

9. Risikoanalysen (Straße/Bahn/Schifffahrt)

9.1. Betriebsrisikoanalyse (ORA - Operational Risk Analysis)

Siehe auch Anlage 29, Anhang 7.

9.1.1. Allgemeine Vorgehensweise der Betriebsrisikoanalyse (ORA)

Die Vorhabenträger haben schon in einer frühen Phase des Projektes damit begonnen, durch Risikoanalysen die Sicherheit für Personen (Tunnelnutzer, Bedienstete, Dritte) und das Risiko eines Ausfalls der Tunnelinfrastruktur zu untersuchen. Diese Analysen sind in die sogenannte Betriebsrisikoanalyse (ORA - Operational Risk Analysis), d.h. eine für das Gesamtbauwerk der FBQ erstellte, quantitative Risikoanalyse, mit eingeflossen.

Der Zweck der Risikoanalyse ist, anhand eines Vergleichs mittels numerischer Berechnungen zu zeigen, dass mit der geplanten Tunnellösung alle Sicherheitsziele und somit die definierten Risikoakzeptanzkriterien für alle betrachteten Risikokategorien gewährleistet werden können. In diesem Zusammenhang bedeutet „akzeptabel“, dass das Risiko nicht die festgesetzten numerischen Risikoakzeptanzkriterien überschreitet.

Der Erstellung der ORA sind für den Betrieb von Tunneln

- die Anforderungen an die Durchführung von Risikoanalysen für den Betrieb von Straßentunneln nach EU-Richtlinie 2004/54/EC [8] und
- für Bahntunnel die Anforderungen der EU-Verordnung der Gemeinsamen Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken (CSM RA) [16]

zugrunde zu legen.

Die ORA erfüllt diese EU-Anforderungen sowohl für den Straßen- als auch für den Bahntunnel und dokumentiert, dass die geplante Lösung der Festen Fehmarnbeltquerung sicher ist und die einschlägigen Sicherheitsziele erreicht werden. Die Vorgehensweise der ORA wird nachstehend erläutert.

9.1.2. Hauptdokumente der Betriebsrisikoanalyse (ORA)

Die ORA-Betriebsrisikoanalyse der FBQ, besteht aus folgenden vier Hauptdokumenten (siehe Anhang 7):

1. „Betriebsrisikoanalyse (ORA)“,
(Zusammenfassendes Dokument der Risikoanalyseberechnungen,
Beschreibung der Input-Parameter)
2. „(ORA) Quantifizierte Risikoakzeptanzkriterien“,
(Erläuterung der verwendeten Risikoakzeptanzkriterien)
3. „ORA Unfallhäufigkeiten“,
(Berechnungen von Unfallhäufigkeiten/ Ereignisraten)

4. „Betriebsrisikoanalyse (ORA) - Querverweis zu den Anforderungen der Richtlinie 2004-54-EU bezüglich Risikoanalysen“,
(Überblick über die Querverweise zwischen den Mindestanforderungen der EU-Richtlinie im Hinblick auf Risikoanalysen und der Erfüllung dieser Anforderungen mit der Erstellung der Betriebsrisikoanalyse der FBQ (ORA))

9.1.2.1. Betriebsrisikoanalyse (ORA)

In dem Hauptdokument, Operational Risk Analysis, der Betriebsrisikoanalyse (ORA) werden alle Eingangsparameter für die Berechnung von Risikofaktoren für die einzelnen Risikokategorien aufgezählt und die numerischen Ergebnisse der spezifischen Risikoberechnungen im Einzelnen vorgestellt.

9.1.2.2. Quantifizierte Risikoakzeptanzkriterien

Ein weiteres Hauptdokument der Betriebsrisikoanalyse (ORA), legt die Kriterien zur Risikoakzeptanz, d. h. die Risikoakzeptanzkriterien zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus, fest. Das Dokument beschreibt die Art und Weise, wie die Risikoakzeptanzkriterien für die FBQ anhand internationaler und nationaler, externer Datengrundlagen definiert werden. Dabei werden Grenzwerte für die Personensicherheit (Benutzer, Bedienstete und Dritte) und für den Ausfall der Tunnelinfrastruktur (z. B. Sperrung des Tunnels durch Versagen der Tunneltechnik für den Straßen- und den Bahntunnel sowie für die Kombination beider Tunnelinfrastrukturen; Ereignisse, die beide Tunnel gleichzeitig betreffen oder zu einer Beeinflussung der jeweiligen Infrastrukturen führen) festgelegt.

9.1.2.3. Unfallhäufigkeiten oder Ereignisraten

Das dritte Hauptdokument der Betriebsrisikoanalyse (ORA) beschreibt und erläutert Unfallhäufigkeiten oder Ereignisraten für unterschiedliche Szenarien. Diese Zahlen gehen in die Berechnungen der Risikofaktoren ein und werden kontinuierlich überprüft und angepasst.

Außerdem wurden zu speziellen Themen ergänzende Risikoanalysen durchgeführt, um zu wichtigen Aspekten weitere vertiefte Risikoberechnungen anzustellen und damit die Ergebnisse der Betriebsrisikoanalyse (ORA) zu unterlegen. Hierzu sind zu nennen:

- Sicherer Bereich für den Eisenbahntunnel auf der Grundlage der geplanten „alternativen technischen Lösung“ (siehe Anhang 3).

Weitere detaillierte Untersuchungen fanden statt zu

- Risiken aus Schifffahrtsereignissen,
- Risiken aus Überflutungen,
- Risiken aus dem Transport gefährlicher Güter,
- Risiken bei Bränden der Tunneltechnik.

Die Ergebnisse dieser Unfallszenarien sind in die Gesamtberechnungen der ORA mit eingeflossen.

9.1.2.4. Querverweis zu den Anforderungen der Richtlinie 2004-54-EU bezüglich Risikoanalyse

Die EU-Richtlinie bezüglich der Mindestsicherheitsanforderungen in Straßentunneln verlangt das Erstellen einer Risikoanalyse, um ein ausreichendes Sicherheitsniveau hinsichtlich sicherheitsrelevanter Parametern im Straßenverkehr zu gewährleisten. Das vierte Hauptdokument der Betriebsrisikoanalyse (ORA) gibt einen Überblick über die Querverweise zwischen den Mindestanforderungen der EU-Richtlinie im Hinblick auf Risikoanalysen und der Erfüllung dieser Anforderungen mit der Erstellung der Betriebsrisikoanalyse der FBQ (ORA).

9.1.3. Schnittstelle zwischen der Betriebsrisikoanalyse und dem Tunneldesign

Wie oben erwähnt, haben die mit der Betriebsrisikoanalyse (ORA) erstellten Risikobewertungen bereits in einer frühen Projektphase begonnen, als erste Überlegungen zum Tunneldesign durchgeführt wurden. Dieser Bewertungsprozess wurde – und wird – während der gesamten Phase des Tunneldesigns analog zu dem Detaillierungsgrad der Planung kontinuierlich fortgesetzt. Mit den bisherigen jeweiligen Ergebnissen aus der Betriebsrisikoanalyse (ORA) wurde die Planung durch geeignete Maßnahmen so optimiert, dass das Betriebsrisiko die vorgegebenen Risikoakzeptanzkriterien nicht überschreitet.

Das Tunneldesign basiert auf den einschlägigen Vorgaben der EU-Richtlinien, internationalen und nationalen Standards sowie auf Erfahrungen aus anderen europäischen Tunnelprojekten.

9.1.4. Definition von Risikokategorien

Nachfolgend werden die Risikokategorien beschrieben, die in der Betriebsrisikoanalyse (ORA) untersucht wurden.

Allgemein wurden zwei Risikokategorien betrachtet:

- die Sicherheit für Personen
- der Ausfall des Tunnels infolge von Störungen über einen längeren Zeitraum

Es ist festzustellen, dass einige Risikokategorien sich nur auf den Straßentunnel, andere nur auf den Bahntunnel und wiederum andere auf beide zusammen beziehen. In dieser Vorgehensweise wird deutlich, dass die Tunnelkonstruktion als Gesamtheit betrachtet wurde, um auch gegenseitige Einflüsse von Ereignissen aus den Nachbarröhren hinsichtlich ihres Risikos bewerten zu können.

9.1.5. Risikoakzeptanzkriterien

Die verwendeten Risikoakzeptanzkriterien (auch Risikogrenzwerte genannt) wurden so festgelegt, dass die berechneten Risikofaktoren der FBQ mit den Risikoakzeptanzkriterien verglichen werden konnten.

9.1.5.1. Risikoakzeptanzkriterien Personensicherheit

Straßentunnel

Für den Straßentunnel definiert die EU-Richtlinie [8] die einzuhaltenden Mindestsicherheitsanforderungen, welche zum Teil jeweils durch Risikoanalysen nachgewiesen und erfüllt werden müssen. Die EU-Richtlinie selbst beinhaltet allerdings keine detaillierten Anforderungen im Hinblick auf die Methodik und den Detaillierungsgrad der durchzuführenden Risikoanalysen. In Dänemark ist daher gemeinsam mit der dänischen Straßenbehörde (Vejdirektoratet) ein Leitfaden für eine Methodik der Risikobewertung von dänischen Straßentunneln ausgearbeitet worden. Dieser Leitfaden erläutert, wie alle Anforderungen der EU-Richtlinie – auch generelle Grundlagen einer Risikoanalyse – zu erfüllen sind. Die international anerkannten PIARC-Empfehlungen werden in den dänischen Empfehlungen zu Risikoanalysen ebenfalls umgesetzt.

Die oben genannten Empfehlungen formulieren folgendes Hauptkriterium für Straßentunnel in Dänemark:

„Eine Fahrt durch einen Straßentunnel muss genauso so sicher sein wie eine Fahrt im Freien auf einer Straße gleichen Typs.“

Dieses Risikoakzeptanzkriterium wurde auch für den Straßentunnel der FBQ angewandt. D.h. die Datengrundlage hierfür sind die Unfallstatistiken der dänischen Autobahnen.

Die Statistiken von dänischen Autobahnen wurden mit gleichartigen Statistiken deutscher Autobahnen verglichen. Dieser Vergleich zeigt, dass die Zahlen für Dänemark und Deutschland sehr ähnlich sind. Die dänischen Statistiken ergeben allerdings geringere Unfallhäufigkeiten. Diese wurden deshalb als strengste Kriterien für den Fehmarnbelttunnel maßgebend gewählt.

Bahntunnel

Für den Bahntunnel wurden die Risikoakzeptanzkriterien aus der EU-Richtlinie 2012/226/EU [20] angewandt. Die Datengrundlage hierfür sind die Nationalen Referenzwerte (National Referenz Values NRV). Die NRV sind Statistiken von Unfalldaten im Bahnverkehr der EU-Mitgliedsstaaten. Als Risikoakzeptanzkriterien der FBQ wurden jeweils die striktesten Referenzwerte aus Deutschland und Dänemark verwendet. Die Risikoberechnung zur Personensicherheit für den Bahntunnel wird gemäß den europäischen Anforderungen in verschiedene Risikokategorien unterteilt. Die Begriffsbestimmungen dieser Risikokategorien erfolgen gemäß der Entscheidung 2009/460/EG.

9.1.5.2. Ausfall des Tunnels durch Störungen über einen längeren Zeitraum

Hinsichtlich des finanziellen Risikos berücksichtigen die einschlägigen Vorschriften keine Risikoakzeptanzkriterien für den Ausfall einer Tunnelinfrastruktur. Die in der Betriebsrisikoanalyse (ORA) verwendeten Kriterien basieren daher auf Erkenntnissen aus den Bestandsprojekten der Großen-Belt-Querung und der Öresund-Querung.

9.1.6. Beschreibung der Risikokategorien

Nachfolgend werden die Risikokategorien beschrieben, die bei der FBQ zur Anwendung kommen:

Risikokategorie Sicherheit:

Sicherheitsziel 1 (nur für die Straße)

Das Risiko für die **Nutzer des Straßentunnels** soll nicht über dem mittleren Risiko der Straßennutzer auf dänischen und deutschen, vierstreifigen Autobahnen liegen, die das gleiche Verkehrsaufkommen bei gleicher Länge haben.

Sicherheitsziel 2 (nur für die Bahn)

Die Risikogrenzwerte für **Fahrgäste** basieren auf den Nationalen Referenzwerten (National Referenz Values; NRV 1.1) von 2012/226/EU.

Sicherheitsziel 3 (nur Bahntunnel)

Die Risikogrenzwerte für **Bedienstete** (u. a. Triebfahrzeugführer, Kontroll- und Wartungspersonen) basieren auf den Nationalen Referenzwerten (National Referenz Values; NRV 2) von 2012/226/EU der EU-Kommission.

Sicherheitsziel 4 (nur Bahntunnel)

Berechnungen für die Risikokategorie **Benutzer von Bahnübergängen** kommen nicht zur Anwendung, da es keine Bahnübergänge gibt.

Sicherheitsziel 5 (nur Bahntunnel)

Die Risikogrenzwerte für **Sonstige Personen** (Dritte) basieren auf den Nationalen Referenzwerten (National Referenz Values NRV 4) von 2012/226/EU.

Sicherheitsziel 6 (nur Bahntunnel)

Die Risikogrenzwerte für **Unbefugte auf Eisenbahnanlagen** basieren auf den Nationalen Referenzwerten (National Referenz Values; NRV 5) von 2012/226/EU.

Sicherheitsziel 7

Aufgrund der Unterscheidung der Sicherheitsziele 4, 5 und 6 für den Bahnbereich wird auch für die Risikogruppe **Sonstige Personen** eine Trennung für den Straßenbereich und Bahnbereich vorgenommen.

Sicherheitsziel 8

Ein Risiko **für die Gesellschaft als Ganzes** wird von Beiträgen aus den einzelnen Sicherheitszielen 1 bis 7 zusammengesetzt, unter der Berücksichtigung der geschätzten Zahl der Toten und schwerer Verletzungen in den spezifischen Unfällen.

Risikokategorie Verkehrsunterbrechungen:

Sicherheitsziel 9

Das **Risiko von Störungen über einen längeren Zeitraum** wird gemessen in Ausfalltagen pro Jahr und dann umgewandelt in den wirtschaftlichen Schaden, der hierdurch entsteht gemessen in Euro pro Jahr

Sicherheitsziel 10

Das **Risiko für die Umwelt** wird bezogen auf eine Ölpest aufgrund aufgelaufener Schiffe und das Verlieren von Öl durch Züge im und außerhalb des Tunnels.

9.1.7. Ermittlung von Zahlen zur Risikoquantifizierung

Die ermittelten Risikoakzeptanzkriterien wurden auf die FBQ adaptiert, um die Akzeptanzkriterien für den Straßen- und Bahntunnel, sowie für das gesamte Bauwerk der FBQ zu definieren. Eingeflossen in die Berechnung für diese Risiken sind u. a. das gewählte Tunneldesign (Breite, Länge, Unterwassertunnel, Anzahl der Fahrspuren und Geschwindigkeit, Fahrzeugtypen etc.), die Verkehrsstärke der Straße und Bahn, die Anzahl von Gefahrguttransporten, Schifffahrtsdaten und die Anzahl von betroffenen Dritten. Die betrachteten Verkehrsmengen in der Betriebsrisikoanalyse (ORA) (Anhang 7) beziehen sich auf das Prognosejahr 2030.

Die berechneten Risikoakzeptanzkriterien bilden dabei den Ausgangswert, an dem alle Risiken der FBQ gemessen werden.

Die Ergebnisse zur Ermittlung der quantifizierten Risikoakzeptanzkriterien sind in den ORA-Hauptdokumenten ausführlich aufgeführt; (siehe auch Anhang 7, „(ORA) Quantifizierte Risikoakzeptanzkriterien“).

9.1.8. Unfallszenarien der Betriebsrisikoanalyse (ORA)

Folgende Unfallszenarien wurden in der Betriebsrisikoanalyse (ORA) berücksichtigt:

- Normale Straßenunfälle
- Unfälle mit Gefahrgütern im Straßentunnel
- Brandunfälle im Straßentunnel
- Mehrere gleichzeitige Unfälle im Straßentunnel

- Normale Zugunfälle
- Zugunfälle mit Gefahrgütern
- Brandunfälle im Bahntunnel
- Mehrere Zugunfälle gleichzeitig
- Straßen- und Zugunfälle gleichzeitig
- Sonstige Szenarien

Die oben genannten Szenarien wurden weiter aufgeteilt in spezifische Einzelszenarien für den Bahntunnel, den Straßentunnel und für beide Verkehrsträger in Kombination. Auch externe Einflüsse (Schiffahrt, Überflutung, Brand der technischen Ausrüstung, etc.) wurden in diversen Teilszenarien betrachtet (vgl. Anhang 7, „ORA Unfallhäufigkeiten“, Kap. 4 „Unfallszenarien“).

9.1.8.1. Gefahrgutunfälle im Straßen- und Bahntunnel

Um die Risikoberechnung für Gefahrguttransporte durch den Fehmarnbeltunnel getrennt nach Bahn und Straße zu ermitteln, wurden folgende verkehrliche Eingangsdaten verwendet:

- erwarteter Güterverkehr für die FBQ jeweils für Straße und Bahn gemäß der in der Betriebsrisikoanalyse (ORA) verwendeten Verkehrsprognose
- vorliegende Statistiken über die auf der Straße und mit der Bahn transportierten Gefahrstoffmengen und -typen
- vorliegende Unfallstatistiken im Zusammenhang mit Gefahrguttransporten getrennt für die Bahn und die Straße

Außerdem wurden die von der PIARC herausgegebenen Empfehlungen über typische Unfallszenarien und Gefahrgutstoffe bei Gefahrguttransporten zu Grunde gelegt [19].

Unfälle mit folgenden Gefahrgütern wurden für den Straßen- und Bahntunnel der FBQ dementsprechend berücksichtigt:

- Ammoniak
- Chloride
- Flüssiggas (LPG)
- brennbare Flüssigkeiten
- Explosionsstoffe
- Säuren- und Basen

Teilweise wurden die Unfälle anhand des Unfallausmaßes noch weiter unterteilt.

9.1.8.2. Brandunfälle

Szenarien bei Bränden im und außerhalb des Tunnels sind für Reise- und Güterzüge, Autos, Busse, sowie Lastwagen mit und ohne gefährliche Güter berechnet. Für all diese Unfälle sind die Szenarien unterteilt in Brände, die schnell gelöscht oder nicht unmittelbar gelöscht werden.

Alle Brandereignisse wurden jeweils in Szenarien unterteilt, die in einer frühen oder späteren Brandphase erkannt wurden. Für diese Kombinationen wurde außerdem jeweils berücksichtigt, ob die ausmaßmindernden Tunnelausrüstungen (z. B. die Lüftungsanlage) wie vorgesehen funktionieren oder ausfallen.

9.1.8.3. Unfälle mit mehreren gleichzeitigen Ereignissen

Die Szenarien für mehrere gleichzeitige Ereignisse werden berechnet für ein doppeltes Brandereignis, für einen Brand mit getrenntem Verkehrsunfall und für toxische Freisetzung in Kombination mit einem Unfall, der einen Stau verursacht.

In den Eisenbahnrohren wird die Belüftung nicht aktiviert werden, bevor die Selbstrettung/Evakuierung von Fahrgästen abgeschlossen ist. Daher werden keine Personen zwischen einem Brand und einem weiteren Unfall gefangen und somit nicht dem Risiko einer Rauchvergiftung ausgesetzt. Darüber hinaus wird auf der statistischen Grundlage angenommen, dass es äußerst selten ist, dass im Bahnbereich zwei unabhängige Unfälle zur gleichen Zeit geschehen. In der Betriebsrisikoanalyse (ORA) wurde dieser Fall deshalb nicht weiter untersucht.

9.1.9. Unfallhäufigkeiten

Alle Unfallhäufigkeiten werden so skaliert, dass sie insbesondere auf die Tunnelgeometrie, die Verkehrsstärke und -dichte ausgerichtet werden. Je nach der Verteilung des Verkehrs (Autos, Busse und Lastwagen oder Personenzüge und Güterzüge) lassen sich so Unfallhäufigkeiten für jeden Fahrzeugtyp finden.

9.1.10. Zusammenfassung der Ergebnisse der Betriebsrisikoanalyse (ORA)

Die Betriebsrisikoanalyse (ORA) wurde der Anlage 29 in deutscher Sprache als Anhang 7 beigelegt.

Die quantifizierten Risikoakzeptanzkriterien sind ausführlich in den ORA Hauptdokumenten beschrieben. Als Ergebnis werden diese Risikoakzeptanzkriterien in der ORA mit den für die FBQ berechneten Risikowerten tabellarisch gegenübergestellt. Alle Vergleiche zeigen, dass die Risikowerte der FBQ stets unter den Risikoakzeptanzkriterien liegen.

Dadurch wird unter Anwendung anerkannter Risikoanalyseverfahren aufgezeigt, dass die Feste Fehmarnbeltquerung betrieblich sicher ist und sichere Konstruktionen berücksichtigt. Die ORA zeigt weiterhin, dass das Unfallrisiko für Personen im Tunnel (Bahnreisende, Verkehrsteilnehmer, Mitarbeiter etc.) in allen untersuchten Szenarien unter den etablierten

Risikoakzeptanzkriterien liegt. Auch das Risiko für Störungen des Tunnelbetriebes ist akzeptabel und wird als gering eingeschätzt.

9.2. Ergänzende Risikoanalysen (Bahn)

9.2.1. Alternative technische Lösung

Der geplante Tunnel entspricht den Anforderungen nach TSI SRT [1] und der EBA Tunnelrichtlinie. Im Hinblick auf die bauliche Konstruktion des sicheren Bereichs (östliche Straßenröhre als sicherer Bereich erreichbar durch Notausgangstüren alle 110 m unter Verzicht auf Querschläge) wird eine Abweichung von der Standardlösung der TSI SRT (Querschläge zwischen Bahnröhren alle 500 m) als gleichwertige technische Lösung geplant. Derartige alternative technische Lösungen sind gemäß den genannten Regelwerken zulässig, insofern der Nachweis des gleichwertigen Sicherheitsniveaus mittels eines CSM-RA-Verfahrens (Common Safety Method) [16] erbracht werden kann. Auf dieser Nachweisgrundlage ist die Zustimmung der nationalen Sicherheitsbehörde zu der alternativen Lösung einzuholen.

Mit der Risikoanalyse Bahn (siehe Anhang 3, 3a-d, 5 und 6) wird für die aktuelle Planungsphase nachgewiesen, dass die gewählte bauliche Lösung der Bahntunnel der Festen Fehmarnbeltquerung das geforderte gleichwertige Sicherheitsniveau erreicht, welches die Standardlösung (Querschläge alle 500 m) für den sicheren Bereich gemäß TSI SRT und der EBA Tunnelrichtlinie bieten würde.

Folgende gleichwertige alternative technische Lösungen wurden geplant:

9.2.2. „Sicherer Bereich“ für Bahnreisende

(siehe auch Anlage 29 Kap.4.1.4)

Der Nachweis des geforderten Sicherheitsniveaus der TSI SRT[1] wird durch eine alternative technische Lösung erbracht, welche von der Standardlösung abweicht.

Anzumerken ist, dass bei der Festen Fehmarnbeltquerung der Abstand zwischen den Querschlägen mit ca. 110 m viel kürzer ist, als die in den Regelwerken geforderten max. 500 m.

Die EBA-Tunnelrichtlinie [5] verwendet die gleiche Definition eines sicheren Bereichs wie die TSI SRT:

1. überlebensfähige Umweltbedingungen (Atemluft, Rauch, Hitze)
2. Erreichbarkeit für begleitete und unbegleitete Personen
3. die Lage muss die Selbstrettung oder eine Evakuierung durch die Einsatzkräfte ermöglichen
4. Verfügbarkeit der Kommunikation mit der Verkehrsleitzentrale (LCC)

Darüber hinaus fordert die EBA-Tunnelrichtlinie Querschläge im max. Abstand von 500 m zwischen den Röhren mit Luftschleusen mit einer Mindestlänge von 12 m. Es wird angenommen, dass dies gefordert wird, um eine Rauchausbreitung zwischen der betroffenen und nicht betroffenen Tunnelröhre zu verhindern.

Für das Fehmarn-Design wurde deshalb eine ergänzende CFD-Analyse ([computational fluid dynamics = rechnergestützte Strömungsdynamik](#)) zur Rauchausbreitung zwischen den beiden Bahnrohren durchgeführt. Das Ergebnis zeigt, dass innerhalb der für eine Evakuierung benötigten Zeit nur eine unbedeutende Rauchausbreitung von der betroffenen zur nicht betroffenen Röhre stattfindet – auch wenn alle Notausgangstüren vollständig geöffnet sind. Daraus kann gefolgert werden, dass der Verzicht auf Luftschleusen zwischen den Bahnrohren nicht zu einer Risikohöherung für das Fehmarn-Tunnel-Design führt. Die oben genannten Ergebnisse wurden ohne aktiven Einsatz der im Bahntunnel installierten Längslüfter ermittelt. Es wurde jedoch entschieden, dass das Längslüftungssystem in der nicht von Brandfall betroffenen Bahnrohre unterstützend aktiviert wird. Die Längslüfter bauen dabei einen Überdruck in der nicht betroffenen Röhre im betroffenen Abschnitt auf, der den Rauchübertritt verhindert (siehe auch Anl. 29 [Kap. 6.3](#) und [Anhang 3, 3b](#)).

Die EBA-Tunnelrichtlinie geht davon aus, dass immer die benachbarte Bahnrohre der „Sichere Bereich“ ist. Dies ist auch beim Fehmarn-Tunnel-Design möglich. Für das ermittelte Worst-Case-Szenario wird jedoch der Seitenstreifen der angrenzenden Straßenröhre als „sicherer Bereich“ definiert. Der Grund hierfür ist, dass ein kombinierter Straßen-/Schienenverkehrstunnel im Gegensatz zum Bahntunnel eine viel schnellere und sicherere Rettung aus dem Straßentunnel ermöglicht.

Aufgrund der installierten Sicherheitssysteme [im Straßentunnel](#) und der geplanten Abläufe bei einer Evakuierung aus den Bahnrohren lässt sich feststellen, dass bei einer Evakuierung in den Straßentunnel (alternative Lösung) kein höheres Risiko für die flüchtenden Tunnelnutzer entsteht, als bei einem Brand in Tunnelrohren, welche alle 500 m durch Querschläge verbunden sind.

Die Risikoanalyse für den Bahnbereich der Festen Fehmarnbeltquerung ist lediglich für die Definition des „sicheren Bereichs“ (Seitenstreifen der östlichen Straßenröhre) für Bahnreisende bei einer Evakuierung im Tunnel notwendig, da hier die geplante Konstruktion eine alternative Lösung zu den geltenden Vorschriften darstellt.

Für die gewählte Tunnelkonstruktion der FBQ wird für den Bahnbereich nachgewiesen, dass eine Evakuierung aus einem Zug in die benachbarte und verkehrsfreie Bahnrohre („sicherer Bereich“) und weiter auf den Seitenstreifen der danebenliegenden Straßenröhre („sicherer Bereich“) mindestens eine gleiche Sicherheit bietet, wie die oben genannte Regellösung. Die Einsatzkräfte operieren dabei ebenfalls immer von der Straßenröhre aus.

Die entsprechende Risikoanalyse mit dem Nachweis der mindestens gleichwertigen Sicherheit wird im Rahmen des laufenden CSM-Verfahrens durchgeführt ([siehe Anlage 29 Anhang 3c](#)),

sowie durch die Benannte Stelle geprüft und durch eine Zwischenprüfbescheinigung vor der Planfeststellung bestätigt. Die Zwischenprüfbescheinigungen sind als Anhang 6 beigefügt.

9.2.3. Bergungskonzept

Untersucht wurde auch die Bergung eines im Tunnel havarierten Zuges. Die Bergung des Zuges hängt vom Zugtyp (Triebzug, Lok-Zug) ab. Generell sind hinsichtlich der Bergung die gleichen Betriebsverfahren anzuwenden, wie außerhalb des Tunnels. Der Zug kann entweder rückwärts aus dem Tunnel herausgezogen werden, oder er wird mit Hilfe eines Vorspanns (Lok oder Triebwagen) nach vorne aus dem Tunnel gezogen. Triebzüge (z. B. ICE) können eigenständig rückwärts aus dem Tunnel fahren.

Zur [signaltechnischen Sicherheit](#) sieht das [ETCS-Signalsystem](#) hierfür einen eigenen Betriebsmodus vor. Bei Güterzügen ist stets eine Vorspannlok zu bevorzugen.

Bei einer wenig wahrscheinlichen Entgleisung ist der Zug mit Hubhilfen wieder aufzugleisen, da Kräne im Tunnel nicht eingesetzt werden können.

9.2.4. Zugbetriebskonzept

Hinsichtlich des Zugbetriebs der Festen Fehmarnbeltquerung sollen zur zusätzlichen Minimierung des Risikos im Bahnverkehr nicht mehr als drei Züge gleichzeitig eine Tunnelröhre befahren. Die Häufigkeiten von Zügen im Tunnel wurden anhand eines künftigen realistischen Fahrplanszenarios ermittelt. [Basis waren die vorliegenden Zugzahlen \(siehe Kap. 3.1.2\).](#)

Der Fall von drei Zügen gleichzeitig in einer Röhre tritt für dieses Modellszenario nicht ein. Im Regelfall ist nur ein Zug unterwegs. Zwei Züge kommen nur mit einer Häufigkeit unter 5 % vor. Als Ergebnis dieser Risikoanalyse wird festgestellt, dass durch den Betrieb aller Züge mit dem Signalsystem ETCS Level 2 das [Train Traffic Control Centre \(TCC\) in Kopenhagen](#) jederzeit in der Lage ist, den Zuglauf risikominimierend zu steuern (siehe auch Anl. 29 Anhang 3).

9.3. Risiko-Analysen (Schifffahrt)

9.3.1. Bauwerkseinflüsse verursacht durch extreme, äußere Lasten

9.3.1.1. Lastfall Ankerwurf und geschleppter Anker:

Zur Bemessung der Ankerschutzschicht und der Tunneldecke wurden die Ankergrößen und Ankermassen der verkehrenden Schiffe ermittelt. Für Wassertiefen < 10 m wurde ein Ankergewicht von 11 Tonnen und für Tiefen > 10m von 16,2 Tonnen verwendet. Die Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass eine 1,20 m dicke, elastische Schutzschicht auf der Tunneldecke ausreichend ist.

9.3.1.2. Lastfall sinkendes Schiff

Ähnlich, wie für die Lastfälle Ankerwurf wurde für diesen Fall ein mögliches Szenario angenommen und ein Lastfall für ein sinkendes Schiff ermittelt, welches auf der Tunneldecke aufliegt. Aus der Häufigkeitsanalyse des Schiffverkehrs und der Art der Schiffe wurde eine max. statische Last von 110 KN/m² bestimmt, für die die Tunneldecke bemessen wurde. Bis zu dieser Lasteinwirkungen können weder Dauerschäden noch Ablösungen verursacht werden.

10. Schlussbemerkung

Die Ergebnisse der Risikoanalysen zeigen eindeutig, dass die Feste Fehmarnbeltquerung für die Tunnelnutzer ein hohes Sicherheitsniveau bietet, welches konform mit den gültigen Vorschriften und Richtlinien ist.

Die Sicherheitsdokumentation für den Straßen- und Bahntunnel der Festen Fehmarnbeltquerung wird in der Verantwortung der jeweiligen Tunnelmanager richtlinienkonform erstellt.

Auch für den Bahntunnel mit seinen Schnittstellen zum benachbarten Straßentunnel liegt eine formelle Erstbewertung als Zwischenprüfbescheinigung zur Tunnelsicherheit seitens der Benannten Stelle (NoBo) vor (siehe Anhang 6).

Anhangsverzeichnis

- Anhang 1 [Der Anhang 1 wurde vollständig entfernt.](#)
- Anhang 2 Überprüfung der Einhaltung des Designs des Femern A/S Eisenbahn Transportsystems mit der TSI-SRT (2008/163/EG), der EBA Tunnelrichtlinie und der EBO (Querverweistabelle erstellt von Femern A/S)
- [Anhang 3](#) Sicherheit im Eisenbahntunnel – Risikoanalyse von Notfallszenarien – Abschlussbericht neue Version 3D (RAT 6729-321-3D). [Autor: Rambøll, Arup, Tec \(RAT\) v. 16.07.2014.](#)
[Das Dokument ist erstellt unter Berücksichtigung der TSI SRT 2008/163/EG. Ergänzende Untersuchungen dazu:](#)
- [Anhang 3a](#) Sicherheit im Eisenbahntunnel – Ergänzende Analyse zu den Fluchtzeitberechnungen Anl.2 zur TN Nr. RAT 6729-321-3D, [Autor: Rambøll, Arup, Tec \(RAT\) v. 16.04.2015](#)
- [Anhang 3b](#) Sicherheit im Eisenbahntunnel – Ergänzende Analyse des sicheren Bereichs – Druckregelung_ Anl.3 zur TN Nr.: RAT 6729-321-3D, [Autor: Rambøll, Arup, Tec \(RAT\) v. 16.04.2015](#)
- [Anhang 3c](#) Feste Fehmarnbeltquerung Eisenbahninfrastruktur Sicherer Bereich im Eisenbahntunnel, Gutachten nach der gemeinsamen Sicherheitsmethode (CSM-RA Verordnung); Referenz: 2012 QTL 79 RV_FBFL_02, [Autor RINA vom 27.06.2014](#)
- [Anhang 3d](#) Anhang zur RAT 6729-321-3D; Sicherheit im Eisenbahntunnel – Aktualisierte Verkehrsprognose; (RAT 6729-330-D Supplement to RAT 6729-321-3), vom 19.12.2015
- Anhang 4 [Der Anhang 4 wurde vollständig entfernt.](#)
- Anhang 5 FBQ Maßnahmen und Zeitvorgaben für die Bekämpfung von Zugbränden_Rev.1 0 _de von Femern A/S
- Anhang 6 Zwischenprüfbescheinigungen RINA Services S.p.A. für die Teilsysteme:
- Sicherheit in Eisenbahntunneln
 - Infrastruktur
 - Energie
 - Streckenseitige Zugsteuerung/Zugsicherung und Signalgebung
- [Anhang 6a](#) [Zwischenprüfbescheinigung-Nr. 0474/8/SH2/14/SRT/EN DE/2012 QTL 79](#)

Anhang 6b Bescheinigung über die Konformität mit der Vorschrift TSI SRT 2008/163/EG – Absatz 4.2.2.6.5 und 4.2.2.6.1, Bescheinigungs-Nummer: 2014/SC/SRT/EN DE/2012 QTL 79; Fassung: Planungsphase: „Genehmigungsplanung für Planfeststellungsantrag“, für die Aspekte der „Sicherheit Eisenbahn in Tunneln“.

Anhang 7 Betriebsrisikoanalyse (ORA)
RAT 64233-002
Autor: Rambøll, Arup, Tec (RAT) vom 03.06.2016

11. Literaturverzeichnis

[1]	Technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich „Sicherheit in Eisenbahntunneln“ im konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystem TSI - SRT CR Fassung 2014 (1303/2014/EU) vom 18.11.2014
[2]	Technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich „Infrastruktur“ im konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystem TSI INS CR Fassung 2014 (1299/2014/EU) vom 18.11.2014
[3]	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität bezüglich „Energie“ TSI ENE Fassung 2014 (1301/2014/EU) vom 18.11.2014
[4]	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität bezüglich „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“, TSI CCS, 2012/88/EU vom 25.1.2012 ; Änderungsbeschlüsse zu TSI CCS sind (EU) 2015/14 vom 5.1.2015, und 2012/696/EU
[5]	Eisenbahn-Bundesamt „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunnel“ Stand 1.07.2008. EBA
[6]	Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an Planung, Bau und Betrieb von Schienenwegen nach AEG (Freie Strecke) (Stand 7.12.12). EBA
[7]	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung EBO (Stand 25.07.2012). EBA
[8]	Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz, ABIL 167 vom 30.04.2004, S. 39 - 91; berichtigte Fassung ABI. L 201 vom 07.06.2. EU
[9]	Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Ausgabe 2006; FGSV-Verlag, Köln, 2006 (eingeführt durch Allgemeines Rundschreiben Straßenbau (ARS)10/2006 vom 27.04.2006). FGSV
[10]	Leitfaden für Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln gemäß RABT 2006 (Abschnitt 0.5), Stand 31.03.2009, BMVBS/BASSt. BMVBS/BASSt

[11]	Leitfaden zur Erstellung einer Sicherheitsdokumentation gemäß RABT 2006 (Abschnitt 1.1.5); Entwurf vom 16.11.2009 (Kap. Gesamtsicherheitskonzept). BAST
[12]	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität bezüglich der „Zugänglichkeit des Eisenbahnsystems der Union für Menschen mit Behinderungen und Menschen mit eingeschränkter Mobilität“, TSR PRM, (1300/2014/EU) vom 18.11.2014
[13]	Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) (Stand 28.05.2015)
[14]	Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union TSI LOC&PAS 1302/2014 EU vom 18.11.2014
[15]	Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union TSI OPE, Ergänzung 2015/995/EU vom 8.6.2015
[16]	Durchführungsverordnung über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken CSM-RA, (EU) Nr. 402/2013
[17]	RICHTLINIE 2008/57/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, vom 17. Juni 2008, über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft
[18]	Regelung zur Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter RID 19.RIDÄndV.v. 31.10.2014
[19]	Transport von Gefahrgütern durch Straßentunnel; OECD/PIARC Projekt ERS2 1997-2001.
[20]	Beschluss der Kommission über die zweite Reihe gemeinsamer Sicherheitsziele für das Eisenbahnsystem; 2012/226/EU v. 23.04.2012