

## **Anhang 4 - Sicherheit im Fehmarnbelttunnel**

Diese Notiz behandelt drei Themenbereiche in Bezug auf die Sicherheit in einem Fehmarnbelttunnel.

Zunächst wird das allgemeine Sicherheitskonzept dargestellt, auf dem die technische Planung eines Fehmarnbelttunnels basiert. Danach erfolgt eine Vertiefung zu den drei Haupttypen von Ereignissen in einem Tunnel, die Sicherheitsrisiken darstellen: Unfälle, Feuer und Terroranschläge. Und schließlich werden die Katastrophe im Mont Blanc-Tunnel und das Risiko dafür dargestellt, dass etwas Ähnliches in einem Tunnel unter dem Fehmarnbelt passiert. Als Anlage (Anlage 2) wurde eine detaillierte Beschreibung des Lüftungssystems im Tunnel unter dem Fehmarnbelt ausgearbeitet.

Diese Notiz behandelt den Aufbau der Bereitschaft für eine kommende Feste Fehmarnbeltquerung nicht im Detail, da die Bereitschaft in einem engen Dialog mit allen wichtigen Behörden auf dänischer und deutscher Seite der Querung festgelegt werden muss und die Gespräche noch nicht abgeschlossen sind<sup>1</sup>. Der Dialog mit den Bereitschaftsdiensten nimmt seinen Ausgangspunkt zum einen in einer von Femern A/S ausgearbeiteten Darstellung der gesetzlichen Grundlage für das Sicherheits- und Bereitschaftswesen der dänischen und deutschen Behörden, die darauf abzielt, die organisatorischen Rahmenbedingungen für eine dänisch-deutsche Zusammenarbeit im Bereitschaftswesen für die feste Querung festzulegen, sowie zum anderen im Vorschlag für ein Rettungskonzept für eine Brücke bzw. einen Tunnel, das im Zuge der Ausarbeitung der technischen Planung erarbeitet wurde. Die Gespräche mit den Bereitschaftsdiensten in Dänemark und Deutschland beginnen im Laufe des Novembers. Ziel ist es einerseits, im Laufe der nächsten 6-9 Monate die organisatorischen Rahmenbedingungen festzulegen, und andererseits, die Meinungen der Bereitschaftsdienste in Bezug auf die technischen Teile des Sicherheits- und Bereitschaftskonzepts einzuholen.

### **Allgemeines Sicherheitskonzept**

Die übergeordnete Zielsetzung für den Fehmarnbelttunnel ist es, dass das Durchfahren des Tunnels mindestens genauso sicher sein soll wie das Befahren einer Autobahn auf offener Strecke.

Um dies sicherzustellen, basiert die Planung der Tunnelkonstruktionen und aller Installationen etc. auf einem übergeordneten Sicherheitskonzept mit folgenden Schwerpunkten:

---

<sup>1</sup> Unter „Bereitschaft“ werden hier Polizei, Rettungsdienst, Feuerwehr und Katastrophenschutz verstanden.

- *Unfällen muss vorgebeugt werden.*  
Primäres Ziel ist es, einen Planungsstand zu erreichen, der Unfällen und anderen Not-situationen vorbeugt.
- *Die Folgen von Unfällen und Notsituationen müssen minimiert werden.*  
Sekundäres Ziel ist es, die Folgen von Unfällen und Notsituationen zu minimieren, wenn diese nicht vermieden werden können.
- *Das Tunneldesign muss den Einsatz von Bereitschaftskräften unterstützen.*  
Das dritte Ziel ist die Einrichtung von ausreichenden Sicherheitssystemen und Bereit-schaftsverfahren, um sicherzustellen, dass die Rettungsdienste bei Unfällen und in Notsituationen mit einem hohen Maß an Sicherheit agieren können.

Im Folgenden werden die wichtigsten Maßnahmen beschrieben, die für jeden der drei Schwerpunkte getroffen wurden. Eine tiefer gehende Übersicht über die Maßnahmen findet sich im Anhang (Anlage A).

Es wurde eine Reihe von Maßnahmen durchgeführt, um Unfällen vorzubeugen. Zum einen werden sowohl der Straßen- als auch der Schienenverkehr in den einzelnen Tunnelröhren jeweils in eine Richtung geführt, was die Gefahr von Frontalzusammenstößen ausschließt (siehe Abb. 1). Hinzu kommt, dass für den Straßenteil des Tunnels – im Gegensatz zum Tunnelteil der Öresundquerung – ein kompletter Standstreifen vorgesehen ist, was bedeutet, dass sich die Gefahr, eine Fahrbahn z. B. im Fall von kleineren Unfällen etc. sperren zu müssen, wesentlich verringert, und es wird auch in weitaus höherem Maß möglich sein, Wartungsarbeiten durchzuführen, ohne Fahrbahnflächen berühren oder die Tunnelröhre sperren zu müssen. Der Tunnel ist ferner mit einem modernen Verkehrsleit- und Verkehrsüberwachungssystem ausgestattet, das es u. a. möglich macht, die Verkehrsteilnehmer über eine variable Beschilderung etc. zu informieren und gleichzeitig über Geschwindigkeitsbegrenzungen einer Staubildung entgegenzuwirken.

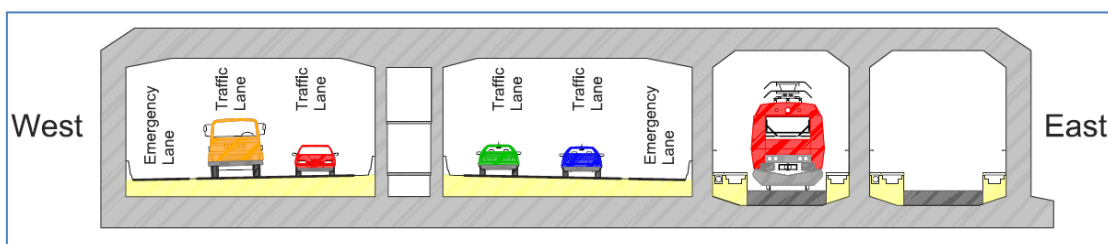


Abb. 1: Querschnitt des Femernbelttunnels

Um die Folgen von Unfällen zu minimieren, soll der Tunnel mit vier parallelen Tunnelröhren und einem Mittelkorridor ausgestattet werden, der sicherstellt, dass es im Falle eines Unfalls oder eines Brandes immer einen sicheren Zufluchtsort gibt. Die Zugangstüren zwischen den Tunnelröhren befinden sich im Abstand von 100 m und sind deutlich gekennzeichnet. Der Korridor ist außerdem mit Überdruck ausgestattet, was dafür sorgt, dass etwaiger Rauch nicht in den Korridor eindringen kann. Darüber hinaus ist der Tunnel mit einer Feuerlöschanlage (Sprinkleranlage) und Feuermeldern ausgestattet. Es sind Lautspre-

chersysteme vorhanden, damit in Not geratene Personen schnell informiert werden können.

Zur Unterstützung der Feuerwehr ist der Tunnel u. a. alle 50 m mit Hydranten ausgestattet. An beiden Enden des Tunnels gibt es Einrichtungen zur Leitung und Durchführung von Rettungseinsätzen, und es werden detaillierte Pläne für den Brandbekämpfungs- und Rettungseinsatz bei verschiedenen Unglücksszenarien ausgearbeitet.

Vor dem Hintergrund des detaillierten Tunneldesigns und Brückendesigns wurden Gefahrenanalysen durchgeführt, die die Häufigkeit von Unfällen mit tödlichem Ausgang in einem Tunnel und auf einer Brücke abschätzen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gefahr für tödliche Unfälle in einem Fehmarnbelttunnel niedriger ist als auf normalen Autobahn- oder Bahnstrecken.

### **Problemstellungen bei der Sicherheit**

Die wesentlichsten Problemstellungen bei der Sicherheit im Zusammenhang mit einer Tunnelquerung sind Verkehrsunfälle, Brand und Terrorangriffe.

#### *Unfälle*

Der Straßentunnel hat die Gestalt und den Status eines normalen Autobahnabschnitts. Wie bei jeder anderen Autobahn werden Verkehrsunfälle vorkommen – typischerweise jedoch weniger häufig und mit weniger Toten. Da der Tunnel wie eine Autobahn mit komplettem Standstreifen ausgelegt ist, wird sich die Vorgehensweise bei einem Unfall nicht wesentlich von der Situation auf einer normalen Autobahn unterscheiden, und normale Verkehrsunfälle werden keine Bedrohung der eigentlichen Tunnelkonstruktion darstellen.

Entsprechendes gilt für die Bahnstrecke, die dasselbe oder ein besseres Sicherheitsniveau im Vergleich zur Öresundquerung erreichen wird.

#### *Brand*

Die wahrscheinlichsten Brandursachen im Tunnel sind Verkehrsunfälle sowie spontan auftretende Brände in Fahrzeugen. Hiervon machen letztere den größeren Anteil aus, da nur bei einem sehr kleinen Teil von Verkehrsunfällen ein Feuer ausbricht.

Im Zusammenhang mit den Brandstatistiken ist es von Nutzen, das Risiko in einem übergeordneten Zusammenhang zu betrachten. Seit dem 2. Weltkrieg wurden weltweit etwa 150 Personen bei Bränden in Straßentunneln getötet. Davon entfallen 39 Todesfälle allein auf den Brand im Mont Blanc-Tunnel im Jahr 1999. Ein beträchtlicher Teil der 150 Personen wurde unterdessen bei einem Verkehrsunfall getötet, der den Brand auslöste, und nicht infolge des eigentlichen Brands (mit dem Mont Blanc-Brand als Ausnahme).

Angesichts der großen Anzahl von Fahrzeugen, die global gesehen täglich durch Tunnel fahren, ist das Risiko eines Todesfalls infolge eines Brandes also außerordentlich gering. Dies belegt auch die Statistik der Öresundquerung, wo es seit Eröffnung im Jahr 2000 im Tunnel einen einzigen Brand in einem Fahrzeug gegeben hat, der im Übrigen mit einem

Handfeuerlöscher gelöscht wurde. Dies muss vor dem Hintergrund der Tatsache gesehen werden, dass seit der Eröffnung 50 Mio. Fahrzeuge die Querung passiert haben.

Für den Fall, dass es in einem Fehmarnbeltunnel zu einem Brand kommt, ist das Risiko, dass dies zu ernsthaften Schäden am Tunnel führt, sehr begrenzt. Der Tunnel ist so gestaltet, dass er bis zu 3 Stunden einem Brand mit Temperaturen von mehr als 1200 Grad widerstehen kann, ohne dass die tragenden Elemente Schaden nehmen. Dies entspricht dem Hitzegrad, der infolge eines Brands in einem Öl- oder Benzintanklastzug entstehen kann.

Hinzu kommt, dass der Tunnel mit einer Sprinkleranlage, Hydranten, einem Lüftungssystem etc. ausgestattet ist, die den Umfang des Brandes einschränken und die Brandbekämpfung bedeutend erleichtern werden.

### *Terror*

Während der Ausarbeitung des Tunneldesigns wurde das Projekt übergeordnet von einem Experten für internationalen Terrorismus bewertet.

Die Schlussfolgerung lautet, dass die Querung aufgrund ihrer Größe und der Tatsache, dass sie zwei Länder verbindet, einerseits ein verlockendes Ziel für Terroristen darstellen kann. Andererseits scheint sich die Strategie des internationalen Terrorismus in etwas andere Richtungen zu bewegen, nämlich hin zu Bauwerken mit hohem Symbolwert (World Trade Center in New York, Eiffelturm usw.) oder zu Zielen, an denen man mit einem Schlag mit Sicherheit viele Menschen töten kann (z. B. Bahnhöfe und U-Bahn-Stationen).

Der Fehmarnbeltunnel erfüllt unmittelbar keines dieser Kriterien. Es kann jedoch nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass eine feste Querung über den Fehmarnbelt einem Terrorangriff ausgesetzt werden könnte.

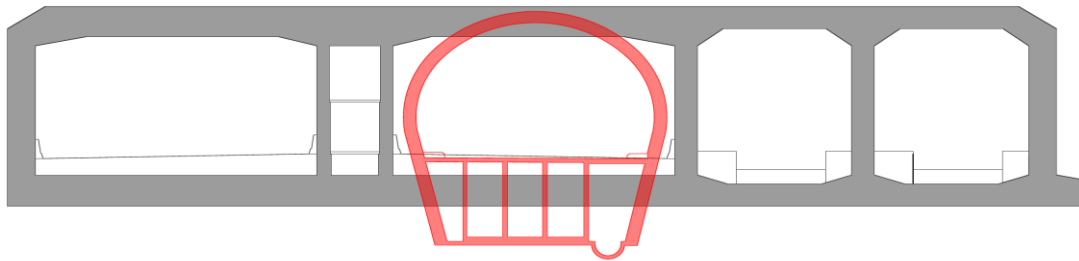
Sofern gegen einen Fehmarnbeltunnel ein Terrorangriff erfolgen sollte, so ist es am wahrscheinlichsten, dass dies in Form einer Bombenexplosion geschieht. Die Auswirkungen einer derartigen Bombenexplosion könnten – wenn die Bombe stark genug ist – sowohl für Personen, die sich zum Explosionszeitpunkt im Tunnel befinden, als auch für den Tunnel selbst katastrophale Konsequenzen haben.

Es müsste sich jedoch um eine ziemlich bedeutende Sprengkraft handeln, ehe die Konstruktion des Tunnels Schaden nimmt. Die Außenwände des Tunnels sind mit 1,1 – 1,3 m Stahlbeton dimensioniert, was einer Bunkerkonstruktion entspricht. Um dem Tunnel ernsthaft zu schaden, müssten daher große Mengen Sprengstoff verwendet werden. Doch natürlich können auch kleinere Bombenexplosionen zu Personenschäden führen.

Auch wenn ein Fehmarnbeltunnel einem Terrorangriff ausgesetzt werden kann, ist es unwahrscheinlich, dass der Bau eines Fehmarnbeltunnels zu einem erhöhten Risiko für ernsthafte Terrorangriffe in Dänemark führen wird. Es gibt für Terrorangriffe in Dänemark bereits eine Reihe geeigneter Ziele im Bereich der Verkehrsinfrastruktur, die organisierte Terroristen angreifen könnten (z. B. die Öresundquerung, die Querung des Großen Belts,



Ein ähnliches Ereignis mit einem Brand in einem Lastwagen wird nicht dieselben katastrophalen Konsequenzen haben, wenn es in einem Fehmarnbelttunnel passiert. Das liegt zum einen daran, dass der Fehmarnbelttunnel (siehe Abb. 1 oben) mit vier parallelen Tunnelröhren und einem Korridor ausgestattet werden soll, was bedeutet, dass in Not geratene Personen bei der Evakuierung des Tunnels die Tunnelröhre wechseln und sich so aus der Gefahrenzone bringen. Die getrennten Tunnelröhren bedeuten ferner, dass sich die Rettungsmannschaft sicher in der parallelen Tunnelröhre bis zur Unfallstelle bewegen kann, was die Bekämpfung des Brandes sehr erleichtert. Hinzu kommt, dass der Fehmarnbelttunnel wie erwähnt mit einer Sprinkleranlage und einem weitaus besseren Lüftungssystem ausgestattet sein wird, wodurch es einerseits möglich ist, den Brand zu kühlen/zu bekämpfen, und andererseits den Rauch zu kontrollieren. Darüber hinaus hat man u. a. aus der Mont Blanc-Katastrophe in Bezug auf die Bereitschaft gelernt, was sich u. a. in einer weitaus besseren Regelung auf europäischer Ebene niedergeschlagen hat, die u. a. Anforderungen an die Bereitschaftsplanung festlegt.



*Abb. 3: Querschnitt des Fehmarnbelttunnels im Vergleich zum Mont Blanc-Tunnel*

Nachstehend folgt ein weiterer kurz gefasster Vergleich der Gegebenheiten im Mont Blanc-Tunnel im Jahr 1999 und des vorliegenden Projekts für den Fehmarnbelttunnel.

<b>Mont Blanc</b>	<b>Fehmarn</b>
Einzigste Fluchtmöglichkeit waren Kabinen mit begrenzter Widerstandsfähigkeit gegen Rauch und Hitze	Möglichkeit zur Flucht in den Mittelkorridor mit Überdruck sowie Nebentunnelröhren
Verantwortung für den Tunnelbetrieb zwischen Frankreich und Italien geteilt	Tunnelbetrieb sowie Leitung der Brandbekämpfungs- und Rettungsarbeiten liegen eindeutig in einer Hand (Dänemark)
Die relevante Feuerlöschschiene befand sich auf der französischen Seite – doch ein Vordringen war nur von der italienischen Seite her möglich	Getrennte Tunnelröhren, d. h. Löschfahrzeuge können von beiden Seiten in die nicht betroffene Tunnelröhre einfahren. Ferner wird davon ausgegangen, dass sich Feuerwehr- und Rettungsfahrzeuge auf beiden Seiten des Belts befinden.
Keine Feuerlöschanlage	Sprinkleranlage wird installiert
Keine automatische Unfallerkennung	AID-System (Accident Incident Detection) wird installiert
Lüftungsanlage wurde falsch bedient (Ab-	Einfaches Lüftungsprinzip mit automati-

sauganlage wurde zum Einblasen verwendet)	schem Start – wenig Möglichkeiten für eine Fehlbedienung
---	--

### Anlage 1 – Vertiefende Informationen

Im Zuge der Arbeiten, einen Vorschlag zur Tunnellösung für eine Feste Fehmarnbeltquerung zu entwerfen, wurde umfassendes Material ausgearbeitet, das diverse sicherheitstechnische Problemstellungen behandelt, hierunter u. a. folgende Dokumente, die der vorliegenden Notiz zugrunde liegen:

- *Operational Risk Analysis* – Dieser Bericht beschreibt die individuellen Risikobeiträge, sodass dokumentiert ist, dass das gesamte Sicherheitsniveau für das entwickelte Tunnelprojekt eingehalten ist.
- *Safety & Rescue Plan* – Dieser Bericht beschreibt die verschiedenen Sicherheitssysteme vor dem Sicherheitskonzept und dem kommenden Sicherheitsplan.
- *Sicherheitskonzept* – ist eine detaillierte Beschreibung der drei Niveaus, in die die Tunnelsicherheit aufgeteilt ist: Vorbeugung, Selbsthilfe und Rettungseinsatz.

### Übersicht über risikominimierende Maßnahmen im Fehmarnbelttunnel

Wie in der Notiz erwähnt, ist der Fehmarnbelttunnel nach einem übergeordneten Sicherheitskonzept auf der Basis folgender drei Prioritäten gestaltet worden:

- *Unfällen muss vorgebeugt werden.*
- *Die Folgen von Unfällen und Notsituationen müssen minimiert werden.*
- *Das Tunneldesign muss den Einsatz von Bereitschaftskräften unterstützen.*

Im Folgenden werden die wesentlichsten Gestaltungselemente aufgelistet, die die drei Prioritäten unterstützen.

#### Vorbeugung von Unfällen

Folgende Maßnahmen im Tunnel tragen u. a. dazu bei, Unfällen vorzubeugen:

- Tunnelröhren führen Verkehr in eine Richtung – keine Möglichkeit für Frontalzusammenstöße
- Jede Tunnelröhre ist mit einem Standstreifen versehen – wie bei einer normalen Autobahn
- Geringe Steigung/geringes Gefälle der Fahrbahn
- Umfassende und fortschrittliche Verkehrsüberwachungs-, Verkehrsleit- und Kommunikationssysteme sorgen schnell und genau für Informationen über etwaige Ereignisse
- Konstant besetzte Überwachungszentrale
- Verkehrsleitsystem, das Staubildung verhindert
- Variable Beschilderung mit der Möglichkeit, die Verkehrsteilnehmer zu informieren
- Höhererkennung am Einfahrtsportal
- Variierende Beleuchtung des Tunnels zur Vorbeugung von Ermüdungserscheinungen beim Fahrer
- Aktive Markierungslichter entlang der Fahrbahn
- Wartungsaktivitäten können hauptsächlich außerhalb der Verkehrsfläche erfolgen

### Minimierung von Folgen

Folgende Maßnahmen tragen dazu bei, die Folgen von Unfällen im Tunnel zu minimieren:

- Vier parallele Tunnelröhren + Mittelkorridor – es wird immer einen sicheren Zufluchtsort geben
- Querverbindung zwischen Tunnelröhren alle 100 m
- Überdrucklüftung des Mittelkorridors – sichert frische Luft und keinen Rauch
- Hohe Brandbeständigkeit bei kritischen Konstruktionselementen (der Tunnel ist für einen normalen Brand von 3 Stunden ausgelegt, was bedeutet, dass in diesem Zeitraum keine oder nur unbedeutende Schäden an der tragenden Konstruktion entstehen)
- Automatische Brandentdeckung
- Feuerlöschanlage (Sprinkleranlage) in allen Tunnelröhren
- Hochleistungslüftungssystem in Längsrichtung
- Lautsprecher bieten die Möglichkeit, Anweisungen an die Verkehrsteilnehmer zu erteilen
- Ausstrahlung von Anweisungen an Verkehrsteilnehmer über das Autoradio auf dem FM-Band
- Deutliche Kennzeichnung von Notausgängen – mit Schildern, die den Abstand zum nächsten Ausgang angeben
- Notbeleuchtung, die sich bei Stromausfall einschaltet
- Notstationen mit u. a. Nottelefonen und Feuerlöschern alle 50 m

### Unterstützung des Rettungseinsatzes

In den Fällen, in denen ein Rettungseinsatz erforderlich ist, unterstützen folgende Maßnahmen die Arbeit der Bereitschaftsdienste.

- Breite Palette an Kommunikationssystemen: FM-Radio, Mobiltelefonie, Nottelefone, TETRA-Funksystem
- Hydranten alle 50 m in allen Tunnelröhren
- Verbindung zwischen den verschiedenen Tunnelröhren alle 100 m
- Einrichtungen an beiden Tunnelportalen zur Leitung und Durchführung des Rettungseinsatzes
- Automatische Feuerlöschanlage (Sprinkleranlage) in den Tunnelröhren – ermöglicht jeden Rettungseinsatz
- Detaillierter Plan für den Brandbekämpfungs- und Rettungseinsatz bei verschiedenen Unglücksszenarien

## Anlage 2 - Lüftungssystem des Fehmarnbelttunnels

### 1. Einleitung

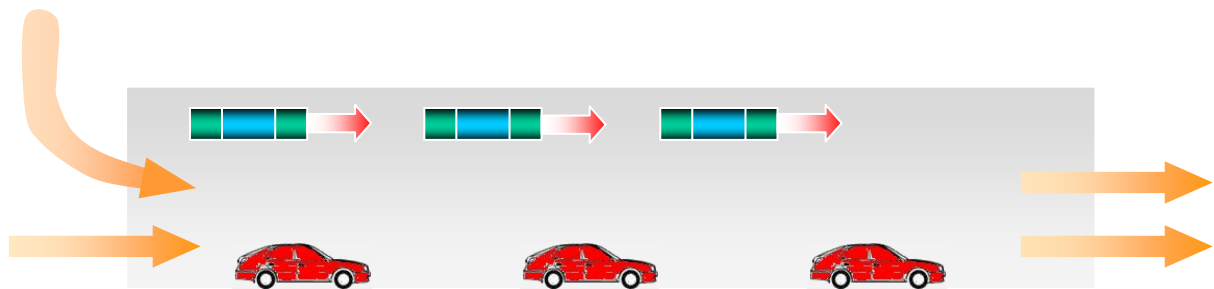
Auf der Grundlage des Beitrags vom Tunnelplanungskonsortium der Gesellschaft, Rambøll, Arup, TEC, wird in dieser Notiz kurz das Lüftungssystem im Fehmarnbelttunnel beschrieben, hierunter werden die Unterschiede zu dem Lüftungssystem aufgezeigt, das in der Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 1999 vorgeschlagen war.

Mit dem Lüftungssystem werden zwei Dinge bezweckt:

**Beim täglichen Betrieb:** Wenn die natürliche Ventilation (d. h. der Kolbeneffekt von den Autos) zur Einhaltung der gestellten Anforderungen an die Luftqualität nicht ausreicht, soll das Lüftungssystem die notwendige Frischluftversorgung sicherstellen.

**Im Falle eines Unfalls:** In den seltenen Fällen eines ernsthaften Brandes oder eines Austritts schädlicher Gase im Tunnel muss das Lüftungssystem sicherstellen, dass Rauch oder Gase aus dem Tunnel geblasen werden, sodass Personen, die sich im Tunnel befinden, nicht geschädigt werden.

Im Fehmarnbelttunnel kommt ein so genanntes Längslüftungsprinzip zum Einsatz, bei dem die Ventilatoren die Luft vom Einfahrtsportal durch den gesamten Tunnel zum Ausfahrtsportal blasen (siehe unten stehende Abbildung). Im Fehmarnbelttunnel besteht das System aus Gruppen von so genannten Impulsventilatoren (meist drei Stück), die etwa alle 400 m an der Decke des Tunnels angebracht sind.



Längslüftung mit Impulsventilatoren

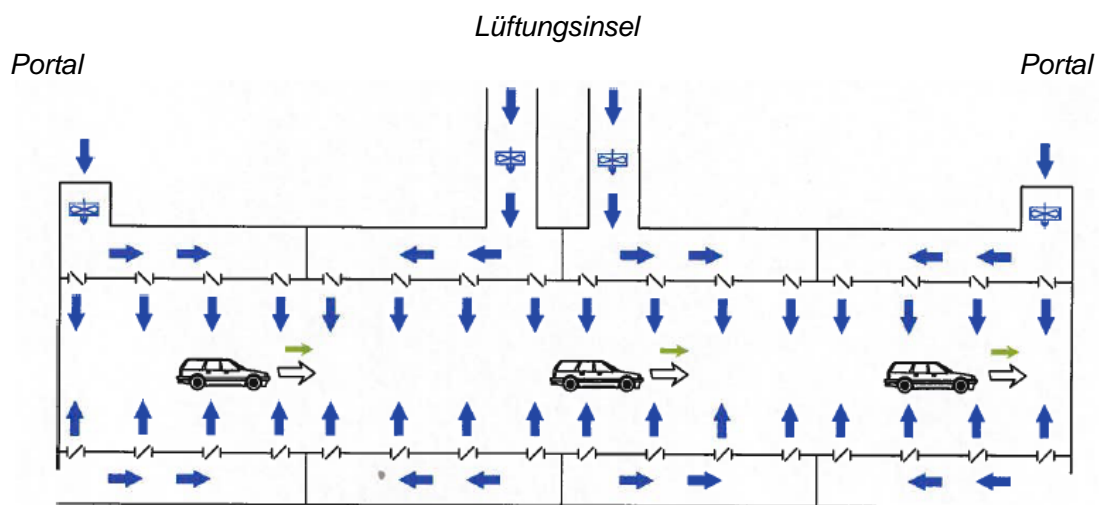
### 2. Täglicher Betrieb der Lüftungsanlage

Im täglichen Betrieb wird der Kolbeneffekt von den Autos normalerweise für einen ausreichenden Luftaustausch in den Tunnelröhren sorgen. Es kann jedoch zu Situationen kommen, in denen die Geschwindigkeit der Autos aufgrund von Wartungsarbeiten oder eines Unfalls herabgesetzt wird. In diesem Fall kann es erforderlich sein, die Ventilatoren zu starten, um die vorgegebenen Grenzwerte für die Verschmutzung der Tunnelluft einzuhalten.

Die Verschmutzungskonzentrationen werden durch die Tunnelröhre gleichmäßig ansteigen und ihr Maximum kurz vor dem Ausfahrtsportal erreichen. Die Kapazität der Ventilatoren muss somit ausreichen, um hier die Grenzwerte einhalten zu können.

In der Machbarkeitsstudie von 1999 kam man zu dem Schluss, dass eine Lüftungsanlage mit reiner Längslüftung betriebswirtschaftlich nicht optimal wäre, da die notwendige Kapazität so unrealistisch groß und die notwendige Betriebszeit hoch werden würde.

Die Machbarkeitsstudie arbeitete daher mit einem anderen Konzept für die Lüftung, nämlich einer so genannten Halbquerlüftung – siehe unten stehende Abbildung.



*Das in der Machbarkeitsstudie verwendete Halbquerlüftungssystem*

In die Machbarkeitsstudie floss daher eine Lüftungsisel mitten im Femernbælt ein, die zum Ansaugen und Ausblasen von Lüftungsluft verwendet wird. Die Luft wird der Tunnelröhre durch einen in Längsrichtung verlaufenden Kanal zugeführt, der teils über die Lüftungsisel und teils über die Lüftungsbauwerke an jedem Portal gespeist wird. Ein Teil der Luft wird über die Lüftungsisel ausgeblasen, und der Rest verlässt die Tunnelröhre durch die Portale.

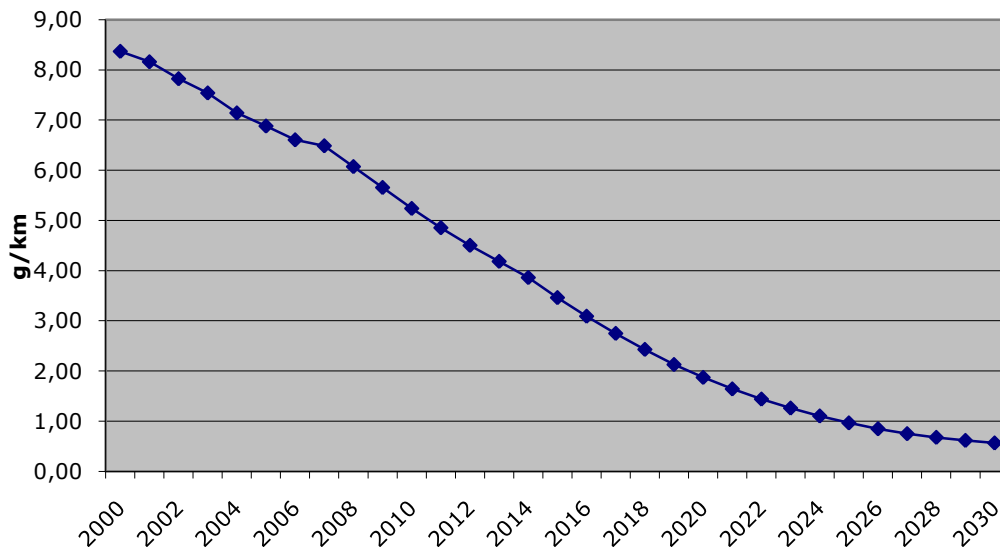
Mit diesem Lüftungskonzept kann man der Tunnelröhre wesentlich mehr Luft zuführen als durch reine Längslüftung, doch das Funktionsprinzip benötigt auch viele elektromechanische Komponenten, die gewartet werden müssen und ein höheres Ausfallrisiko mit sich bringen. Es muss angemerkt werden, dass das Lüftungskonzept in der Machbarkeitsstudie nicht die Möglichkeit bot, die Ausbreitungsrichtung des Rauchs zu steuern, was heute vorgeschrieben ist.

Wenn man damals davon ausging, dass die Halbquerlüftung das optimale System ist, so liegt das daran, dass man in der Machbarkeitsstudie von Fahrzeugemissionen ausging, die die heute zu erwartenden Werte weit überstiegen. Die Emissionsdaten in der Machbarkeitsstudie stammen vom Anfang der 1990er Jahre. In den vergangenen Jahren haben

sich die Fahrzeugemissionen aufgrund der technischen Entwicklung und der schärferen Umweltvorschriften bis heute stark verringert.

Es wird erwartet, dass sich dies in den nächsten Jahrzehnten hin zu sehr niedrigen Emissionswerten fortsetzt – siehe unten stehendes Diagramm, das die erwartete Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emission von Lastwagen zeigt.

### NO<sub>x</sub> für LKWs (85 km/h)



Der Fall der Emissionswerte wiegt den erwarteten Anstieg der Verkehrsmenge mehr als auf.

Der dramatische Fall der Emissionen hat es möglich gemacht, im Fehmarnbeltunnel eine reine Längslüftung zu verwenden, was die Lüftungsanlage einfacher und robuster macht. Darüber hinaus wird eine Verringerung der gesamten Baukosten erreicht, da der Tunnelquerschnitt spürbar verringert werden kann.

### 3. Lüftung bei einem Brand/Unfall

Im Falle eines Brandes oder bei Entweichen giftiger Dämpfe muss die Lüftungsanlage dafür sorgen, dass die Verkehrsteilnehmer sicher aus dem Tunnel kommen, und dass die Rettungs- und Brandbekämpfungsmannschaften sicher arbeiten können.

Dies soll durch eine Steuerung der Ausbreitungsrichtung von Rauch oder Gasen erfolgen – eventuell ergänzt um eine Absauganlage, die Rauch oder Gase ganz oder teilweise entfernen kann. Die Absauganlage ist in den Situationen von Bedeutung, in denen Fahrzeuge, die sich hinter dem Brand befinden, aus irgendeinem Grund nicht frei aus dem Tunnel ausfahren können.

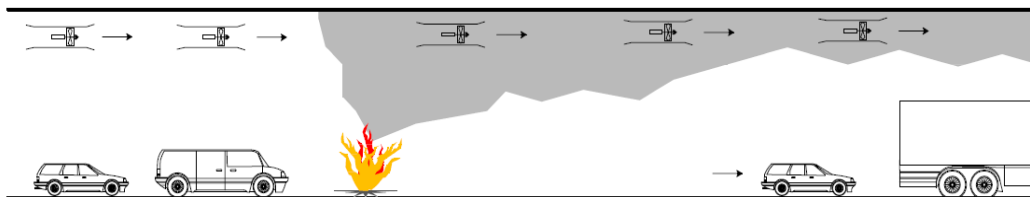
Diese Situation kann in Tunneln in städtischer Bebauung entstehen, wo Lichtenanlagen etc. Fahrzeugschlangen verursachen können, die sich bis in Tunnel zurückstauen können. Der

Fehmarnbeltunnel ist jedoch ein Autobahntunnel im ländlichen Bereich, wo der Verkehr unter normalen Umständen frei fließt – unterstützt durch eine intelligente Verkehrsleitungsanlage.

Nur wenn gleichzeitig mit einem Brand im Tunnel hinter dem Brand noch ein Unfall passiert, könnte es zu einer Situation kommen, bei der eine Anzahl von Fahrzeugen daran gehindert ist, frei aus dem Tunnel auszufahren.

Die Statistik sowohl in Dänemark als auch in anderen Ländern zeigt unterdessen, dass ein derartiges Doppelereignis außerordentlich selten ist. Sollte es dennoch eintreffen, werden die Verkehrsteilnehmer in den Fahrzeugen, die nach dem zweiten Unfall am Weiterfahren gehindert sind, über die verschiedenen Kommunikationssysteme (Lautsprecher und Radio) gebeten werden, ihre Fahrzeuge umgehend zu verlassen und zum nächsten Notausgang zu gehen. Es werden maximal etwa 50 m zum nächsten Notausgang sein, was bedeutet, dass die Evakuierungszeit sehr kurz sein wird.

Im Fehmarnbeltunnel wird das Längslüftungssystem verwendet, um Rauch oder Gase in Richtung des Verkehrs zu zwingen (siehe unten stehende Abbildung).



Die Verkehrsteilnehmer, die sich auf der Strecke zwischen dem Brand und dem Ausfahrtsportal befinden, fahren unbehelligt aus dem Tunnel. Für die Verkehrsteilnehmer, die durch den Brand gestoppt werden, sorgen die Ventilatoren dafür, dass die Tunnelröhre vor dem Brand rauchfrei gehalten wird, sodass sie ihre Fahrzeuge sicher verlassen und sich im Mittelkorridor in Sicherheit bringen können.

Darüber hinaus wird in den Tunnelröhren eine Sprinkleranlage installiert, die lokal dazu beitragen wird, die Größe und Ausbreitung eines Brands und damit auch die Rauchentwicklung zu begrenzen.

Das Lüftungskonzept in der Machbarkeitsstudie nutzte das Kanalsystem, das man aus Rücksicht auf die Lüftung im täglichen Betrieb geplant hatte (siehe Abschnitt 2). Einer der in Längsrichtung verlaufenden Kanäle für das Einblasen von Luft wurde somit durch Ändern der Luftrichtung stattdessen zum Absaugen verwendet.

Die Umsetzung dieses Konzepts wird heutzutage nicht mehr empfohlen, da man aus Erfahrung weiß, dass das Umkehren der Luftrichtung in so großen Kanalsystemen wie hier zu lange dauert.

Das Lüftungskonzept in der Machbarkeitsstudie bot, wie bereits erwähnt, keine Möglichkeit, die Ausbreitungsrichtung des Rauchs zu steuern. Dies wäre heute vorgeschrieben und würde dazu führen, dass das ursprünglich beschriebene Lüftungskonzept trotzdem um Impulsventilatoren für die Lüftung in Längsrichtung ergänzt werden müsste.

Das vorliegende Sicherheitskonzept ist somit auf die Bekämpfung eines wesentlich größeren Brandereignisses ausgelegt, als dies für die Machbarkeitsstudie der Fall war, und erfüllt damit auch die Anforderungen in den deutschen Vorgaben.