

Kunde  
**Femern A/S**

Dokumententyp  
**Ramboll-Arup-TEC Bericht**

Datum  
**August 2013**



**Entfällt**

**RABT-VERGLEICH**  
**ABSCHLUSSBERICHT**



**RABT-VERGLEICH  
ABSCHLUSSBERICHT**

Revision **3**  
Datum **2013-08-20**  
Erstellt von **Jørn Tredal, Nick Troth, Frank Ørbech Pedersen,  
Søren Randrup-Thomsen**  
Geprüft von **Jørn Tredal/Søren Randrup-Thomsen**  
Genehmigt von **Klavs Munch Koefoed**  
Beschreibung **Risikovergleich von RAT- und RABT-Entwurf im Falle  
von Unfällen**

Ref.: RAT 6729-204

ATR RAT72-03-30

## INHALT

<b>1.</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
2.1	Verfahren für den Risikovergleich	1
<b>3.</b>	<b>Systembeschreibung – RAT- und RABT-Entwurf</b>	<b>4</b>
3.1	Allgemeiner Entwurf	4
3.2	RAT-Entwurf	4
3.3	RABT-Entwurf	4
<b>4.</b>	<b>Normale Unfälle</b>	<b>5</b>
4.1	Einleitung	5
4.2	Vergleichsverfahren	5
4.3	Ausgangsparameter	5
4.4	Vergleichsergebnisse für normale Unfälle	6
<b>5.</b>	<b>Brände</b>	<b>8</b>
5.1	Einleitung	8
5.2	Bewertungsverfahren	8
5.3	Szenarien	8
5.4	Auswahlprozess	11
5.5	Häufigkeitsanalyse	12
5.6	Folgenanalyse	14
<b>6.</b>	<b>Risikovergleichsergebnisse</b>	<b>31</b>
6.1	Voraussichtliche Zahl von Todesfällen pro Jahr	32
6.2	F-N-Kurven	34
<b>7.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>37</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>38</b>



## 1. ZIELSETZUNG



Rambøll-Arup-TEC (RAT) hat die Entwurfsplanung des Fehmarnbelttunnels und einen Entwurf gemäß den deutschen RABT 2006, Ref. 2, einer Vergleichsstudie unterzogen.

Das vorliegende Dokument enthält eine Zusammenfassung der Berechnungen, Analysen und Ergebnisse des Vergleichs und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen.

Diese Revision ist eine Überarbeitung der Version 2, in welcher die Risikoberechnungen anhand der Verkehrsprognosen für die Jahre 2018 und 2038 durchgeführt wurden. Diese Revision beinhaltet Risikoberechnungen für das Prognosejahr 2025.

Für die konservative Betrachtung wurde darüberhinaus die Berechnungen (Anzahl der Personen im Tunnel im Falle eines Unfalls) für das Prognosejahr 2038 beibehalten.

## 2. EINLEITUNG

Die Entwurfsplanung der Festen Fehmarnbeltquerung erfolgt gemäß europäischen und dänischen Normen. Im Vergleich zu den verbindlichen Anforderungen in den deutschen RABT 2006 bestehen aber bestimmte Abweichungen, beispielsweise der Einsatz einer Brandlüftung in Längsrichtung im Gegensatz zu einer gesonderten Rauchabzugsanlage gemäß RABT.

Um entscheiden zu können, ob diese Abweichungen die Sicherheit im Tunnel beeinflussen, wurde ein Vergleich der Unfallgefahr bei Verwendung des bestehenden Entwurfs und Verwendung eines Entwurfs gemäß RABT durchgeführt.

Es sei darauf hingewiesen, dass die RABT für Straßentunnels gelten und daher die Vergleichsstudie ausschließlich Sicherheitsfragen für den Straßentunnel behandelt.

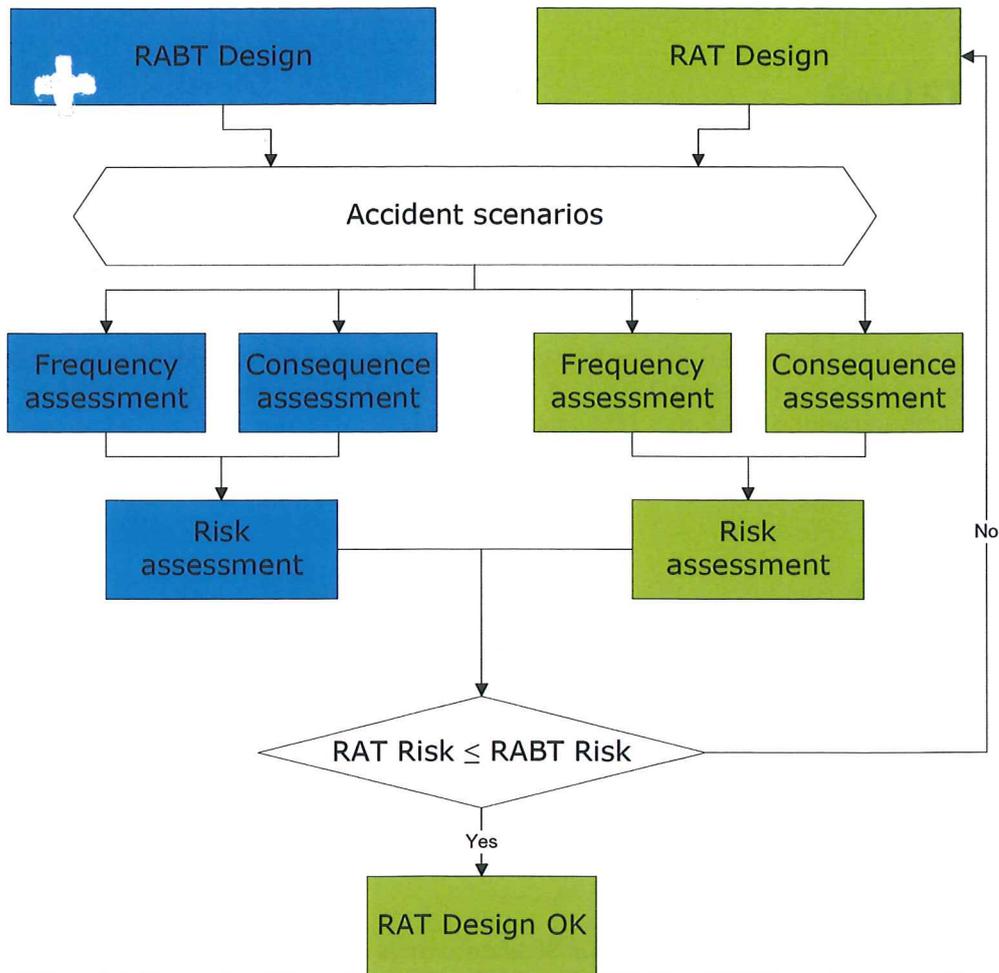
### 2.1 Verfahren für den Risikovergleich

In mehreren Gesprächen mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde ein Verfahren für den Vergleich der beiden Entwürfe vereinbart. Es wurde das Verfahren des risikobasierten Vergleichs für die Untersuchung verwendet, ob die Entwurfsplanung (nachfolgend als „RAT-Entwurf“ bezeichnet) das gleiche Risiko oder ein geringeres Risiko als das Risiko eines Entwurfs gemäß den verbindlichen RABT-Anforderungen (nachfolgend als „RABT-Entwurf“ bezeichnet) birgt.

Es handelt sich um einen relativen Risikovergleich zwischen den beiden Entwürfen, der ausschließlich Unfallszenarien berücksichtigt, bei denen Risikomerkmale (Unfallhäufigkeit und/oder Unfallfolgen) zwischen den beiden Entwürfen voneinander abweichen. Die Risikoberechnungen, die im vorliegenden Bericht dargestellt sind, gelten daher nur für diesen speziellen Zweck.

Die Analyse beider Entwürfe erfolgt mit den Verfahren, die in „Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln“, B66, November 2007 [1], beschrieben sind. Dies bedeutet, dass die Vergleichsanalyse normale Unfallszenarien und Brandszenarien beinhaltet. Unfälle mit gefährlichen Gütern sind in einem gesonderten Bericht beschrieben.

Das Verfahren für den Vergleich von Risiken, die mit den beiden Entwürfen verbunden sind, ist in Abbildung 2-1 beschrieben.



<b>RABT Design</b>	<b>RABT-Entwurf</b>
<b>RAT Design</b>	<b>RAT-Entwurf</b>
<b>Accident scenarios</b>	<b>Unfallszenarien</b>
<b>Frequency assessment</b>	<b>Häufigkeitsabschätzung</b>
<b>Consequence Assessment</b>	<b>Folgenabschätzung</b>
<b>Risk assessment</b>	<b>Risikobewertung</b>
<b>RAT Risk</b>	<b>RAT-Risiko</b>
<b>RABT Risk</b>	<b>RABT-Risiko</b>
<b>Yes</b>	<b>Ja</b>
<b>RAT Design OK</b>	<b>RAT-Entwurf in Ordnung</b>

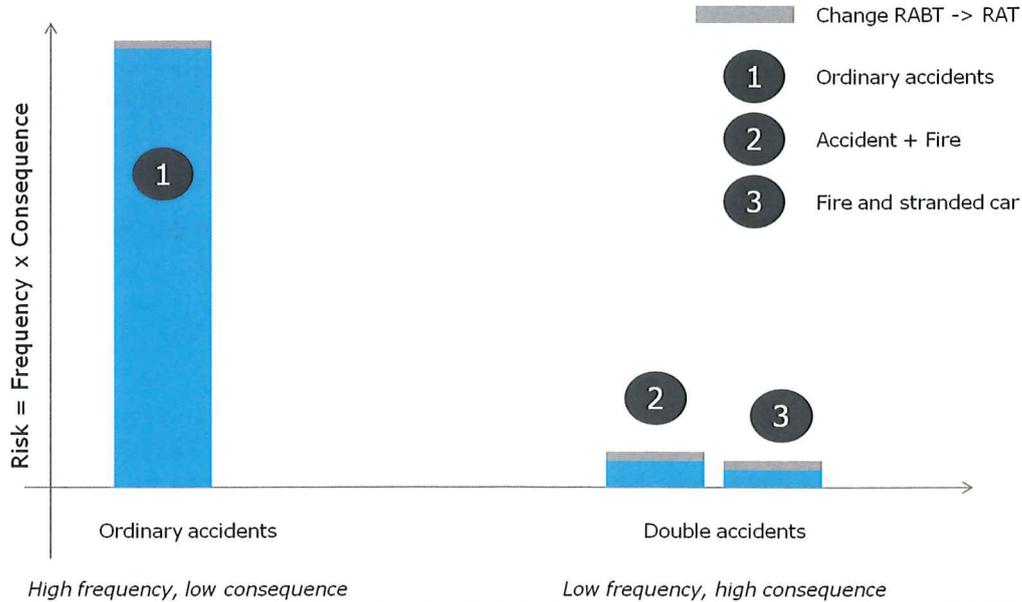
**Abbildung 2-1 RAT/RABT-Risikovergleich**

In Abbildung 2-1 ist zu erkennen, dass das Risiko aus der Abschätzung von Unfallhäufigkeit und -folgen abzuleiten ist. Die Ausgangsparameter für diese Abschätzungen entsprechen ebenfalls B66 [1].

Das Schema zeigt ebenfalls, dass das Ergebnis einer Anzahl von Unfallszenarien vom gewählten Entwurf abhängen und daher zu verschiedenen Häufigkeiten und/oder Folgen und somit zu verschiedenen Risiken führen kann.

Der Risikovergleich zwischen den beiden Entwürfen wurde nachfolgend in normale Unfälle und Brände gemäß B66 [1] unterteilt.

Auf normale Unfälle sind die meisten - mehr als 99% - Risiken zurückzuführen gemäss Betriebsrisikoanalyse [3]. Daher beinhaltet das Vergleichsverfahren die Berechnung von kleinen und großen Risikobeiträgen wie nachfolgend dargestellt.



Risk = ...	Risiko = Häufigkeit x Folgen
Ordinary accidents	Normale Unfälle
Double accidents	Zwei Unfälle
Change RABT -> RAT	Änderung RABT -> RAT
Accident + Fire	Unfall + Brand
Fire + stranded car	Brand + liegengebliebenes Fahrzeug
High frequency ...	Große Häufigkeit, geringe Folgen
Low frequency ...	Geringe Häufigkeit, schwere Folgen

**Abbildung 2-2 RAT/RABT-Risikovergleichsszenarien**

In Abbildung 2-2 ist dargestellt, dass der Vergleich für eine Auswahl von Szenarien erfolgt. Die Auswahl der Szenarien und der Vergleich für normale Unfälle und Brände sind in den folgenden Abschnitten beschrieben:

- Beschreibung des allgemeinen Entwurfs und Kriterien des spezifischen RAT- und RABT-Entwurfs
- Beschreibung von Risikoberechnungen für normale Unfälle
- Auswahl von Brandszenarien für Vergleich und Berechnung des Risikos für Brandszenarien



## **3. SYSTEMBESCHREIBUNG – RAT- UND RABT-ENTWURF**

### **3.1 Allgemeiner Entwurf**

Die Systembeschreibung ist an den Stellen, an denen RAT- und RABT-Entwurf nicht voneinander abweichen, allgemein gehalten. Die beiden Entwürfe weisen folgende wesentliche gemeinsame Merkmale auf:

- Länge des Tunnels 18,1 km
- Jede Straßenröhre umfasst zwei Fahrstreifen und einen durchgehenden Standstreifen. Der normale Querschnitt weist eine Gesamtbreite von 11,05 m auf.
- Höhe der Tunnelröhre 5,2 m
- Stets Verkehr in einer Richtung

### **3.2 RAT-Entwurf**

Für 2025 wird ein durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen von etwa 11.700 Fahrzeugen im Tunnel erwartet. Da es sich um einen Tunnel außerhalb eines städtischen Gebiets handelt, folgt das Verkehrsaufkommen nicht dem üblichen Stoßzeitenmuster im Pendlerverkehr, sondern es ist eine gleichmäßigere Verteilung über den Tag zu erwarten. In Kombination mit einem leistungsfähigen Verkehrsleitsystem ist zu erwarten, dass Staus in den Tunnelröhren zu vermeiden sind, es sei denn, es tritt der relativ seltene Fall von zwei Unfällen gleichzeitig auf, bei dem eine Reihe von Fahrzeugen zwischen den beiden Unfällen eingeschlossen werden.

Insbesondere in folgenden Punkten ist eine Abweichung von den Bestimmungen in RABT [2], festzustellen, die im Vergleichsverfahren zu berücksichtigen sind:

- Abstand zwischen Notausgängen etwa 110 m
- Entrauchung in Längsrichtung über gleichmäßig verteilte Ventilatoren

### **3.3 RABT-Entwurf**

Ein RABT-konformer Entwurf, wie er für die vorliegende Vergleichsanalyse verwendet wird, weist folgende Hauptmerkmale auf (es sind ausschließlich Merkmale aufgeführt, die vom RAT-Entwurf abweichen):

- Tunnelbreite 9,5 m (kein durchgehender Standstreifen)
- Abstand zwischen Notausgängen 300 m
- Punktuelle Rauchabzüge alle 2.000 m – kombiniert mit Lüftung in Längsrichtung

Das Verkehrsaufkommen ist bei einem Stadttunnel in Deutschland üblicherweise wesentlich höher als beim Fehmarnbelttunnel. Für den Vergleich des Szenarios normale Unfälle wird ein durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen von 70.000 Fahrzeugen angesetzt.



## 4. NORMALE UNFÄLLE

### 4.1 Einleitung

Gemäß B66 [1] muss die Risikoanalyse eine Analyse von normalen Unfällen beinhalten, d. h. Fahrzeugkollisionen ohne Brandentwicklung.

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse der Vergleichsanalyse von normalen Unfällen in der geplanten Festen Fehmarnbeltquerung (RAT-Entwurf), die besondere Merkmale aufweist, und einem Tunnel gemäß den RABT-Anforderungen bezüglich des Risikos durch normale Verkehrsunfälle dargestellt.

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich um einen relativen Vergleich zwischen verschiedenen Entwürfen handelt, der nicht mit der Betriebsrisikoanalyse für die Feste Fehmarnbeltquerung zu vergleichen ist.

Die folgenden Abschnitte enthalten nähere Hinweise zu den Ausgangsdaten und zu den Ergebnissen des Vergleichs von RAT- und RABT-Entwurf.

### 4.2 Vergleichsverfahren

Der Risikovergleich erfolgt durch Untersuchen der Planungsforderungen, Betriebsregeln und Prognosen für die Feste Fehmarnbeltquerung (RAT-Entwurf), um Abweichungen zwischen RAT- und RABT-Entwurf zu ermitteln.

Gemäß RABT sind eine zulässige Geschwindigkeit von 80 km/h und eine Geschwindigkeit von 100 km/h für spezifische Entwurfsoptimierungen wie beispielsweise Standstreifen vorgesehen. Daher wird der RAT-Entwurf mit 100 km/h mit dem RABT-Entwurf mit 100 km/h verglichen.

Anschließend erfolgt ein Vergleich der Anzahl von Unfällen pro Jahr, die jeweils im entsprechenden Entwurfsfall (RAT bzw. RABT) zu erwarten ist. In B66 [1] wird eine Unterteilung der Unfallszenarien in mehrere Teilszenarien empfohlen. Für den Zweck des Vergleichs scheint es aber ausreichend, sich auf die Gesamtunfallhäufigkeit zu beschränken.

Eine Reihe von Ausgangsparametern bestimmt die berechnete Anzahl von Unfällen pro Jahr. Einige Ausgangsparameter sind mit dem spezifischen Entwurf und den Verkehrsmustern verknüpft, während die Unfallhäufigkeit für beide Entwurfsfälle direkt B66 [1] entnommen wurde.

### 4.3 Ausgangsparameter

Die Anzahl der voraussichtlichen Unfälle pro Jahr  $N_{\text{Unfälle pro Jahr}}$  wird mit folgender Formel berechnet:

$$N_{\text{annualaccidents}} = f \cdot l \cdot ADT \cdot 365$$

Dabei gilt:

$f$	Unfallhäufigkeit [Unfälle pro Fahrzeugkilometer pro Jahr]
$AADT$ ( $DTV$ )	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (average daily traffic) [Anzahl der Fahrzeuge pro Tag]
$l$	Länge des Tunnels [km]

Mit Unfallhäufigkeit, Verkehrsaufkommen und Länge des Tunnels verknüpfte Ausgangsparameter definieren somit die voraussichtliche Anzahl an Unfällen pro Jahr. Diese sind nachfolgend beschrieben.

#### 4.3.1 Unfallhäufigkeiten

Im Bericht „Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln“, B66 [1], ist ein Verfahren zur Durchführung von Risikoanalysen gemäß RABT [1] beschrieben. Im Bericht sind Häufigkeiten für verschiedene Arten von Tunnelunfällen dargestellt. Diese Zahlen dienen als gemeinsame Grundlage für beide Tunnelentwürfe. Die Unfallhäufigkeiten für Tunnels mit und ohne Zubringer-/Ausfahrtstraßen sind in Tabelle 4-1 dargestellt.

Tunneltyp	Tunnel mit Zubringer-/Ausfahrtstraßen	Tunnel ohne Zubringer-/Ausfahrtstraßen
Einbahn-Tunnel	$5,28 \cdot 10^{-7}$	$2,28 \cdot 10^{-7}$

**Tabelle 4-1 Unfallhäufigkeit gemäß RABT**

Die Häufigkeiten hängen u. a. von Einbahnverkehr und Zubringer- bzw. Ausfahrtstraßen ab. Der Tunnel der Festen Fehmarnbeltquerung ist ein Tunnel mit Einbahnverkehr ohne Zubringer- oder Ausfahrtstraßen und somit wird eine Häufigkeit von  $2,28 \cdot 10^{-7}$  Unfällen pro Fahrzeugkilometer angesetzt. Diese Zahl wird für den RAT- und den RABT-Entwurf angesetzt.

#### 4.3.2 Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV)

Gemäß Anlage 26.1 wird im Jahr 2025 mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke von 11.700 Fahrzeugen ausgegangen. Diese Zahl wird beim Vergleich von normalen Unfällen verwendet.

Für einen normalen Tunnel gemäß RABT ist ein DTV von 70.000 Fahrzeugen pro Tag anzusetzen.

#### 4.3.3 Länge des Tunnels

Der Fehmarnbelttunnel ist 18,1 km lang. Ein normaler Tunnel gemäß RABT ist 3 km lang.

#### 4.4 Vergleichsergebnisse für normale Unfälle

Die Anzahl der Unfälle pro Jahr wird durch Anwendung der voraussichtlichen Ausgangsparameter auf die im vorhergehenden Abschnitt dargestellte Formel berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-2 dargestellt.

Parameter	RABT	RAT
Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) [Anzahl der Fahrzeuge pro Tag]	70.000	11.700
Unfallhäufigkeit <i>f</i> [Unfälle pro Fahrzeugkilometer]	$2,28 \cdot 10^{-7}$	$2,28 \cdot 10^{-7}$
Länge des Tunnels <i>l</i> [km]	3	18,14
<b>Anzahl der Unfälle pro Jahr <math>N_{\text{Unfälle pro Jahr}}</math></b>	<b>17,5</b>	<b>17,7</b>

**Tabelle 4-2 Berechnete Anzahl von Unfällen pro Jahr**

Es ist zu erkennen, dass die berechnete Anzahl von Unfällen pro Jahr beim RABT-Entwurf gleich hoch ist als beim RAT-Entwurf. Somit ist davon auszugehen, dass der Tunnel der Feste Fehmarnbeltquerung mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h genauso sicher ist wie ein Tunnel gemäß RABT.

## 5. BRÄNDE

### 5.1 Einleitung

In diesem Abschnitt sind die Beschreibungen und Vergleichsanalyse für Bränden dargelegt.

- Verfahren
- Beschreibung von Unfallszenarien
- Auswahl von Unfallszenarien für die Folgenmodellierung
- Unfallhäufigkeiten
- Unfallfolgen

Es sei darauf hingewiesen, dass die Studie lediglich eine vergleichende Bewertung darstellt, die ausschließlich für den Zweck des Vergleichs von Entwurfsplänen gültig ist und nicht als Bewertung von absoluten Werten.

### 5.2 Bewertungsverfahren

Der Risikovergleich für Brände erfolgt durch Untersuchen der Planungsforderungen, Betriebsregeln und Prognosen für die Feste Fehmarnbeltquerung (RAT-Entwurf), um Abweichungen zwischen RAT- und RABT-Entwurf zu ermitteln, die sich ggf. auf mit Bränden verknüpfte Unfälle auswirken.

Offensichtlich ist der für Brandszenarien entscheidende Unterschied zwischen RAT und RABT mit den unterschiedlich entworfenen Lüftungsanlagen verknüpft. Im Normalbetrieb weichen die Folgen eines einzelnen Brands bei den beiden Entwürfen nicht voneinander ab, da das geringe Verkehrsaufkommen (DTV) und das IVS sicherstellen, dass alle Fahrzeuge hinter einem Brand den Tunnel ungehindert verlassen können.

Somit bleiben nur in Fällen, bei denen das Verlassen des Tunnels nicht möglich ist, im Tunnel hinter dem Brand Personen in ihren Fahrzeugen. Dies kann in folgenden Fällen eintreten:

- 1) Ein normaler Unfall im Tunnel führt zur Staubildung vor der Unfallstelle und anschließend zu einem Unfall am Stauende mit Brandentwicklung.
- 2) Ein Fahrzeug bleibt im Tunnel liegen und zum gleichen Zeitpunkt bildet sich ein Brand vor dem liegegebliebenen Fahrzeug.

Für beide Fallszenarien sind verschiedene Variablen mit Auswirkung auf die endgültigen Folgen und somit ein Satz von Kombinationen (Szenarien) zu berücksichtigen. Diese sind nachfolgend beschrieben.

### 5.3 Szenarien

Brandszenarien können auf unterschiedlichste Weisen auftreten und werden durch viele Variablen beeinflusst, die letztendlich auf das Risikoniveau des Tunnels einwirken. Durch das Kombinieren verschiedener Werte für diese Variablen kann eine große Anzahl von Ereignisszenarien entwickelt werden. Eine detaillierte Bewertung aller Szenarien ist nicht möglich. Daher wurden einige Szenarien für detaillierte Studien in einem Auswahlprozess ausgewählt, der in Abschnitt 5.4 beschrieben ist.

Für die Entwicklung der Szenarien kamen folgende Schlüsselvariablen zur Anwendung:

- Art des Störfalls
  - Störfall mit einem Fahrzeug und Brand
  - Zweifacher Störfall (ein Unfall und anschließend ein davon unabhängiger einzelner Brand). Zwei Situationen werden betrachtet: Brand vor einer punktuellen Absaugung gemäß RABT (Absaugung befindet sich 55 m hinter dem Brand) oder Brand hinter der punktuellen Absaugung gemäß RABT.

- Liegegebliebenes Fahrzeug (ein Fahrzeug bleibt hinter dem Brand liegen). Zwei Situationen werden betrachtet: Fahrzeug bleibt 1.000 m oder 2.100 m hinter dem Brand liegen.
- Maximale Brandgröße (5, 30, 50 oder 100 MW)
- Ausfall oder Nichtausfall der Notbelüftung

Dadurch ergeben sich 40 unterschiedliche Szenarien (8 für einzelne Störfälle, 16 für zweifache Störfälle und 16 für liegegebliebene Fahrzeuge) für jeweils den RAT- und den RABT-Entwurf, insgesamt also 80 Szenarien.

Die Folgen eines Brands können somit durch Erstellen eines Ereignisbaums zusammengefasst werden, der ein Ursprungsereignis gefolgt von einer Reihe von Verzweigungen gemäß B66 [1] umfasst. Nachfolgend ist eine Szenarienübersicht dargestellt.

Ort des Störfalls	Verkehrsmuster	Unfallart	Zustand der Brandlüftung	Brandgröße
Brand im Portalbereich / innerhalb des Tunnels	Fließender Verkehr	Einzelner Störfall	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
				Brand mit 100 MW
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
				Brand mit 100 MW
		Liegegebliebenes Fahrzeug 1.000 m hinter einer Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
				Brand mit 100 MW
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
				Brand mit 100 MW
		Liegegebliebenes Fahrzeug 2.100 m hinter einer Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
				Brand mit 100 MW
Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW			
	Brand mit 30 MW			
	Brand mit 50 MW			
	Brand mit 100 MW			

+	Stau	Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung vor der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 100 MW
				Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
		Lüftung außer Betrieb	Brand mit 100 MW	
			Brand mit 5 MW	
			Brand mit 30 MW	
			Brand mit 50 MW	
	Stau	Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung 55 m hinter der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW
				Brand mit 30 MW
				Brand mit 50 MW
				Brand mit 100 MW
		Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	
			Brand mit 30 MW	
			Brand mit 50 MW	
			Brand mit 100 MW	

**Tabelle 5-1 Brandszenarien**

Die Verzweigung des Ursprungsereignisses entspricht der Darstellung in B66[2]. Es ist darauf hinzuweisen, dass der zweifache Störfall durch einen normalen Unfall gefolgt von einem Unfall mit Brand am Stauende verursacht wird. So wird dieser Störfall auch in der Folgenanalyse modelliert (siehe Abschnitt 5.6). Bei der Berechnung der Häufigkeit spielt es allerdings keine Rolle, welches der beiden Ereignisse zuerst eintritt.

In den folgenden Abschnitten werden die Ausgangsdaten für die verschiedenen oben genannten Verzweigungen behandelt.

### 5.3.1 Brand

Die Häufigkeit von Bränden im Tunnel basiert auf den Zahlen in B66[1] und berücksichtigt ebenfalls das Verhältnis von Kollisionen, die zu einem Brand führen, und Bränden aufgrund von technischen Defekten am Fahrzeug. Dies entspricht einer Ausgangsbrandhäufigkeit von 0,39 Bränden pro Jahr.

In den RABT wird von einer Brandentwicklungsgeschwindigkeit von 60 s ausgegangen. Daher wurde die Verwendung dieser Brandentwicklungsgeschwindigkeit in der Vergleichsstudie für sinnvoll erachtet.

### 5.3.2 Unfallarten

Wie zuvor beschrieben werden folgende Unfallarten berücksichtigt:

- o Störfall mit einem Fahrzeug und Brand

- Zweifacher Störfall (ein Unfall und anschließend ein davon unabhängiger einzelner Brand). Zwei Situationen werden betrachtet: Brand vor einer punktuellen Absaugung gemäß RABT (Absaugung befindet sich 55 m hinter dem Brand) oder Brand hinter der punktuellen Absaugung gemäß RABT.
- Liegegebliebenes Fahrzeug (ein Fahrzeug bleibt hinter dem Brand liegen). Zwei Situationen werden betrachtet: Fahrzeug bleibt 1.000 m oder 2.100 m hinter dem Brand liegen.

Der einzelne Störfall wird zu illustrativen Zwecken eingeschlossen. Bei einem einzelnen Brand wird es im normalen Verkehrsstrom zu keinen Unterschieden für RAT- und RABT-Entwurf kommen.

Der zweifache Störfall und der Fall eines Brands mit einem liegegebliebenen Fahrzeug werden aufgrund der Tatsache berücksichtigt, dass diese Szenarien verschiedene Folgen haben. (Die Lüftungskonzepte im RAT- und RABT-Entwurf sind verschieden.)

### 5.3.3 Lüftung

Da die Zahl der Todesfälle durch Brände aufgrund verschiedener Lüftungskonzepte unterschiedlich sein kann, muss berücksichtigt werden, ob die Lüftungsanlage in Betrieb ist oder nicht. Wenn die Lüftungsanlage in Betrieb ist, hängen die Folgen von anderen Sicherheitsvorkehrungen wie beispielsweise Notausgängen ab.

### 5.3.4 Brandgrößen

Kleine Brände treten natürlich häufiger auf als große Brände. Große Brände haben aber schwerere Folgen. Gemäß Betriebsrisikoanalyse[3] sind über 96 % der Risiken auf kleine Brände, d. h. Brände mit einer Wärmeabgabe von weniger als 10 MW, zurückzuführen. Solche Brände stellen nicht notwendigerweise eine Gefahr für Fahrzeuginsassen dar.

Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Brand zu verschiedenen Brandgrößen entwickelt, ist gemäß B66 [1] berücksichtigt:

- 5 MW: 90 %
- 30 MW: 9,9 %
- 50 MW: 0,09 %
- 100 MW: 0,01 %

## 5.4 Auswahlprozess

Bei einem vollständigen Vergleich müssten insgesamt 80 Szenarien analysiert werden. Viele Szenarien zeigen bei den beiden Entwurfsfällen keine Unterschiede oder haben keine bzw. nur unwesentliche Folgen. Aus diesem Grund und aufgrund der Tatsache, dass die CFD-Berechnungen für ein einziges Szenario äußerst zeitaufwendig sind, wurden einige Szenarien für die CFD-Analyse ausgewählt. Die Auswahl beruhte auf folgenden Kriterien:

- Die signifikantesten Szenarien (Risikobeitrag) sind zu berücksichtigen.
- Die Szenarien müssen sich für RAT und RABT wesentlich unterscheiden.
- Die Szenarien, für die ein RAT-Entwurf ggf. ungeeignet ist, sind zu berücksichtigen.

Folglich wurde die Vergleichsstudie für **drei** der möglichen Brandszenarien durchgeführt, die oben beschrieben sind. Dabei handelt es sich um folgende Szenarien:

- Brand mit 5 MW – Brandentwicklungsgeschwindigkeit von 60 s bei zwei Störfällen
- Brand mit 30 MW – Brandentwicklungsgeschwindigkeit von 60 s bei zwei Störfällen
- Brand mit 100 MW – Brandentwicklungsgeschwindigkeit von 60 s bei zwei Störfällen

Zuvor wurde ein weiteres Szenario (100 MW, Lüftung außer Betrieb) analysiert und die Ergebnisse wurden berücksichtigt. Somit wurden insgesamt vier CFD-Berechnungen für jeden

Entwurf (RAT/RABT) durchgeführt, die eine bestimmte Todesfallzahl für jedes der berücksichtigten Szenarien ergaben.

Für die restlichen nicht durch CFD-Berechnungen analysierten Szenarien wurden Gesamtschätzungen der Todesfallzahlungen durchgeführt. Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich um äußerst grobe Schätzungen handelt, bei denen die Todesfallzahlen lediglich in fünf Klassen unterteilt wurden:

- Gering: 0-2 Todesfälle
- Gering/mittel: 2-10 Todesfälle
- Mittel: 10-50 Todesfälle
- Mittel/hoch: 50-100 Todesfälle
- Hoch: >100 Todesfälle

## 5.5 Häufigkeitsanalyse

Die auf der Grundlage von Abbildung 2-2 modellierten Ereignisbäume dienen der Bewertung der jährlichen Häufigkeiten der 40 Szenarien.

Die folgende Tabelle enthält die jährliche Brandzahl und die verschiedenen Störfallwahrscheinlichkeiten. Für jeden Parameter erfolgt ein Verweis auf B66 [1].

Nr.	Parameter	Einheit	Wert	Quelle
1	Kollisionsrate	1/Fahrzeug x km	2,28E-07	<b>B66, S. 21</b>
2	Länge des Tunnels	km	18,14	
3	Verkehrsaufkommen (DTV in 2025)	Fahrzeuge/Tag	11700	
<b>4</b>	<b>Anzahl der Kollisionen pro Jahr</b>	<b>1/Jahr</b>	<b>17,7</b>	
5	Anzahl der Kollisionen mit Brandentwicklung	[ ]	0,30%	<b>B66, S. 30</b>
6	Zahl der Brände aufgrund von Kollisionen	1/Fahrzeug x km	6,84E-10	
7	Zahl der Brände aufgrund von technischen Defekten	1/Fahrzeug x km	3,00E-09	<b>B66, S. 30</b>
<b>8</b>	<b>Jährliche Brandzahl</b>	<b>1/Fahrzeug x km</b>	<b>3,68E-09</b>	
<b>9</b>	<b>Anzahl der Brände pro Jahr</b>	<b>1/Jahr</b>	<b>0,39</b>	
10	Zahl von sich schnell entwickelnden Bränden	[ ]	5%	<b>Schätzung (für beide Entwürfe gleich)</b>
<b>11</b>	<b>Anzahl der sich schnell entwickelnden Brände pro Jahr</b>		<b>1,97E-02</b>	
13	Länge des Portals, Deutschland	km	0,1	<b>B66, S. 31</b>
14	Länge des Portals, Dänemark	km	0,1	<b>B66, S. 31</b>
15	Gesamtlänge der Portale (= 13 + 14)	km	0,2	
<b>16</b>	<b>Anteil des Portalbereichs</b>	<b>[ ]</b>	<b>1,09%</b>	
17	Wahrscheinlichkeit von zwei Störfällen		1,81E-05	
18	Wahrscheinlichkeit eines liegengebliebenen Fahrzeugs		3,15E-03	
<b>19</b>	<b>Wahrscheinlichkeit eines einzelnen Störfalls</b>		<b>9,97E-01</b>	

**Tabelle 5-1 Parameter für die Abschätzung der Unfallszenario-Häufigkeiten**

Es ist darauf hinzuweisen, dass das angesetzte Verkehrsaufkommen für RAT- und RABT-Entwurf den prognostizierten Werten für 2025 entspricht (siehe Betriebsrisikoanalyse [3]).

Ferner wird in den RABT [2] von einer Brandentwicklungsgeschwindigkeit von 60 s bis zur maximalen Brandgröße ausgegangen. Da Brände unterschiedliche Brandentwicklungsgeschwindigkeiten aufweisen, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass nur ein Teil der Gesamtzahl von Bränden diese schnelle Brandentwicklungsgeschwindigkeit aufweist. Der angesetzte Teil wird sowohl auf RAT als auch auf RABT angewendet und stellt daher lediglich eine Skalierung der resultierenden Brandhäufigkeit dar.

**5.5.1 Zwei Unfälle**

Das Szenario mit zwei Störfällen wird unter den folgenden Annahmen bewertet:

1. Ein großer Unfall tritt ein (Unfall mit Staubildung hinter der Unfallstelle).
2. Die Fahrzeuge stauen sich auf, bis der Tunnel gesperrt wird.
3. Am Stauende ereignet sich ein Unfall.
4. Der zweite Unfall führt zu einem Brand.

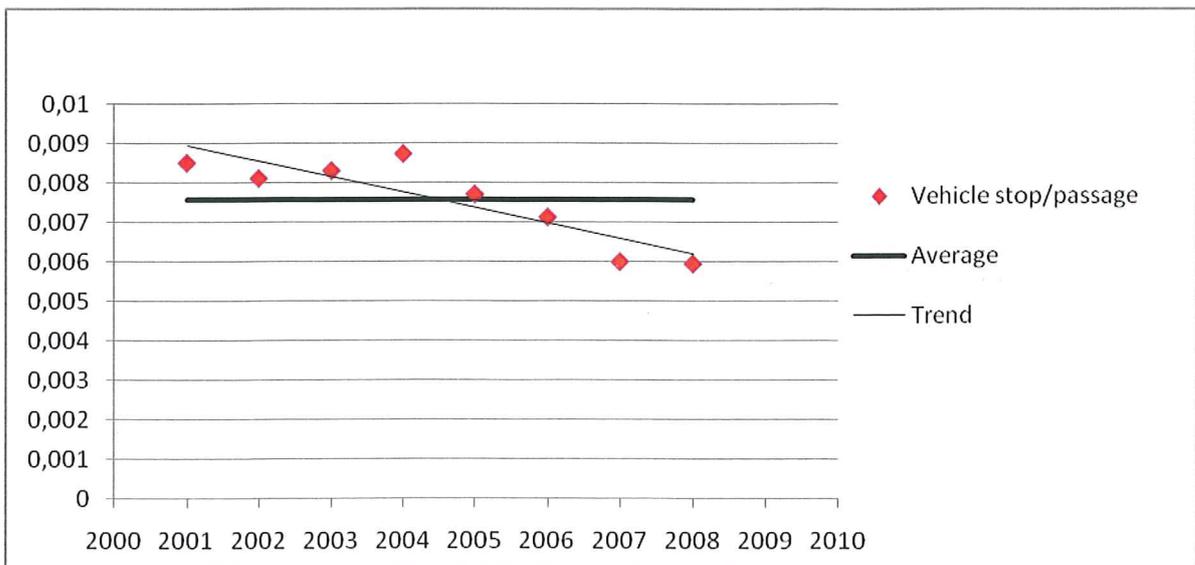
Die Berechnungen beruhen wiederum auf den Unfallhäufigkeiten und Brandzahlen von B66 [1].

**5.5.2 Liegegebliebene Fahrzeuge**

Die Wahrscheinlichkeit eines Störfalls durch ein liegegebliebenes Fahrzeug wird unter folgenden Annahmen bewertet:

1. Ein Unfall mit Brandentwicklung ereignet sich.
2. Ein Fahrzeug bleibt hinter dem Brand liegen.
3. Das liegegebliebene Fahrzeug befindet sich in der gleichen Röhre wie der Brand.

Die Brandhäufigkeit beruht auf B66 [1]. Die Wahrscheinlichkeit von liegegebliebenen Fahrzeugen beruht auf Beobachtungen im dänischen Öresundtunnel über einen Zeitraum von acht Jahren unter Berücksichtigung von Verkehrsstrom und Länge des Tunnels. Die Zahlen sind nachfolgend dargestellt.



<b>Vehicle stop/passage</b>	<b>Fahrzeug Stopp/Durchfahrt</b>
<b>Average</b>	<b>Mittel</b>
<b>Trend</b>	<b>Trend</b>

**Abbildung 5-2 Zahl der liegengebliebenen Fahrzeuge im Öresundtunnel**

Der Mittelwert über diesem Zeitraum von acht Jahren wird auf die Berechnungen angewendet, was die Häufigkeit von liegengebliebenen Fahrzeugen gemäß Tabelle 5-1 ergibt.

**5.5.3 Zusätzliche Wahrscheinlichkeitsannahmen**

Schließlich wurden mehrere Annahmen bezüglich weiterer Verzweigungen getroffen. Die Zahlen sind für den Vergleich irrelevant, da sie auf beide Entwurfscfälle angewendet werden. Sie seien aber zur Information aufgeführt.

Variable	Wert	Wahrscheinlichkeit
Ort des Auftretens von zwei Störfällen	Punktuelle Absaugung vor Unfall	50 %
	Punktuelle Absaugung 55 m hinter dem Brand	50 %
<b>Gesamt</b>		<b>100 %</b>

**Tabelle 5-2 Verteilung der möglichen Orte von zwei Störfällen**

Variable	Wert	Wahrscheinlichkeit
Art des Störfalls mit einem liegengebliebenen Fahrzeug	Liegengebliebenes Fahrzeug 1.000 m hinter einem Brand	50 %
	Liegengebliebenes Fahrzeug 2.100 m hinter einem Brand	50 %
<b>Gesamt</b>		<b>100 %</b>

**Tabelle 5-3 Verteilung der möglichen Orte von Störfällen mit liegengebliebenen Fahrzeugen**

Variable	Wert	Wahrscheinlichkeit
Notbelüftung	Lüftung außer Betrieb	1 %
	Lüftung in Betrieb	99 %
<b>Gesamt</b>		<b>100 %</b>

**Tabelle 5-4 Verteilung der möglichen Zustände der Notbelüftung**

**5.6 Folgenanalyse**

**5.6.1 Entwurfsparameter**

Zum Durchführen der Vergleichsstudie mussten die Tunnelentwurfsparameter für RABT- und RAT-Entwurf mit der Anzahl von Fahrzeugen/Insassen in der entsprechenden Zone berücksichtigt werden. Die modellierte Länge des RAT-Tunnels für den Zweck der Analyse wurde durch die RABT-Entwurfsanforderungen bestimmt. Die Gesamtentwurfsparameter sind in Tabelle 5-5 für RABT und RAT dargestellt.

Es ist zu beachten, dass die Berechnungen auf Verkehrsschätzungen für das Jahr 2038 beruhen, wonach die geschätzte durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (AADT) 16.113 Fahrzeuge pro Tag beträgt. Das entspricht 336 Fahrzeugen pro Stunde in jede Richtung. Im Jahr 2025 beträgt die geschätzte Verkehrsstärke (AADT) 11.700 Fahrzeuge pro Tag, also 244 Fahrzeuge pro Stunde in jede Richtung. Die Verkehrsschätzungen für das Jahr 2038 liefern somit eine konservative Schätzung für die Unfallbetrachtung.

Parameter	RAT-Entwurf	RABT-Entwurf
Breite des Tunnels	11 m einschließlich vollwertiger Standstreifen	9,5 m ohne Standstreifen zugunsten von Haltebuchten
Höhe des Tunnels	5,2 m	5,2 m
Länge des Tunnels zum Zweck der Brandmodellierung	2.500 m	2.500 m
Modellierte Brandgrößen	5 MW, 30 MW, 100 MW	5 MW, 30 MW, 100 MW
Brandentwicklungsgeschwindigkeit	Zeit bis zur maximalen Wärmeabgabe 60 s	Zeit bis zur maximalen Wärmeabgabe 60 s
Detektionszeit	Durch AID-System – Annahme von 30 s	5 MW, 6 m/s + 60 s 60 s bei sich schnell entwickelnden Bränden
Alarmierungs- und Reaktionszeit (Menschen in Brandnähe)	0 s (gemäß BAST)	0 s (gemäß BAST)
Fortbewegungsgeschwindigkeit der Insassen	1,3 m/s (gemäß RABT)	1,3 m/s (gemäß RABT)
Abstand zwischen Notfallstationen	50 m	150 m
Abstand zwischen Ausgängen	110 m	300 m
Ausgangsluftgeschwindigkeit im Tunnel bei 336 Fahrzeugen pro Stunde	1 m/s	1 m/s
Zeit bis zum Anlaufen der Notbelüftung	30 s (Detektionszeit)	60 s (Detektionszeit)
Zeit zwischen Anlaufen der Lüftung und Erreichen der vollen Drehzahl der Ventilatoren bzw. Regelung auf kritische Geschwindigkeit	60 s	60 s
Kritische Geschwindigkeit für Ventilatoren	3 m/s	3 m/s
Abstand zwischen punktuellen Absaugungen gemäß RABT	n. z.	2.000 m
Absaugungsrate gemäß RABT (basierend auf 9,5 x 5,2 m x-Querschnitt x 3 +1,5 m/s)	n. z.	220 m <sup>3</sup> /s
Zahl von Fahrzeugen pro Stunde in 2038	336	336
Angenommene Tunneldurchfahrtszeit	12 min	12 min
Tunnelsperrzeit	12 min (konservativ)	12 min (konservativ)
Fahrzeuganteile	Pkw: 81 % Busse: 1 % Schwerlastwagen: 17,6 % Gefahrguttransport: 0,4 %	Pkw: 81 % Busse: 1 % Schwerlastwagen: 17,6 % Gefahrguttransport: 0,4 %
Durchschnittliche Insassen pro Fahrzeug	2,64	2,64
Nicht vertretbare Bedingungen	< 5 m Sicht	< 5 m Sicht

**Tabelle 5-5 Modellierungsparameter**

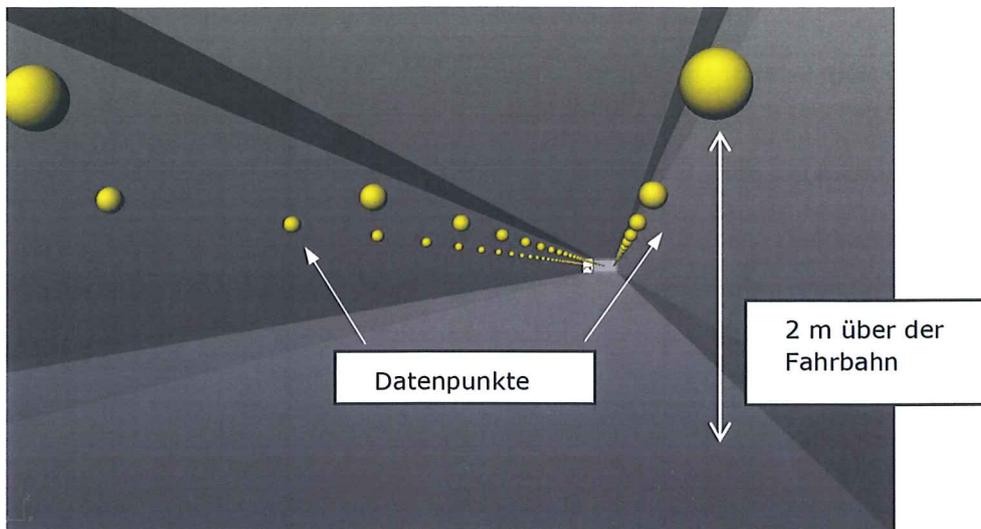
### 5.6.2 Folgenmodellierung und Berechnungsverfahren

Für die Analyse wurden Computational-Fluid-Dynamic-(CFD-)Modelle verwendet. Diese CFD-Modelle ermöglichen ein Analysieren der RAT- und RABT-Szenarien, bei denen für die meisten Menschen Risiken bestehen. In der Gesamtrisikoaanalyse stellen diese Szenarien jedoch sehr seltene Ereignisse mit geringer Wahrscheinlichkeit dar. Diese Szenarien beruhen auf folgenden Annahmen:

- Brandentwicklung bis zur maximalen Wärmeabgabe in 60 s (gemäß RABT).

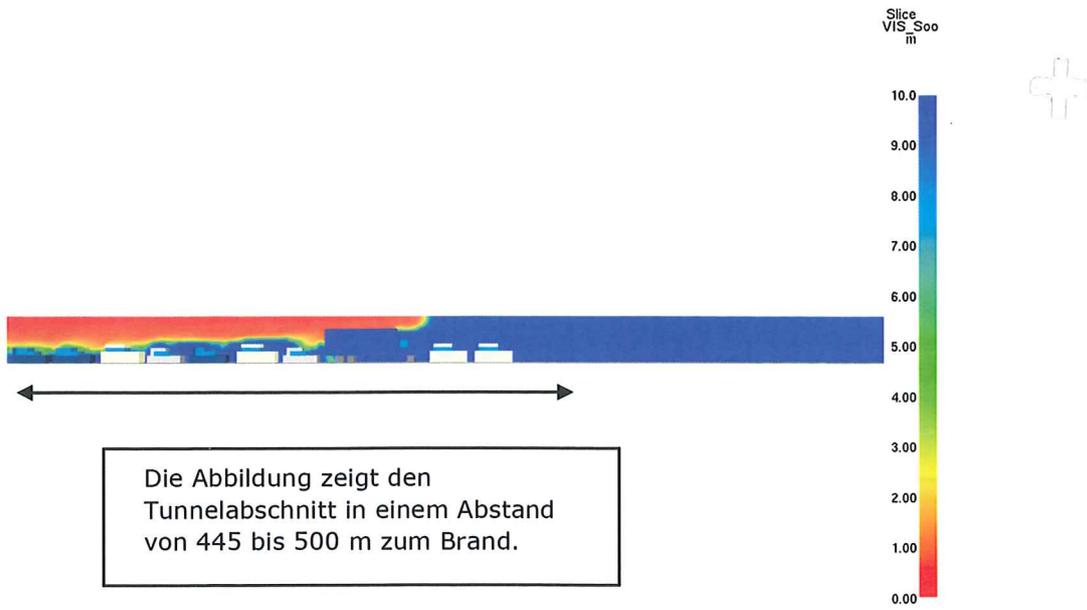
- Zwei Störfälle: Fahrzeugstau von 530 m hinter dem ersten Kollisionsunfall und ein Brand am Stauende.
- Notbelüftung in Betrieb
- Keine Brandbekämpfung durch Personen im Tunnel oder feste Brandbekämpfungssysteme

Die Tunnelmodellierung für die RAT- und RABT-Szenarien erfolgte mit dem gleichen Verfahren wie im Konzeptbericht über die Brandbekämpfungsstrategie [RAT\_6724-001-J Bericht über die Brandbekämpfungsstrategie] beschrieben. Es wurde Fire Dynamics Simulator (FDS) Version 5.5.3 verwendet. Die Modellierung berücksichtigte die relevanten Tunnelmerkmale beider Entwürfe (siehe Tabelle 5-5). Die Modelle untersuchten die Sicht in Abschnitten von 10 m über die gesamte Länge des Tunnels. In jedem 10-m-Abschnitt wurden drei Punkte über die Breite in einer Höhe von 2 m über dem Tunnelboden verteilt. Diese drei Punkte wurden zur Ermittlung der Sicht in diesem 10-m-Abschnitt gemittelt. Die Punkte dienen zur Ermittlung der Vertretbarkeit über die gesamte Länge des Tunnels.

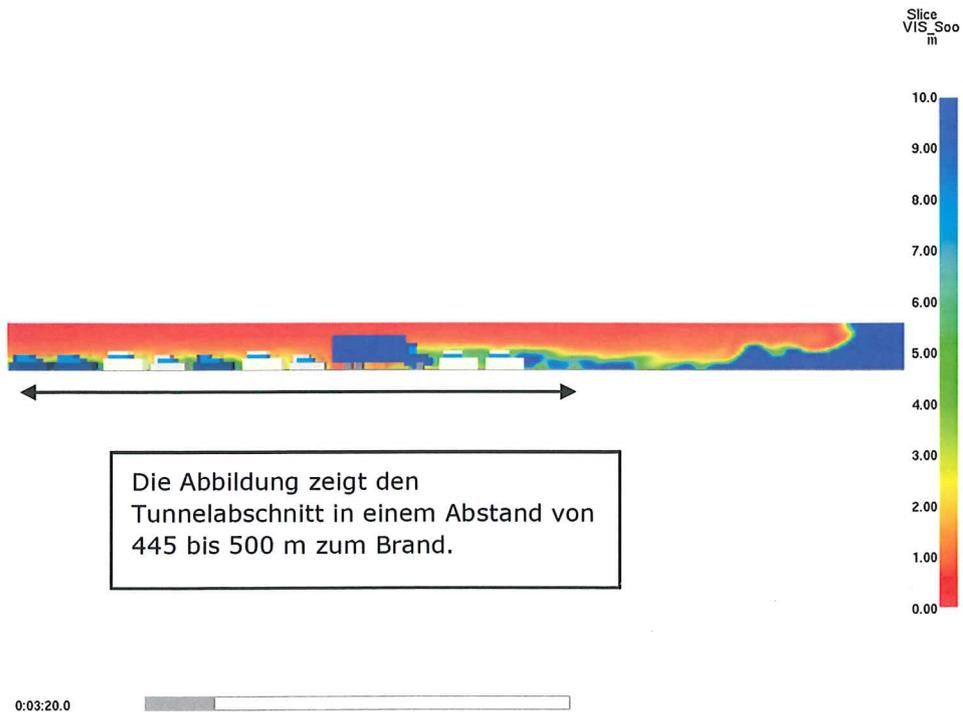


Die CFD-Modellierung erzeugt eine Anzahl von Datenergebnissen. Primäres Ergebnis ist die Verdunklung durch Rauch (Sicht). In den Bewertungen wird am Punkt, bei dem eine Sicht von weniger als 5 m gegeben ist, von nicht vertretbaren Bedingungen ausgegangen. Diese Daten werden mit Zeit und Position im Tunnel extrapoliert.

Einige Ergebnisse der FDS-Analyse sind nachfolgend exemplarisch dargestellt.

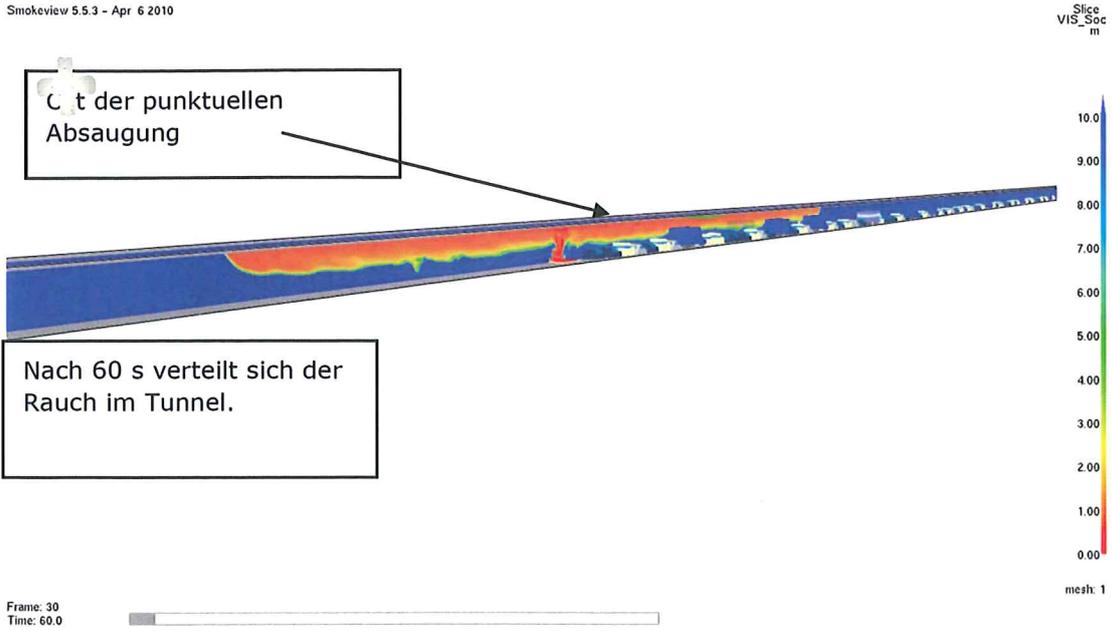


**Abbildung 5-3 RAT-Sichtergebnis in einem Abstand von 500 m zum Brand nach 3 min. Im RAT-Entwurf blasen Ventilatoren den Rauch vom Brandherd weg. Nach 3 min tritt Rauch in einem Abstand von 500 m zum Brand auf.**



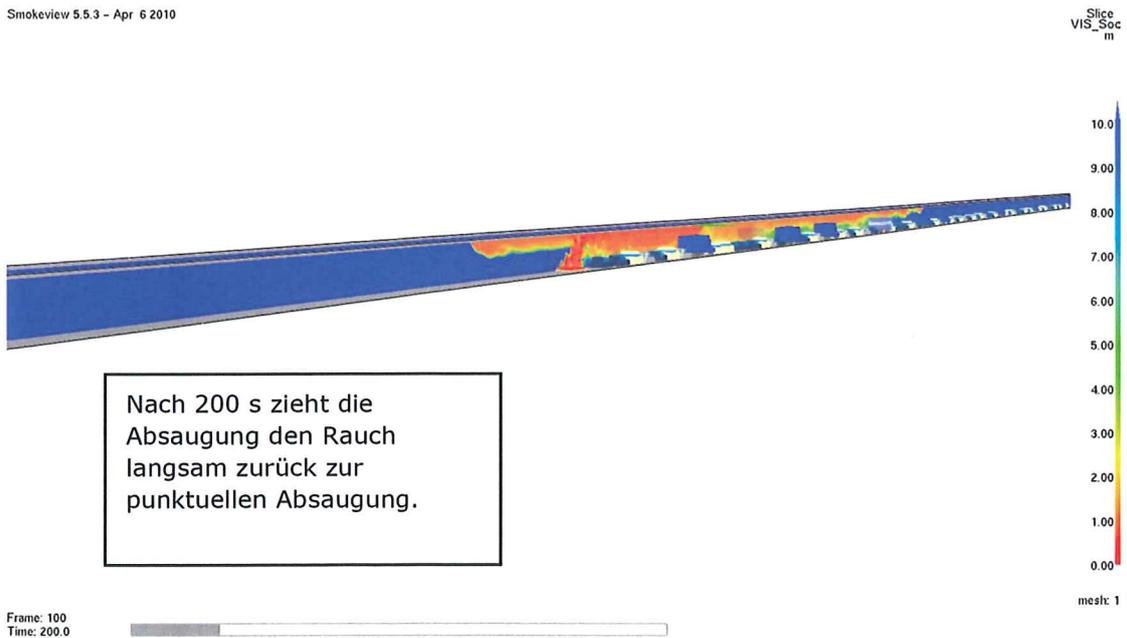
**Abbildung 5-4 RAT-Sichtergebnis in einem Abstand von 500 m zum Brand nach 3 min und 20 s. Nach 3 min 20 s wandert der Rauch im Tunnel weiter.**

Smokeview 5.5.3 – Apr 6 2010



**Abbildung 5-5 RABT-Sichtergebnis nach 1 min. Auch im RABT-Entwurf wird der Rauch im Tunnel weggeblasen. In der frühen Phase passiert der Rauch die punktuelle Absaugung.**

Smokeview 5.5.3 – Apr 6 2010



**Abbildung 5-6 RABT-Sichtergebnis nach 3 min und 20 s. Das Rauchkontrollsystem braucht Zeit, um sich einzustellen und gegen den Rauch anzukämpfen.**

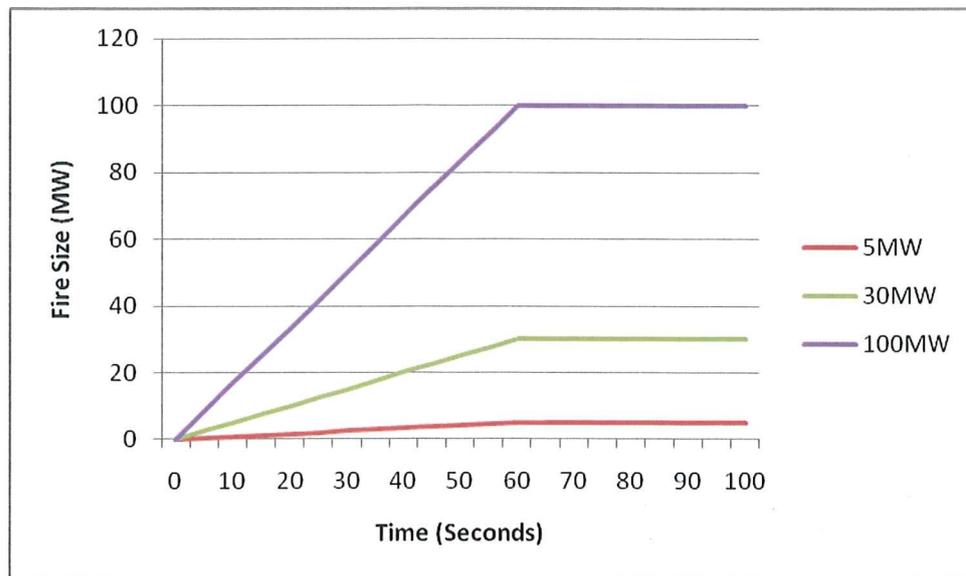
Smokeview 5.5.3 – Apr 6 2010



Abbildung 5-7 RABT-Sichtergebnis nach 5 min. Der Rauch ist erst nach 300 s unter Kontrolle.

### 5.6.3 Brandentwicklung und maximale Wärmeabgabe

Die angesetzten Brandentwicklungsgeschwindigkeiten entsprechen den deutschen Vorschriften. Die Entwicklungsgeschwindigkeiten und somit die Zeit, bis der Brand die maximale Wärmeabgabe erreicht, sind nachfolgend dargestellt.



<b>Fire Size</b>	<b>Brandgröße</b>
<b>Time (Seconds)</b>	<b>Zeit (s)</b>

Abbildung 5-8 Brandentwicklungsgeschwindigkeiten und maximale Wärmeabgabe

### 5.6.4 Personenzahlen

Die Personenzahlen im Tunnel können aufgrund der Zahl der Fahrzeuge pro Stunde und der ungefähren Zahl von Personen pro Fahrzeug geschätzt werden. Notice that traffic estimates for 2038 are used, c.f. the discussion in Section 5.6.1. Zu beachten ist, dass die Verkehrstärke auf den Schätzungen für das Jahr 2038 beruht (siehe auch Kapitel 5.6.1).

- Zahl von Fahrzeugen pro Stunde = 336
- Durchschnittliche Zeit für die Tunneldurchfahrt = 12 Minuten
- Zahl von Fahrzeugen im Tunnel zu einem bestimmten Zeitpunkt  $336/5 = 67$  – (336 ist das stündliche Verkehrsaufkommen. Da die Tunneldurchfahrt 12 Minuten dauert, kann die Zahl von Fahrzeugen im Tunnel zu einem bestimmten Zeitpunkt durch Teilen durch 5 geschätzt werden ( $60 \text{ Minuten} / 12 \text{ Minuten} = 5$ )).

Es wird bei zwei Störfällen für den RABT-Entwurf angenommen, dass sich der Unfall 55 m vor der lokalen Absaugung ereignet. Anschließend wird die konservative Annahme getroffen, dass das Sperren des Tunnels 10 bis 12 Minuten dauert. In diesem Zeitraum könnten weitere 67 Fahrzeuge in den Tunnel eingefahren sein.

Aufgrund dieser Zahlen würden sich insgesamt 134 Fahrzeuge im Tunnel befinden, was zu einer maximalen Zahl von **354 Personen** im Tunnel führt (aufgrund der Ausgangszahl von 2,64 Personen pro Fahrzeug). Auf 100 m befinden sich also etwa 71 Personen (etwa 78 pro 110 m Abstand zwischen den Ausgängen).

Damit sich die maximale Zahl von Fahrzeugen hinter dem Brand befindet, müsste der Brand am entgegengesetzten Ende des ursprünglichen Störfalls ausbrechen. Dies bedeutet, dass das letzte in den Tunnel einfahrende Fahrzeug den Brand auslöst. In dieser Situation ist dieses das letzte Fahrzeug. Es befinden sich keine weiteren Fahrzeuge und somit keine Personen hinter dem Brand.

Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

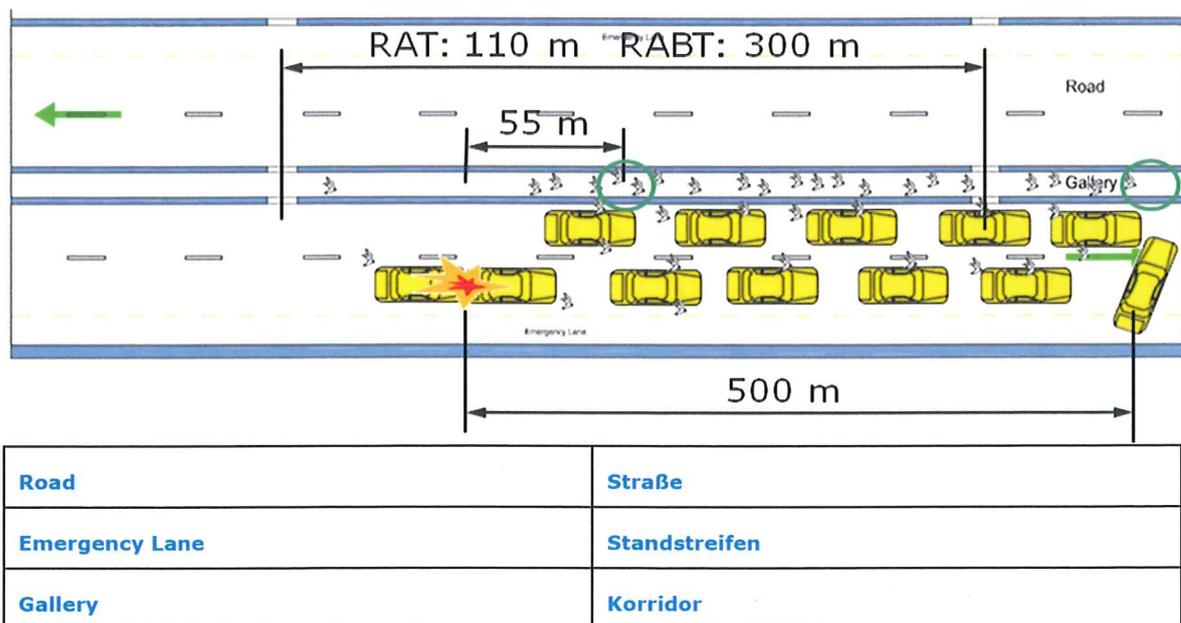


Abbildung 5-9 Zwei Störfälle (Skizze nicht maßstabsgetreu)

### 5.6.5 Evakuierungszeiten

Die Evakuierungszeiten können in mehrere Phasen unterteilt werden. Diese sind nachfolgend erläutert.

- Die Detektionszeit ist die Zeit, welche die Brandmeldeanlage zum Melden des Brandes und Auslösen eines Alarms benötigt. Zum Zweck der Vergleichsanalyse wurde für den RAT-Entwurf auf Basis des geplanten SCADA-Systems eine Detektionszeit von 30 s und für den RABT-Entwurf auf Basis einer linearen Standard-Wärmemeldeanlage eine Detektionszeit von 60 s vereinbart.

- Die Alarmierungs- und Reaktionszeit ist die erforderliche Zeit bis zum Beginn der Evakuierung von Personen. Diese Zeit hängt oft vom Grad der Informationen ab, die den Personen zur Verfügung steht. Wenn beispielsweise keine optischen Signale vorliegen, verstreicht bis zum Beginn der Evakuierung von Personen bei einer Alarmglocke normalerweise mehr Zeit als bei einem Ansagealarm. Nach Gesprächen mit der BAST wurde eine Alarmierungs- und Reaktionszeit von Null (0) für die Vergleichsanalyse angesetzt.
- Die Wegzeit ist die erforderliche Zeit zum Erreichen des Ausgangs. Auf die Wegzeit wirken sich Gehgeschwindigkeit, Behinderungen und körperliche Leistungsfähigkeit der Personen aus. Nach Gesprächen mit der BAST wurde eine durchschnittliche Gehgeschwindigkeit von 1,3 m/s für die Vergleichsanalyse angesetzt.
- Die Wartezeit ist die erforderliche Zeit für das Passieren der Personen durch die Ausgangstür (unter der Annahme, dass alle Personen gleichzeitig am Ausgang eintreffen). Wenn die Wegzeit länger ist als die Wartezeit, kann die Wartezeit vernachlässigt werden, und umgekehrt.

Die erforderliche sichere Evakuierungszeit (Required Safe Egress Time, RSET) wurde durch manuelle (bzw. statische) Berechnungen statt Computermodellierung ermittelt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der untersuchte Fall relativ einfach ist und wenige Personen beinhaltet.

Das Verfahren beinhaltete eine Bewertung der erforderlichen Zeit zum Zurücklegen der Strecke zwischen den Ausgängen und der Zeit zum Passieren der Ausgänge. Diese wurden unter Annahme der vereinbarten Gehgeschwindigkeiten (1,3 m/s) und von international anerkannten Durchsatzmengen (1,33 Personen/m/s) ermittelt.

Daraus ergaben sich zwei Zeiten für die waagrechte Strecke entsprechend dem Abstand zwischen den Ausgängen (110 m bei RAT und 300 m bei RABT) und das Warten am Ausgang. Der größere Wert wurde zur definierten Alarmierungs- und Reaktionszeit addiert, woraus sich der in der Analyse verwendete RSET-Wert ergab.

Aufgrund der oben genannten Kriterien wurden die folgenden Evakuierungszeiten berechnet.

RAT 110M EXIT SPACING	
<b>Population</b>	Egress time per 110m 'block' of occupants (s)
Pre Movement	78
Horizontal Travel Time (110m)	0
Horizontal Travel Time (55m)	85
Queuing Time (Tunnel)	42
<b>Total</b>	42
	85

Walking Speed (m.s)	1.3
Width of Tunnel Door (m)	1.4
Road Tunnel Travel Distances (m)	110
	55

RABT 300M EXIT SPACING	
<b>Population</b>	Egress time per 300m 'block' of occupants (s)
Pre Movement	234
Horizontal Travel Time (300m)	0
Horizontal Travel Time (150m)	231
Queuing Time (Tunnel)	115
<b>Total</b>	125
	231

Walking Speed (m.s)	1.3
Width of Tunnel Door (m)	1.4
Road Tunnel Travel Distances (m)	300
	150

RAT 110M Exit Spacing	RAT Abstand zwischen Ausgängen 110 m
RABT 300M Exit Spacing	RABT Abstand zwischen Ausgängen 300 m
Population	Personenzahl
Egress time per 110 m block of occupants (s)	Evakuierungszeit pro 110-m-Block mit Personen (s)
Egress time per 300 m block of occupants (s)	Evakuierungszeit pro 300-m-Block mit Personen (s)
Pre movement	Alarmierungs- und Reaktionszeit
Horizontal travel time (110 m)	Horizontale Wegzeit (110 m)

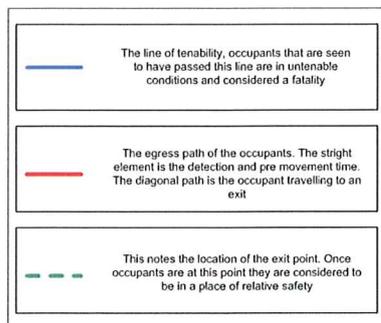
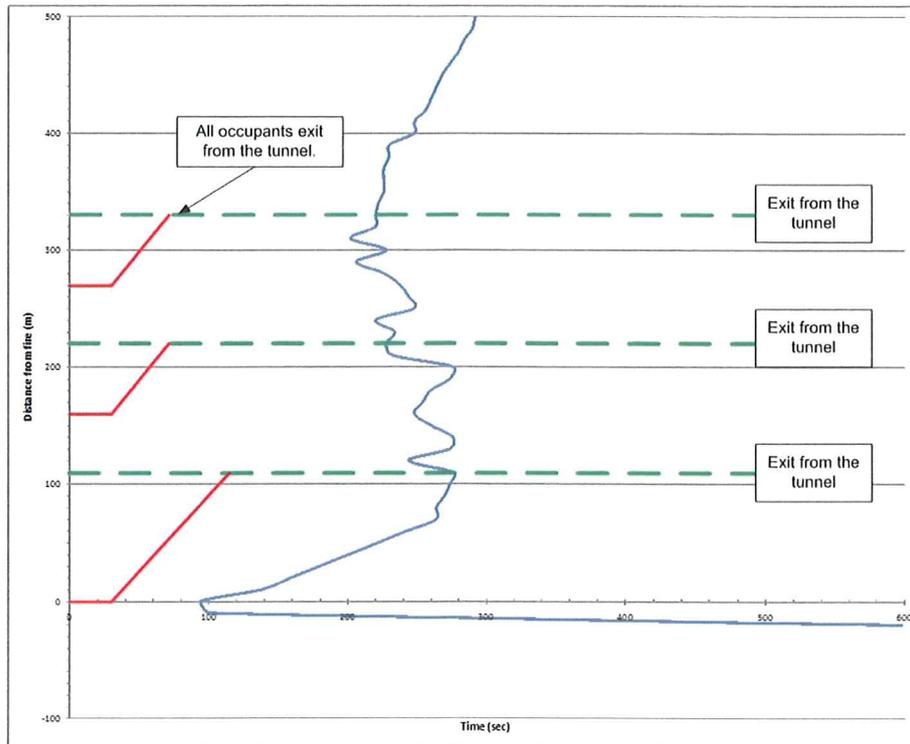
Horizontal travel time (55 m)	Horizontale Wegzeit (55 m)
Horizontal travel time (110 m)	Horizontale Wegzeit (110 m)
Horizontal travel time (150 m)	Horizontale Wegzeit (150 m)
Queuing time (Tunnel)	Wartezeit (Tunnel)
Total	Gesamt
Walking Speed (m.s)	Gehgeschwindigkeit (m/s)
Width of ...	Breite der Tunneltür (m)
Road tunnel ...	Straßentunnel Gehstrecken (m)

Diese Evakuierungszeiten wurden auf dem Vertretbarkeitsgraphen aufgetragen, der die Bewegung der Personen weg vom Brandszenario darstellt. Wenn Personen in Rauch mit einer Sicht von weniger als 5 m geraten, ist von einem Todesfall auszugehen.

### 5.6.6 Folgenmodellierungsergebnisse

Der folgende Graph vergleicht die Ergebnisse des Punkts entlang dem Tunnel, an dem die Vertretbarkeitskriterien erreicht werden, mit der erforderlichen Zeit für die Evakuierung der Personen. Wenn die Evakuierungszeit die Zeit überschreitet, an dem die Vertretbarkeit erreicht wird (an einem bestimmten Punkt im Tunnel), ist von Todesfällen auszugehen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse des 5-MW-Brands im RAT-Entwurf dargestellt.



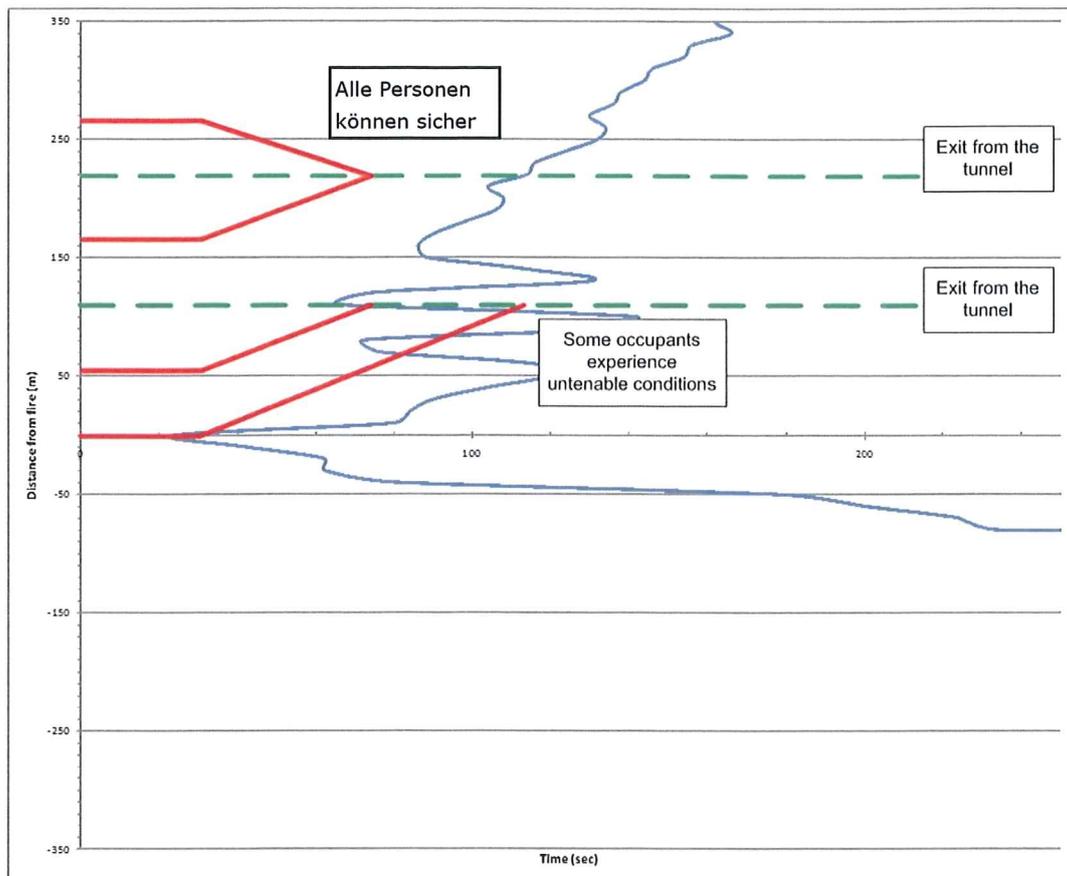
**Abbildung 5-10 RAT-5-MW-Vertretbarkeitsgraph**

All occupants ...	Alle Personen werden aus dem Tunnel evakuiert.
Exit from the tunnel	Verlassen des Tunnels
Distance from fire (m)	Abstand zum Brand (m)
Time (sec)	Zeit (s)
The line of tenability ...	Vertretbarkeitslinie. Personen, die diese Linie passieren, befinden sich in nicht vertretbaren Bedingungen und sind als Todesfälle zu betrachten.
The egress path ...	Evakuierungsweg der Personen. Das gerade Element ist die Detektions- und Alarmierungs-/Reaktionszeit. Der diagonale Weg steht für die Person, die sich zu einem Ausgang begibt.
This notes ...	Dies bezeichnet die Anordnung des Ausgangspunkts. Sobald sich die Personen an diesem Punkt befinden, befinden sie sich in relativer Sicherheit.

Aus Abbildung 5-10 ist zu erschließen, dass alle Personen in der verfügbaren Zeit und vor Erreichen des Zeitpunkts, an dem nicht vertretbare Bedingungen erreicht werden, evakuiert werden können.

Im RABT-5-MW-Fall treten keine nicht vertretbaren Bedingungen an den Datenpunkten auf und wurden daher nicht aufgetragen. Auch hier lautet die Schlussfolgerung, dass alle Personen in der verfügbaren sicheren Evakuierungszeit evakuiert werden können.

Nachfolgend sind die Ergebnisse des 30-MW-Brands im RAT-Entwurf dargestellt.



**—** The line of tenability, occupants that are seen to have passed this line are in untenable conditions and considered a fatality

**—** The egress path of the occupants. The straight element is the detection and pre movement time. The diagonal path is the occupant travelling to an exit

**- - -** This notes the location of the exit point. Once occupants are at this point they are considered to be in a place of relative safety

Abbildung 5-11 RAT-30-MW-Vertretbarkeitsgraph

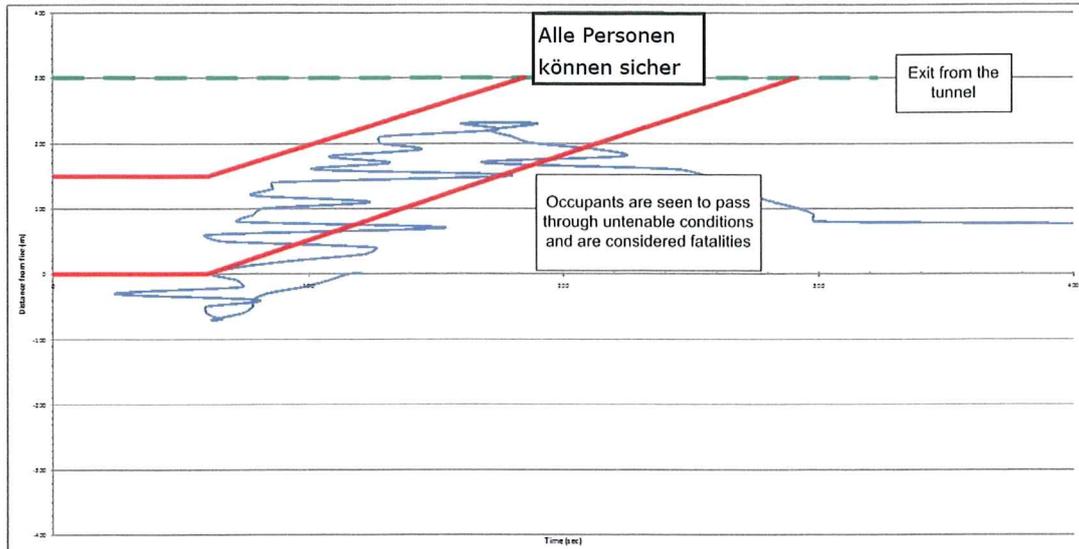
Exit from the tunnel	Verlassen des Tunnels
Distance from fire (m)	Abstand zum Brand (m)
Some occupants ...	Einige Personen befinden sich in nicht vertretbaren Bedingungen.
Time (sec)	Zeit (s)
The line of tenability ...	Vertretbarkeitslinie. Personen, die diese Linie passieren, befinden sich in nicht vertretbaren Bedingungen und sind als Todesfälle zu betrachten.
The egress path ...	Evakuierungsweg der Personen. Das gerade Element ist die Detektions- und Alarmierungs-/Reaktionszeit. Der diagonale Weg steht für die Person, die sich zu einem Ausgang begibt.
This notes ...	Dies bezeichnet die Anordnung des Ausgangspunkts. Sobald sich die Personen an diesem Punkt befinden, befinden sie sich in

	relativer Sicherheit.
--	-----------------------

Aus Abbildung 5-11 ist zu ersehen, dass einige Personen in nicht vertretbare Bedingungen geraten. Aufgrund der Ausfallkriterien sind diese Personen als Todesfälle zu betrachten.

Von Todesfällen ist in einer Zone in einem Abstand von 50 m zum Brand auszugehen. Dies würde etwa **36 Personen** entsprechen, die als Todesfälle zu verzeichnen sind.

Nachfolgend sind die Ergebnisse des 30-MW-Brands im RABT-Entwurf dargestellt.



<b>Exit from the tunnel</b>	<b>Verlassen des Tunnels</b>
<b>Distance from fire (m)</b>	<b>Abstand zum Brand (m)</b>
<b>Time (sec)</b>	<b>Zeit (s)</b>
<b>Occupants are seen ...</b>	<b>Personen passieren nicht vertretbare Bedingungen und sind als Todesfälle zu betrachten.</b>

Abbildung 5-12 RABT-30-MW-Vertretbarkeitsgraph

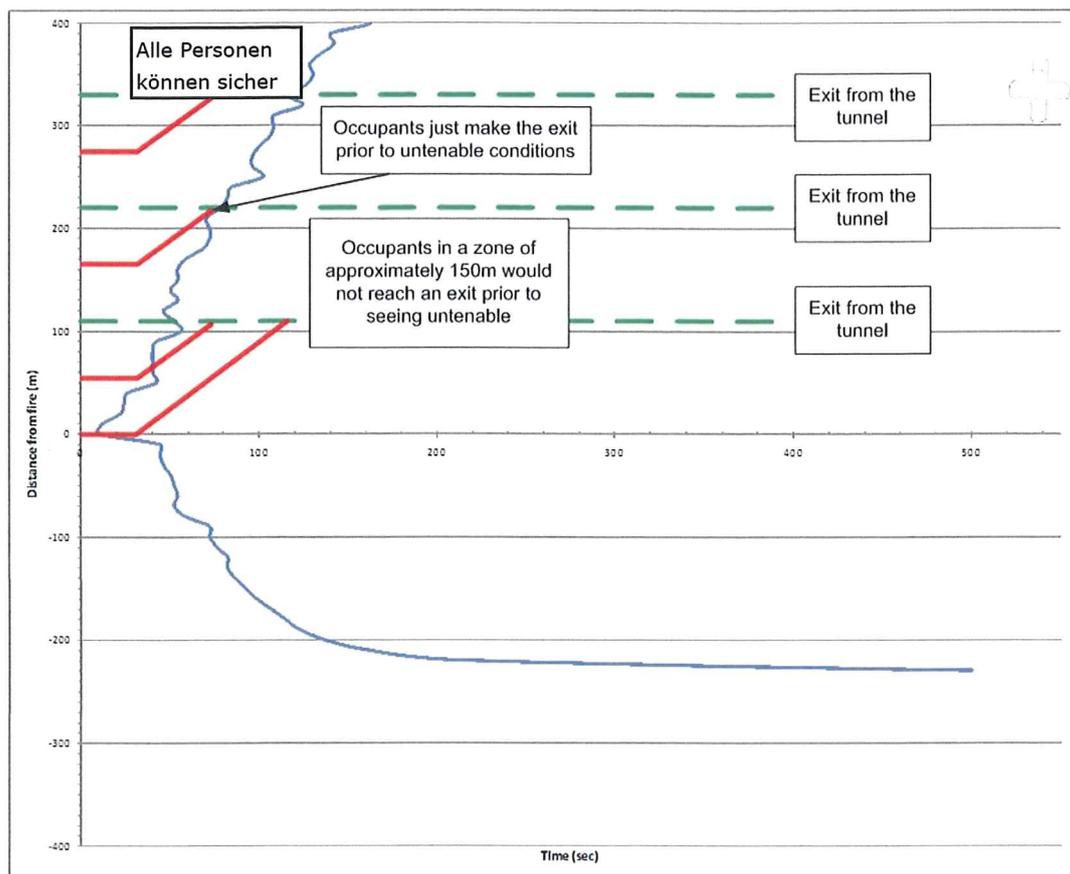
Aus

<b>Exit from the tunnel</b>	<b>Verlassen des Tunnels</b>
<b>Distance from fire (m)</b>	<b>Abstand zum Brand (m)</b>
<b>Time (sec)</b>	<b>Zeit (s)</b>
<b>Occupants are seen ...</b>	<b>Personen passieren nicht vertretbare Bedingungen und sind als Todesfälle zu betrachten.</b>

Abbildung 5-12 ist zu ersehen, dass einige Personen in nicht vertretbare Bedingungen geraten. Aufgrund der Ausfallkriterien sind diese Personen als Todesfälle zu betrachten.

Von Todesfällen ist in einer Zone in einem Abstand von 130m zum Brand auszugehen. Dies würde etwa **93 Personen** entsprechen, die als Todesfälle zu verzeichnen sind.

Nachfolgend sind die Ergebnisse des 100-MW-Brands im RAT-Entwurf dargestellt.



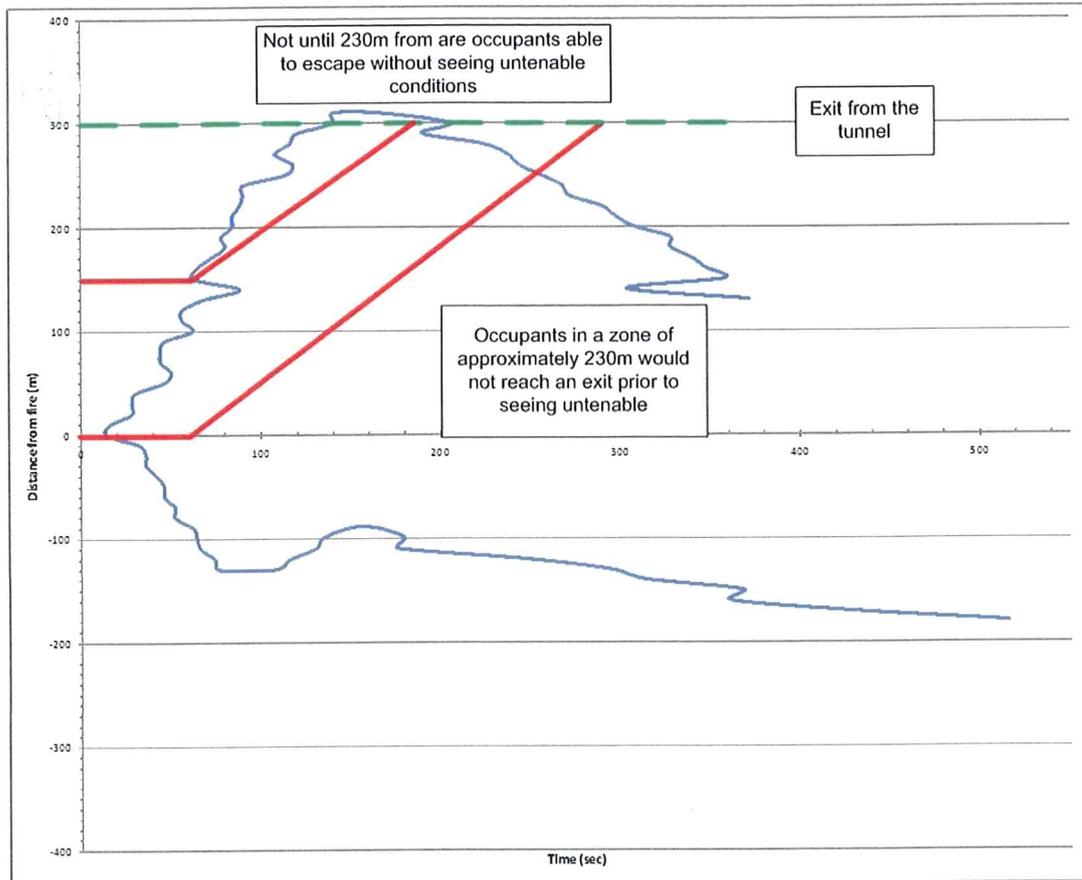
<b>Exit from the tunnel</b>	<b>Verlassen des Tunnels</b>
<b>Distance from fire (m)</b>	<b>Abstand zum Brand (m)</b>
<b>Time (sec)</b>	<b>Zeit (s)</b>
<b>Occupants just make ...</b>	<b>Personen schaffen es gerade noch vor nicht vertretbaren Bedingungen, den Tunnel zu verlassen.</b>
<b>Occupants in a zone ...</b>	<b>Personen in einer Zone von etwa 150 m können keinen Ausgang erreichen, bevor nicht vertretbare Bedingungen herrschen.</b>

Abbildung 5-13 RAT-100-MW-Vertretbarkeitsgraph

Aus Abbildung 5-13 ist zu ersehen, dass einige Personen in nicht vertretbare Bedingungen geraten. Aufgrund der Ausfallkriterien sind diese Personen als Todesfälle zu betrachten.

Von Todesfällen ist in einer Zone in einem Abstand von 155 m zum Brand auszugehen. Dies würde etwa **110 Personen** entsprechen, die als Todesfälle zu verzeichnen sind.

Nachfolgend sind die Ergebnisse des 100-MW-Brands im RABT-Entwurf dargestellt.



<b>Exit from the tunnel</b>	<b>Verlassen des Tunnels</b>
<b>Distance from fire (m)</b>	<b>Abstand zum Brand (m)</b>
<b>Time (sec)</b>	<b>Zeit (s)</b>
<b>Occupants in a zone ...</b>	<b>Personen in einer Zone von etwa 230 m können keinen Ausgang erreichen, bevor nicht vertretbare Bedingungen herrschen.</b>
<b>Not until ...</b>	<b>Erst bei 230 m können Personen den Tunnel ohne nicht vertretbare Bedingungen verlassen.</b>

Abbildung 5-14 RABT-100-MW-Vertretbarkeitsgraph

Aus Abbildung 5-14 ist zu ersehen, dass einige Personen in nicht vertretbare Bedingungen geraten. Aufgrund der Ausfallkriterien sind diese Personen als Todesfälle zu betrachten.

Von Todesfällen ist in einer Zone in einem Abstand von 230 m zum Brand auszugehen. Dies würde etwa **164 Personen** entsprechen, die als Todesfälle zu verzeichnen sind.

**5.6.7 Zusammenfassung der Folgenanalyse**

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick über die Todesfälle für RAT- und RABT-Tunnelentwurf. Sie führt sowohl die berechnete Todesfallzahl für die analysierten Szenarien (grün) und die geschätzte Todesfallzahl für die restlichen Szenarien gemäß der Beschreibung in Abschnitt 5.3 auf.

Ort des Störfalls	Verkehrsmuster	Unfallart	Zustand der Brandlüftung	Brandgröße	RABT/RAT - geschätzte Todesfälle im Durchschnitt	
Brand im Portalbereich / innerhalb des Tunnels	Fließen der Verkehr	Einzelner Störfall	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	0	0
				Brand mit 30 MW	0	0
				Brand mit 50 MW	1	1
				Brand mit 100 MW	1	1
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1
				Brand mit 30 MW	6	6
				Brand mit 50 MW	6	6
				Brand mit 100 MW	6	6
		Liegegebliebenes Fahrzeug 1.000 m hinter der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1
				Brand mit 30 MW	1	1
				Brand mit 50 MW	6	6
				Brand mit 100 MW	6	6
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1
				Brand mit 30 MW	1	1
				Brand mit 50 MW	6	6
				Brand mit 100 MW	6	6
		Liegegebliebenes Fahrzeug 2.100 m hinter der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	0	1
				Brand mit 30 MW	1	1
				Brand mit 50 MW	1	6
				Brand mit 100 MW	1	6
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1
				Brand mit 30 MW	1	1
				Brand mit 50 MW	6	6
				Brand mit 100 MW	6	6
Stau	Zwei Unfälle.	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1	

+	Punktuelle Absaugung vor der Unfallstelle		Brand mit 30 MW	1	1
			Brand mit 50 MW	75	30
			Brand mit 100 MW	300	75
		Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1
			Brand mit 30 MW	30	30
			Brand mit 50 MW	300	75
			Brand mit 100 MW	340	298
	Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung 55 m vor der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	0	0
			Brand mit 30 MW	93	36
			Brand mit 50 MW	100	50
			Brand mit 100 MW	164	110
		Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	1	1
			Brand mit 30 MW	6	6
			Brand mit 50 MW	300	75
			Brand mit 100 MW	300	75

**Tabelle 5-6 Berechnete und geschätzte Todesfälle**



## 6. RISIKOVERGLEICHSERGEBNISSE

Bei allen 80 berücksichtigten Szenarien wurde das Risiko als Produkt der Unfallszenarienhäufigkeit und der Unfallszenarienfolge berechnet. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Szenarienhäufigkeiten für alle Szenarien berechnet wurden, während die detaillierten Folgenanalysen gemäß der Beschreibung im vorhergehenden Abschnitt für drei ausgewählte Szenarien mit Todesfällen durchgeführt wurden.

Da eine gewisse Unwägbarkeit bei der Bewertung von Todesfällen für die berücksichtigten Szenarien besteht, wurde eine Verteilung in Bezug auf das Ausmaß der Schäden gemäß B66 [1] angewendet. Diese Verteilung soll die Unwägbarkeiten in Bezug auf die Todesfallzahl abdecken, die für verschiedene Brandgrößen berechnet wird. Das Ergebnis der Anwendung dieser Verteilungen besteht darin, dass die F-N-Kurven über die Zahl von Todesfällen breiter gestreut sind.

Nachfolgend sind die Ergebnisse in Form von voraussichtlichen Werten für die Todesfälle pro Jahr und F-N-Kurven dargestellt.

**6.1 Voraussichtliche Zahl von Todesfällen pro Jahr**

Nachfolgend sind Folgen und Risiko für die berücksichtigten Szenarienhäufigkeiten dargestellt.

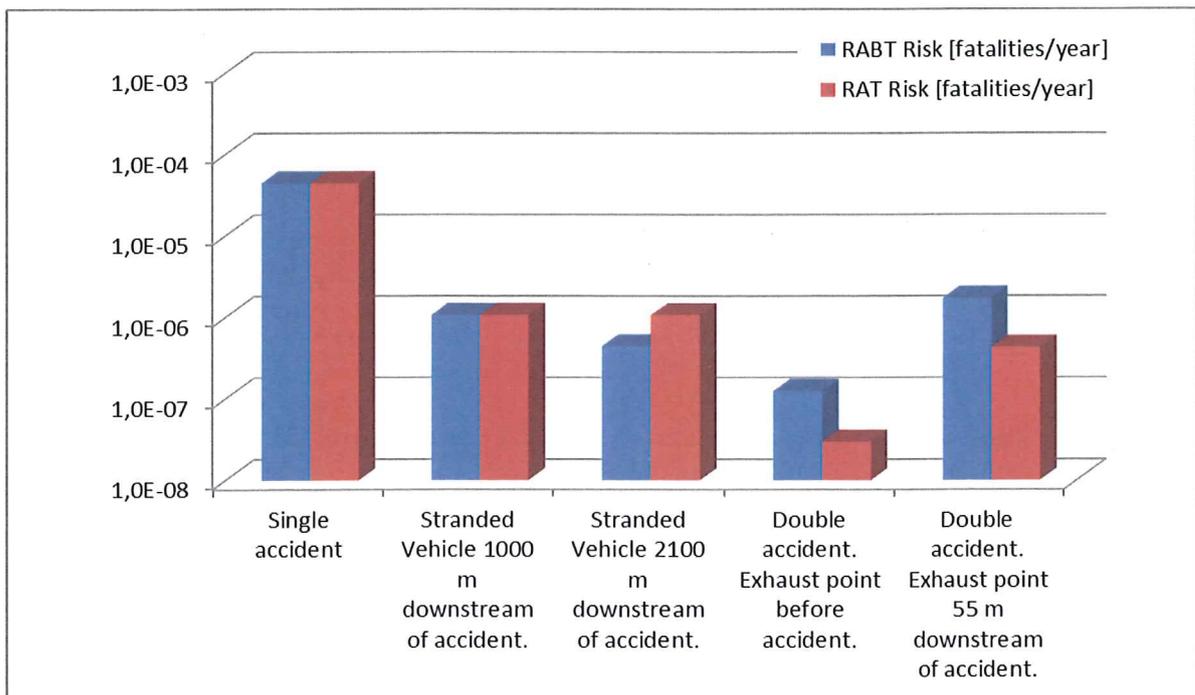
Lokalisation	Verkehrsmuster	Unfallart	Zustand der Brandlüftung	Brandgröße	RABT Risiko [Todesfälle /Jahr]	RAT Risiko [Todesfälle /Jahr]
Brand im Portalbereich / innerhalb des Tunnels	Fließender Verkehr	Einzelner Störfall	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	0	0
				Brand mit 30 MW	0	0
				Brand mit 50 MW	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$
				Brand mit 100 MW	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$
				Brand mit 30 MW	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
				Brand mit 50 MW	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
				Brand mit 100 MW	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
		Liegegeblienes Fahrzeug 1.000 m hinter der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$
				Brand mit 30 MW	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$
				Brand mit 50 MW	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$
				Brand mit 100 MW	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
			Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$
				Brand mit 30 MW	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$
				Brand mit 50 MW	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$
				Brand mit 100 MW	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^{-10}$
	Liegegeblienes Fahrzeug 2.100 m hinter der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	0	$4,9 \cdot 10^{-7}$	
			Brand mit 30 MW	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	
			Brand mit 50 MW	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	
			Brand mit 100 MW	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	
		Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	
			Brand mit 30 MW	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$	
			Brand mit 50 MW	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	
			Brand mit 100 MW	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^{-10}$	
	Stau	Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung vor der Unfallstelle	Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$
				Brand mit 30 MW	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$
				Brand mit 50 MW	$5,6 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$

Lokalisation	Verkehrsmuster	Unfallart	Zustand der Brandlüftung	Brandgröße	RABT Risiko [Todesfälle /Jahr]	RAT Risiko [Todesfälle /Jahr]
				Brand mit 100 MW	$5,6 \cdot 10^{-8}$	$6,9 \cdot 10^{-9}$
		Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung 55 m vor der Unfallstelle	Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	$2,9 \cdot 10^{-11}$	$2,9 \cdot 10^{-11}$
				Brand mit 30 MW	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$
				Brand mit 50 MW	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$5,7 \cdot 10^{-10}$
				Brand mit 100 MW	$6,8 \cdot 10^{-10}$	$5,6 \cdot 10^{-10}$
			Lüftung in Betrieb	Brand mit 5 MW	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$
				Brand mit 30 MW	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$
				Brand mit 50 MW	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$
				Brand mit 100 MW	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$
		Lüftung außer Betrieb	Brand mit 5 MW	$2,9 \cdot 10^{-11}$	$2,9 \cdot 10^{-11}$	
			Brand mit 30 MW	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	
			Brand mit 50 MW	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$5,7 \cdot 10^{-10}$	
			Brand mit 100 MW	$5,6 \cdot 10^{-10}$	$7,0 \cdot 10^{-11}$	

**Tabelle 6-1 Berechnete Risikozahlen – voraussichtliche Todesfälle pro Jahr**

Das Gesamtrisiko für den RABT-Fall beträgt  $4,8 \cdot 10^{-5}$  Todesfälle pro Jahr und für den RAT-Fall  $4,7 \cdot 10^{-5}$  Todesfälle pro Jahr. Somit ist der RAT-Entwurf genauso sicher wie der RABT-Entwurf für die berücksichtigten Szenarien.

Die Ergebnisse wurden für die verschiedenen Szenariotypen zusammengefasst und sind in Abbildung 6-1 dargestellt.



Single accident	Einzelner Unfall
Stranded vehicle 1000 m ...	Liegengebliebenes Fahrzeug 1.000 m hinter der Unfallstelle
Stranded vehicle 2100 m ...	Liegengebliebenes Fahrzeug 2.100 m hinter der Unfallstelle
Double accident. Exhaust point before accident.	Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung vor der Unfallstelle
Double accident. Exhaust point 55 m downstream of accident.	Zwei Unfälle. Punktuelle Absaugung 55 m hinter der Unfallstelle
RAT risk	RAT-Risiko
RABT risk	RABT-Risiko
Fatalities/year	Todesfälle/Jahr

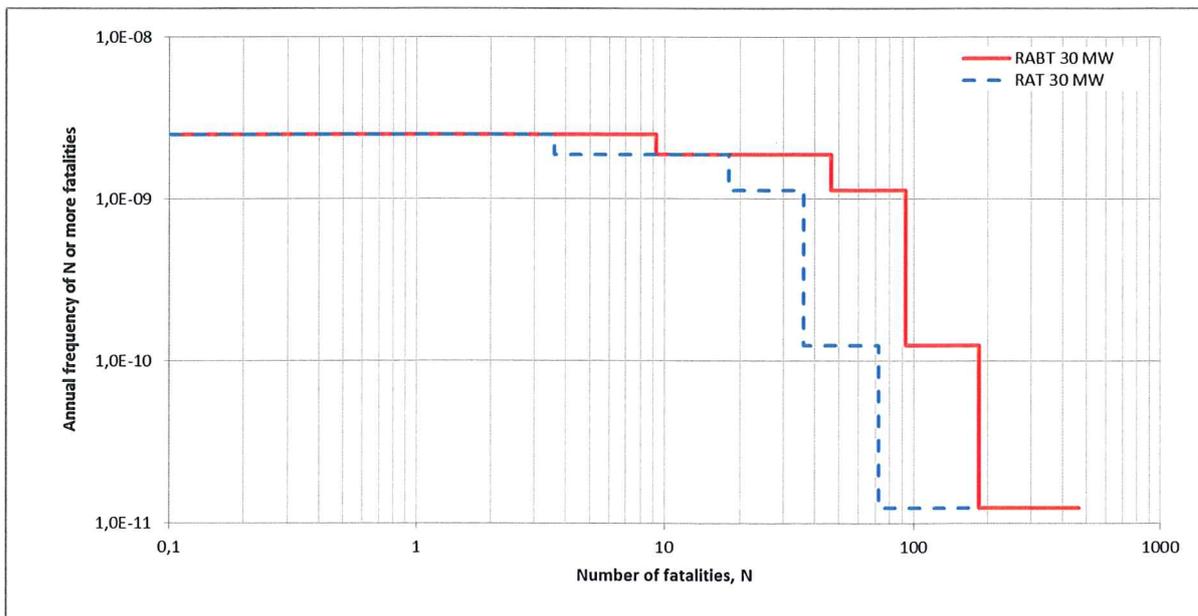
Abbildung 6-1 Berechnetes Risiko [Todesfälle/Jahr] für verschiedene Szenariotypen

Es ist zu erkennen, dass das Risiko generell bei beiden Entwürfen (RABT/RAT) auf dem gleichen Niveau ist. Die Szenarien mit zwei Unfällen zeigen ein leicht erhöhtes Risiko beim RABT-Entwurf im Vergleich zum RAT-Entwurf, da der Abstand zwischen den Notausgängen im RABT- Entwurf größer ist. Das Szenario mit einem liegengebliebenen Fahrzeug 2.100 m hinter der Unfallstelle zeigt ein leicht erhöhtes Risiko beim RAT-Entwurf. Dieses erhöhte Risiko wird aber durch das verringerte Risiko in den anderen Szenarien ausgeglichen, wie aus Abbildung 6-1 zu erkennen ist. (Es wird ebenfalls auf Abbildung 5-1 mit der F-N-Kurve für alle Szenarien verwiesen.)

Der Fall mit einem einzelnen Unfall zeigt den größten Risikobeitrag, obgleich die voraussichtliche Zahl von Todesfällen niedrig eingeschätzt wird. Die große Häufigkeit dieses Falls führt jedoch zu einem hohen Risikobeitrag.

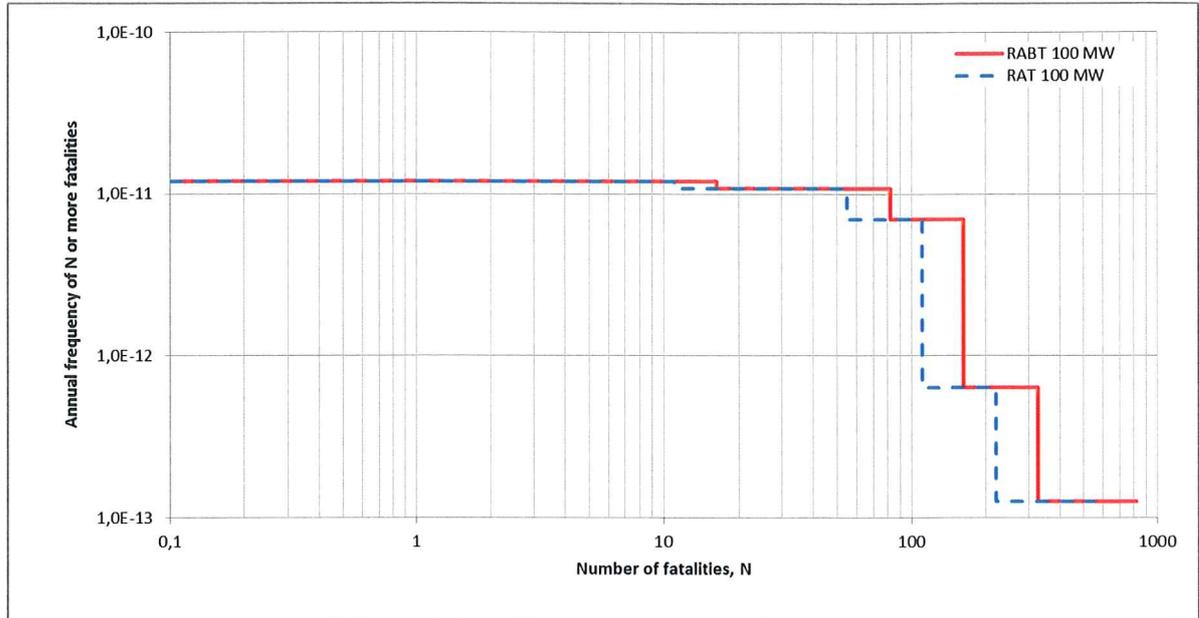
## 6.2 F-N-Kurven

Das Risiko bei RAT- und RABT-Tunnelentwurf wurde mit einer F-N-Kurve verglichen. Eine F-N-Kurve ist ein Diagramm, bei dem die jährliche Häufigkeit für N oder mehr Todesfälle mit N extrapoliert wird. Für die analysierten Szenarien werden die Zahlen der Todesfälle direkt den CFD-Berechnungen entnommen.



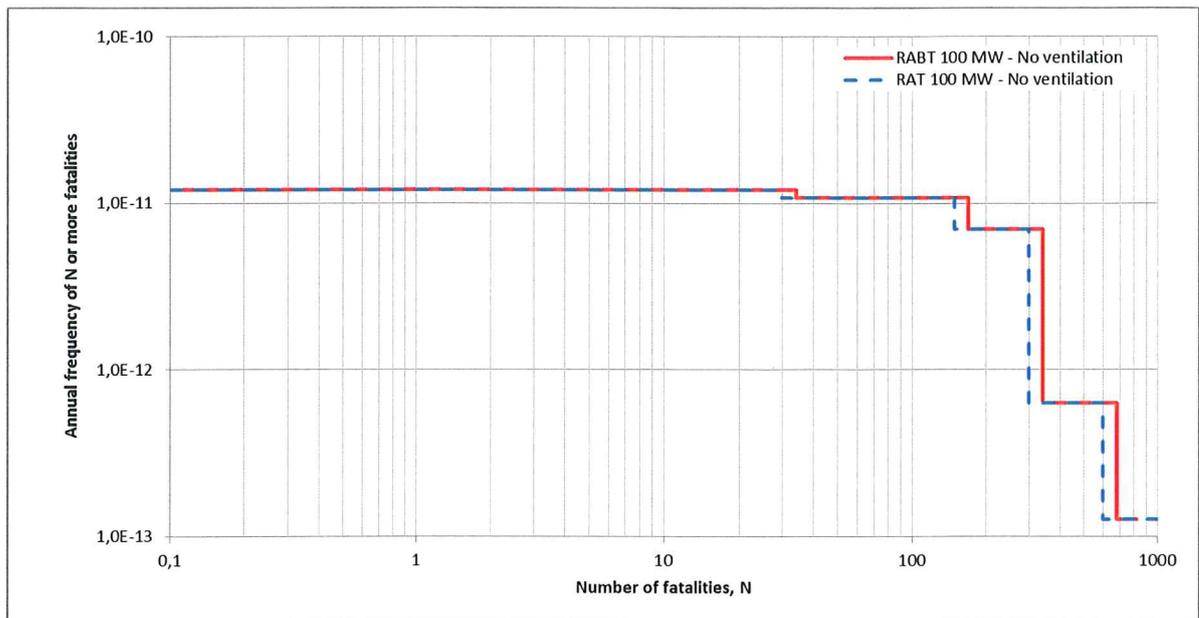
Annual frequency ...	Jährliche Häufigkeit von N oder mehr Todesfällen
Number of ...	Zahl der Todesfälle, N

Abbildung 6-2 F-N-Kurven für 30-MW-Brände – ausschließlich unter Berücksichtigung berechneter Szenarien



Annual frequency ...	Jährliche Häufigkeit von N oder mehr Todesfällen
Number of ...	Zahl der Todesfälle, N

Abbildung 6-3 F-N-Kurve für 100-MW-Brände – ausschließlich unter Berücksichtigung berechneter Szenarien

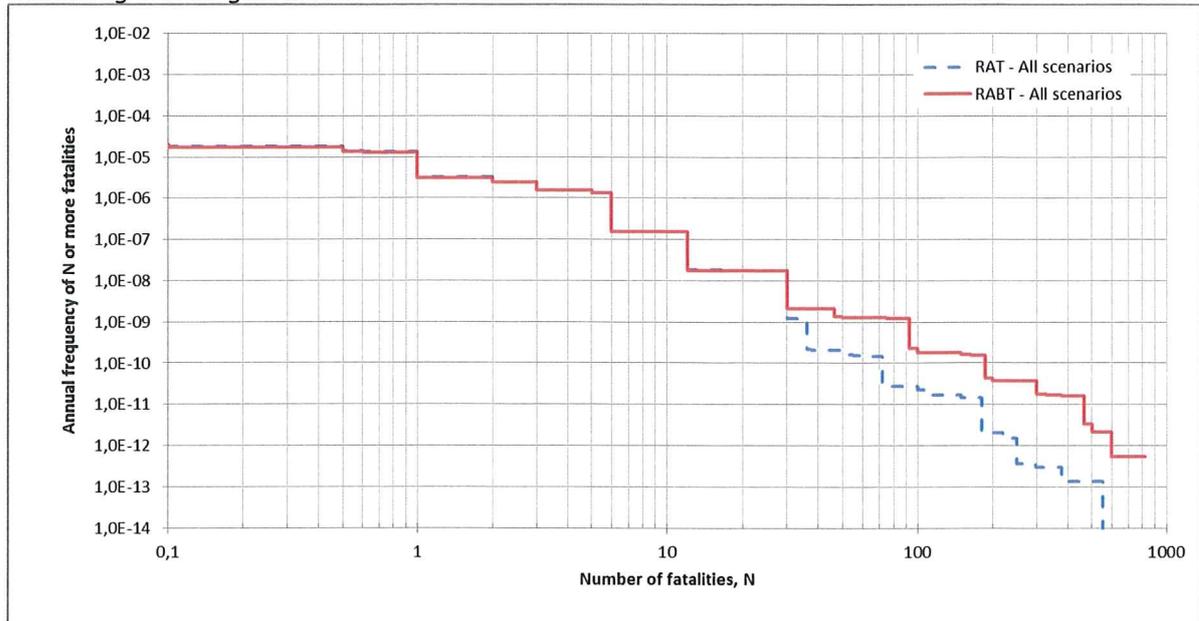


Annual frequency ...	Jährliche Häufigkeit von N oder mehr Todesfällen
Number of ...	Zahl der Todesfälle, N
No ventilation	Ohne Lüftung

Abbildung 6-4 F-N-Kurve für 100-MW-Brände (ohne Lüftung) – ausschließlich unter Berücksichtigung berechneter Szenarien

Wie aus den F-N-Kurven zu ersehen ist, liegt die RAT-Kurve an keinem Punkt in den Diagrammen über der RABT-Kurve und liegt in einigen Bereichen sogar unter der RABT-Kurve.

Zur Darstellung der gesamten F-N-Kurve unter Berücksichtigung aller untersuchten Szenarien wurde eine weitere Analyse durchgeführt. Auf die Szenarien, für die keine detaillierte Folgenmodellierung durchgeführt wurde, wurde die geschätzte Zahl von Todesfällen angewendet. Die resultierende F-N-Kurve einschließlich geschätzter und berechneter Todesfälle ist in Abbildung 6-5 dargestellt.



<b>Annual frequency ...</b>	<b>Jährliche Häufigkeit von N oder mehr Todesfällen</b>
<b>Number of ...</b>	<b>Zahl der Todesfälle, N</b>
<b>All scenarios</b>	<b>Alle Szenarien</b>

**Abbildung 6-5 F-N-Kurve für Todesfälle durch Brand – unter Berücksichtigung von berechneten und geschätzten Szenarien**

Wie aus den F-N-Kurven zu ersehen ist, liegt die RAT-Kurve an keinem Punkt im Diagramm über der RABT-Kurve und liegt in einigen Bereichen sogar unter der RABT-Kurve. Somit kann aus den Kurven die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der RAT-Entwurf genauso sicher ist wie der RABT-Entwurf.



## 7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Entwurfsplanung für den Fehmarnbelttunnel wurde mit einem gemäß den beschreibenden Anforderungen in den RABT entworfenen Tunnel verglichen.

Bei den Analysen wurden zwei Zwischenfälle im Tunnel berücksichtigt:

- Normale Unfälle, d. h. Verkehrsunfälle ohne Feuerentwicklung
- Brände ohne gefährliche Güter

Für beide Entwurfstypen wurde das Risiko für die Tunnelnutzer unter denselben grundlegenden Annahmen ermittelt.

Die Vergleichsstudie für normale Unfälle ergab, dass die beiden Tunnelentwürfe ungefähr das gleiche Risiko bergen. Auch bei Bränden kam man zu diesem Ergebnis. Demzufolge ist das Gesamtrisiko für Tunnelnutzer bei beiden Entwürfen gleich.

Die Analyse lässt auch den Schluss zu, dass der Abstand zwischen den Notausgängen ein Schlüsselparameter des Entwurfs ist.

Wie oben erwähnt beruhen die Vergleichsanalysen auf einer Reihe von grundlegenden Annahmen, die zwischen der BAST und Femern A/S vereinbart wurden. Der RAT-Entwurf enthält eine Reihe von zusätzlichen Ausstattungsmerkmalen, die bei den Vergleichsanalysen nicht berücksichtigt wurden. Das wichtigste Merkmal ist die Installation eines ortsfesten Brandschutzsystems (Sprühwasserlöschanlage). Dieses System senkt die Wahrscheinlichkeit eines Großbrands und erhöht damit die Sicherheit der Tunnelnutzer.

Insbesondere bei Großbränden ist die Zeit, die Insassen zum Verlassen der Fahrzeuge und Erreichen eines Notausgangs brauchen, wesentlich für das Vermeiden von nicht vertretbaren Bedingungen. Dies gilt für beide Tunnelentwürfe. Im Fehmarnbelttunnel wird bei einem Brand eine Reihe von Kommunikations- und Führungssystemen aktiviert, um die Evakuierungszeit so weit wie möglich zu verkürzen. Dies beinhaltet eine Notbeleuchtung und akustisch-optische Kommunikationssysteme.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass über 99 % des Risikos auf normale Unfälle zurückzuführen sind. Daher ist es offensichtlich, dass ein leistungsfähiges Verkehrsleitsystem und effiziente Maßnahmen für den Umgang mit normalen Verkehrsunfällen das größte Lebensrettungspotenzial bieten. Eine Gesamtbeschreibung der risikomindernden Maßnahmen der Entwurfsplanung ist dem Bericht zum Sicherheitskonzept (RAT Dok. 6729-001 [4]) zu entnehmen.

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln, B66, November 2007
2. Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln RABT, August 2006
3. Betriebsrisikoanalyse, Rev. 3, 2011 - RAT-Dok. 64233-002.
4. Sicherheitskonzept, Rev. 1, 2011 - RAT-Dok. 6729-001