Störfallverordnung bei Nationalstrassen**“, Richtlinie ASTRA°19001, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [9] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**Umsetzung der Störfallverordnung auf den Nationalstrassen**“, Richtlinie ASTRA°19002, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [10] Bundesamt für Strassen ASTRA (2008), „**Lüftung der Strassentunnel**“, Richtlinie ASTRA°13001, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)

## Normen

- [11] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2004), „**Projektierung Tunnel - Grundlagen**“, Norm SIA 197.
- [12] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2004), „**Projektierung Tunnel - Strassentunnel**“, Norm SIA 197/2.

## Fachhandbücher des ASTRA

- [13] Bundesamt für Strassen ASTRA (2011), „**Fachhandbücher T/U - K- BSA - T/G, V2.00**“, Abteilung Strasseninfrastruktur I

## Dokumentationen des ASTRA

- [14] Bundesamt für Strassen ASTRA (2014), „**Risikokzept für Tunnel der Nationalstrassen - Methodik zur Ermittlung und Bewertung der Risiken in Tunneln**“, Dokumentation ASTRA 89005, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [15] Bundesamt für Strassen ASTRA (2014), „**Risikoanalyse für Tunnel der Nationalstrassen - Anwendungsbeispiel**“, Dokumentation ASTRA 89007, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA (2011), „**Gefahrguttransporte in Strassentunneln**“, Dokumentation ASTRA 84002, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [17] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**Umsetzung der Störfallverordnung auf den Nationalstrassen**“, Dokumentation ASTRA 89006, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [18] Bundesamt für Strassen (2009), „**Risikokzept Naturgefahren Nationalstrassen**“, Dokumentation ASTRA 89001, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)

**Berichte und weitere Grundlagen**

---

[19] Bundesamt für Strassen ASTRA (2011), „**Massnahmen und Terminplan zur Erfüllung der aktuellen Normen und Richtlinien in den schweizerischen Nationalstrassentunneln**“.

---



## Auflistung der Änderungen

| Ausgabe | Version | Datum      | Änderungen   |
|---------|---------|------------|--|
| 2014    | 1.10    | 15.02.2019 | Anpassung der Grenzkosten.   |
| 2014    | 1.01    | 07.04.2015 | Formelle Anpassungen.<br>Brandereignisrate in Abb. 8.1: Korrektur der Einheit in 1/Mrd.Fzg.km. |
| 2014    | 1.00    | 13.10.2014 | Inkrafttreten Ausgabe 2014 (Originalversion in Deutsch).                                       |

