

Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg		Regierungspräsidium Stuttgart	
Straße:	BAB 81	Station:	BAB-km 590+180 bis BAB-km 597+400
<p style="text-align: center;">6-streifiger Ausbau der BAB 81 AS Sindelfingen-Ost - AS Böblingen-Hulb</p>			
PSP Element: V.2140.A00081.A 15.117.45			

Feststellungsentwurf

Teil D

Gutachterliche Stellungnahme zur Grobabschätzung der Lüftung des geplanten Tunnels



DMT GmbH & Co. KG
 Geschwister-Scholl-Straße 21, 04205 Leipzig
 Tel.: 0341 3331-400 Fax: 0341 3331-420

<p>Aufgestellt: Regierungspräsidium Stuttgart Abt. 4 Straßenwesen und Verkehr Ref. 44 Straßenplanung</p> <p style="text-align: right;"><i>[Handwritten Signature]</i></p> <p>Stuttgart, den 29.02.2016</p>	

Gutachtliche Stellungnahme
zur Grobabschätzung der Lüftung des geplanten Tunnels im Zuge der A 81
bei Sindelfingen

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Tetzner

Bericht-Nr.: 2065 6750

Version: 1.1

Datum: 23.02.2016

Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart

Inhalt

Bildverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis.....	3
Anlagenverzeichnis	3
1. Einführung	4
2. Ausgangssituation	5
2.1 Zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	5
2.2 Beschreibung der bestehenden Tunnelanlage	5
2.3 Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet.....	6
3. Anforderungen an die Lüftung.....	8
3.1 Regelbetrieb	8
3.2 Brandfall.....	8
3.3 Immissionsbetrachtung.....	9
4. Lüftungssysteme für Straßentunnel	10
4.1 Natürliche Lüftung.....	10
4.2 Mechanische Längslüftung	11
4.3 Querlüftung/ Rauchabsaugung.....	12
5. Auswahl des Lüftungssystems für den Tunnel A 81	14
5.1 Längslüftung	14
5.2 Querlüftung/ Rauchabsaugung.....	16
5.3 Zusammenfassung	18
6. Untersuchung der generellen Machbarkeit der Längslüftung.....	19
6.1 Dimensionierung der Lüftung für den Regelbetrieb	19
6.2 Dimensionierung der Lüftung im Brandfall.....	22
6.3 Empfehlungen zur Überwachung und Steuerung der Lüftung.....	27
7. Kostenschätzung.....	29
8. Zusammenfassung.....	31
Literatur	33

Bildverzeichnis

Bild 1:	Regelquerschnitt der Tunnelanlage	5
Bild 2:	Prinzip der natürlichen Lüftung	10
Bild 3:	Prinzip der Längslüftung mit Strahlventilatoren	11
Bild 4:	Prinzip der Längslüftung durch Mittenabsaugung.....	12
Bild 5:	Prinzip der Querlüftung	13
Bild 6:	Rauchabführung bei Längslüftung mit kritischer Geschwindigkeit.....	15
Bild 7:	Rauchabführung bei Längslüftung mit Geschwindigkeiten von < 1,5 m/s	15
Bild 8:	Rauchabführung bei Rauchabsaugung über fernsteuerbare Abluftklappen	16
Bild 9:	Rauchabführung bei punktueller Rauchabsaugung über einen Abluftschacht	17
Bild 10:	100 MW-Bemessungsbrand als Brandszenario für einen voll beladenen Lkw	22
Bild 11:	Anordnung der Ventilatoren in Deckennischen	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Luftbedarf im Tunnel A 81	20
Tabelle 2:	Erwartete Luftgeschwindigkeiten im Tunnel A 81 bei Selbstlüftung	21
Tabelle 3:	Statistisch abgeschätzte Zeiträume zwischen zwei Ereignissen für den Tunnel A 81	24
Tabelle 4:	Dimensionierung nach RABT-Ansatz für einen 100 MW-Brand	24
Tabelle 5:	Technische Daten der Strahlventilatoren	26
Tabelle 6:	Kostenzusammenstellung bei mechanischer Längslüftung	29

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Windrose der Wetterstation Stuttgart-Echterdingen (Zeitraum 1992-2001), Deutscher Wetterdienst
----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------

1. Einführung

Der Autobahnabschnitt der BAB A 81 zwischen den Anschlussstellen (AS) Sindelfingen und Böblingen/ Hulb weist gegenwärtig zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung auf. Ein Seitenstreifen ist nicht vorhanden.

Es ist ein Ausbau der Bestandsstrecke auf drei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung mit einem breiten Seitenstreifen vorgesehen, der eine temporäre Seitenstreifenfreigabe ermöglicht. In diesem Autobahnabschnitt ist weiterhin eine Überdeckung aller Fahrstreifen (Tunnel) über eine Länge von 850 m vorgesehen.

Für die Erarbeitung des RE-Entwurfs wurde von der DMT GmbH & Co. KG (DMT) bereits im Jahr 2012 ein Grobkonzept für die Lüftung dieses Tunnels im Regelbetrieb und im Brandfall erstellt. Aufgrund geänderter Ausgangsdaten wurde die DMT vom Regierungspräsidium Stuttgart mit einer Überarbeitung des Grobkonzepts beauftragt.

2. Ausgangssituation

2.1 Zur Verfügung gestellte Unterlagen

Die Bearbeitung wird auf Basis folgender Unterlagen durchgeführt:

- Übersichtslageplan 2 für den 6-streifigen Ausbau der A 81 zwischen der AS Sindelfingen und der AS Böblingen-Hulb, Stand 30.06.2011
- Straßenquerschnitt 2 (Tunnel) für den 6-streifigen Ausbau der A 81 zwischen der AS Sindelfingen und der AS Böblingen-Hulb, Stand 30.06.2011
- Verkehrsuntersuchung A 81 – 6-streifiger Ausbau zwischen AS Böblingen-Hulb und AS Sindelfingen –Ost, Stand Februar 2016

2.2 Beschreibung der bestehenden Tunnelanlage

Tunnelsystem

Die Tunnelanlage soll aus zwei Röhren bestehen, die in offener Bauweise errichtet werden. Der Verlauf der Tunnelröhren liegt in Ost-West-Richtung. Das Ostportal liegt bei etwa 60° und das Westportal etwa bei 245° gegenüber Nord.

Die Länge der beiden Tunnelröhren beträgt jeweils 850 m. Etwa in der Mitte weist der Tunnel einen Scheitelpunkt auf, von dem aus in östliche Richtung ein Gefälle von 1,20 % und in westliche Richtung von 2,95 % vorgesehen ist. Die als Rechteck ausgebildeten Röhren sollen jeweils eine Gesamtbreite von 17,0 m aufweisen. Die Tunnelhöhe soll ca. 5,0 m betragen. In jeder Röhre sind drei Fahrstreifen sowie ein Seitenstreifen für die temporäre Verkehrsfreigabe mit Breiten von jeweils 3,50 m sowie beidseitig angeordnete Notgehwege von jeweils 1,00 m (vgl. Bild 1) vorgesehen.

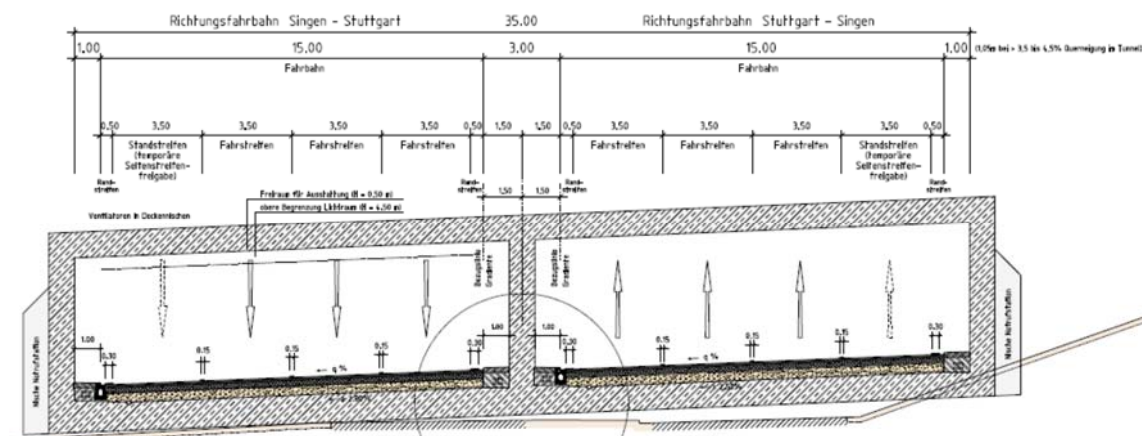


Bild 1: Regelquerschnitt der Tunnelanlage

Der Abstand der Notausgänge untereinander und zu den Portalen wird entsprechend der Mindestforderung der RABT [1] mit maximal 300 m angenommen.

Betriebstechnische Ausstattung

Die betriebstechnische Ausstattung soll gemäß RABT [1] erfolgen.

Verkehrsdaten

Im Rahmen der vorstehend genannten Verkehrsuntersuchung wird ausgehend von einer Verkehrsanalyse ein Projekt-Planfall 2030 für den Prognosehorizont 2030 betrachtet, der neben dem 6-streifigen Ausbau der A 81 vor allem den Umbau der AS Sindelfingen-Ost und Böblingen-Ost sowie die Neuordnung der K 1055 und K 1057 berücksichtigt.

Für den Projekt-Planfall 2030 wird zwischen den Anschlussstellen AS Böblingen/ Sindelfingen und AS Böblingen-Ost in 2030 eine tägliche Verkehrsbelastung von 117.500 Kfz mit einem Schwerverkehr von 14.610 Fahrzeugen (SV-Anteil von 12,4 %) erwartet. Die maßgebende stündliche Verkehrsstärke MSV wird in Fahrtrichtung AS Böblingen-Ost mit 4.997 Kfz/h bei einem SV-Anteil von 9,5 % und in Fahrtrichtung AS Böblingen/ Sindelfingen mit 4.299 Kfz/h bei einem SV-Anteil von 11,5 % angegeben.

Es wird eine maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit im Tunnel von 100 km/h berücksichtigt.

Nach Aussagen des Auftraggebers wird bei Freigabe des Seitenstreifens nur in Zusammenhang mit anderen Ereignissen (Gefahrenstelle, Unfall o.ä.) mit Stau im Tunnel gerechnet.

2.3 Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet

Für die Untersuchung wird die Windrose der Wetterstation Stuttgart-Echterdingen zugrunde gelegt. Für den Zeitraum von 1992 bis 2001 weist diese Windrose als Hauptwindrichtungen zum einen den Sektor von Südsüdwest (210°) bis West (270°) mit einem Anteil von etwa 40 % aus. Dabei treten Winde aus Westsüdwest (240°) mit etwa 18,1 % am häufigsten auf. Die maximalen Windgeschwindigkeiten betragen 12 m/s. Zum anderen treten mit etwa 12,7 % häufig Winde aus östlicher Richtung (90°) auf, wobei die maximale Windgeschwindigkeit 8 m/s beträgt. Diese Windgeschwindigkeiten sind jeweils auf eine Höhe von 10 m über Gelände bezogen.

Für die Ermittlung der maßgeblichen Windeinflüsse auf die Tunnelportale werden die extremen Windgeschwindigkeiten vernachlässigt und die 90%-Fraktile berücksichtigt.

Weiterhin ist die Windrichtung bezüglich der Lage zu den Portalen und die Abminderung der Windgeschwindigkeit bezogen auf eine Höhe von etwa 4 m über Gelände entsprechend der jeweiligen Geländekategorie zu beachten.

Für das Westportal (245°) ergibt sich daraus eine maßgebliche Windgeschwindigkeit von 4,75 m/s und für das Ostportal (60°) von 3,3 m/s.

Für die Immissionsuntersuchungen des Streckenabschnitts der A 81 (vgl. Bericht-Nr. 1863I – Fachgutachten zu den Schadstoffimmissionen) werden Winddaten der DEKRA-Messstelle am Krankenhaus Sindelfingen zugrunde gelegt und auf die Trasse der A 81 übertragen. Dabei zeigt sich eine geringfügige Abweichung der Hauptwindrichtungen aus südwestlicher Richtung im Sektor 210° bis 230° mit maximalen Windgeschwindigkeiten von mehr als 8 m/s und einer Häufigkeit von etwa 23,5 % und aus östlicher Richtung im Sektor 70° bis 90° mit maximalen Windgeschwindigkeiten von 6 bis 8 m/s und einer Häufigkeit von etwa 10,5 %. Die angegebenen Windgeschwindigkeiten beziehen sich auf eine Höhe von 25 m über Gelände. Die vorstehend dargestellten maßgeblichen Windgeschwindigkeiten an den Portalen werden damit bestätigt.

3. Anforderungen an die Lüftung

3.1 Regelbetrieb

Im Regelbetrieb hat die Lüftung eine Versorgung mit ausreichend frischer Zuluft und die Abführung der Abluft, die Sicherstellung ausreichender Sichtverhältnisse in der mit Abgasen und Staub belasteten Tunnelluft und die Verhinderung unzulässiger Schadstoffimmissionen durch Tunnelabluft in der Umgebung des Tunnels zu leisten [1].

Der Luftbedarf ist in jedem Verkehrszustand (Flüssiger Verkehr, stockender Verkehr, Stillstand) bei jeweils größter Verkehrsdichte zu ermitteln. Als Kriterien für die Luftqualität werden dabei die Sichttrübung durch Partikeln (Dieselruß und Reifenabrieb) sowie die Kohlenmonoxid (CO)-Konzentration verwendet. Als zusätzliches Kriterium ist bei Längslüftung eine Mindestluftgeschwindigkeit im Fahrraum von 1,5 m/s zu gewährleisten.

Die Immissionsbelastung im Freien (in der Nähe der Tunnelportale) kann anhand der Konzentrationen von Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Partikeln PM₁₀ und PM_{2,5} beurteilt werden.

3.2 Brandfall

Im Brandfall hat die Lüftung die Rauch- und Wärmewirkungen auf den Fluchtwegen im Tunnelraum und auf den Rettungswegen zu verringern, die Selbstrettung der Tunnelnutzer auf den gegebenen Fluchtwegen in der Selbstrettungsphase und auf den Rettungswegen zu ermöglichen sowie die Fremdrettung und Brandbekämpfung zu unterstützen.

Der Luftbedarf ergibt sich abhängig vom gewählten Lüftungssystem (vgl. auch Abschnitt 4). Bei Systemen mit Längslüftung ist das entscheidende Kriterium die Längsströmungsgeschwindigkeit und bei Systemen mit Rauchabsaugung der Rauchabsaugstrom.

Bei der Steuerung der Lüftung wird weiterhin nach der Selbstrettungsphase und der Brandbekämpfungsphase unterschieden. In der Selbstrettungsphase soll die Lüftung automatisch über die Branddetektionssysteme geregelt werden, während in der Brandbekämpfungsphase auch ein manueller Betrieb durch die Einsatzdienste erfolgen kann.

Maßgebende Brandgröße

Laut RABT ist für die Dimensionierung einer mechanischen Lüftung im Brandfall ein Bemessungsbrand zugrunde zu legen, der "einen Lkw-Brand" abbilden soll. Die Be-

messungsbrandleistung wird abhängig von der Lkw-Fahrleistung festgelegt und entspricht im Minimum einer Energiefreisetzungsrate von 30 MW. Bei einer Lkw-Fahrleistung von mehr als 4.000 bis maximal 6.000 Lkw-km pro Tag und Röhre steigt die Bemessungsbrandleistung auf 50 MW, und bei einer Lkw-Fahrleistung von mehr als 6.000 Lkw-km pro Tag und Röhre ist sie nach einer Risikoabwägung auf bis zu 100 MW zu erhöhen.

Auf Basis der vorstehend genannten Verkehrsprognose für das Jahr 2030 ergibt sich für beide Röhren des Tunnels A 81 eine Lkw-Fahrleistung von etwa 6.192 Lkw-km pro Tag und Röhre. D.h. die Bemessungsbrandleistung kann somit bis zu 100 MW. Bei den weiteren Betrachtungen wird von einer Bemessungsbrandleistung von 100 MW ausgegangen.

3.3 Immissionsbetrachtung

Bei der Planung eines Tunnels sind in der Regel Untersuchungen zu den Auswirkungen einer Tunnellüftung erforderlich. Immissionsuntersuchungen können ergeben, dass ein Ausströmen der Tunnelabluft aus dem Portal gemindert oder verhindert werden muss. Hierdurch könnten die Wahl des Lüftungssystems und der Betrieb beeinflusst werden.

Für den betrachteten Autobahnabschnitt werden durch das Ingenieurbüro SimuPlan, Dorsten, Immissionsuntersuchungen (vgl. Bericht-Nr. 1863I – Fachgutachten zu den Schadstoffimmissionen) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden bei der Auswahl des Lüftungssystems berücksichtigt. Danach werden für den Projekt-Planfall 2030 an keinem Gebäude in der Nähe des geplanten Tunnelabschnitts die Grenzwerte der 39. BImSchV überschritten. Positiv auf die Schadstoffkonzentrationen wirken sich die niedrige Hintergrundbelastung, der gesunkene Emissionsausstoß der Fahrzeugflotte im Jahr 2030 sowie die abschirmende Wirkung der geplanten Lärmschutzwände aus.

Dies bedeutet, dass für den geplanten Tunnel A 81 keine zusätzlichen Lüftungstechnischen Maßnahmen ergriffen werden müssen.

4. Lüftungssysteme für Straßentunnel

Abhängig von der Tunnellänge sowie der Verkehrsführung und dem zu erwartenden Verkehrszustand kommen grundsätzlich drei Lüftungssysteme zum Einsatz – die natürliche Lüftung, die mechanische Längslüftung sowie die Querlüftung (Lüftungssystem mit Rauchabsaugung).

Die Wirkung dieser drei Lüftungssysteme wird in den folgenden Abschnitten kurz erläutert.

4.1 Natürliche Lüftung

Bei der natürlichen Lüftung kommen keine lüftungstechnischen Einrichtungen zum Einsatz. Der Luftaustausch wird im Wesentlichen durch meteorologische Einflüsse (Wind, Druckdifferenzen an den Portalen), durch den thermischen Auftrieb sowie durch die Fahrzeugbewegung im Tunnel beeinflusst. Damit sind sowohl die Strömungsrichtung als auch die Größe des Luftstroms nicht beeinflussbar. Der Luftaustausch erfolgt ausschließlich über die Portale. Das Prinzip der natürlichen Lüftung ist im Bild 2 schematisch dargestellt.



Bild 2: Prinzip der natürlichen Lüftung

Im Regelbetrieb steigen die Schadstoffkonzentrationen (CO und Sichttrübung) in Strömungsrichtung an. Die maximalen Konzentrationen treten somit immer am Austrittsportal auf.

Im Brandfall breitet sich der Brandrauch entsprechend der genannten Einflüsse im Tunnel aus. Bei Strömungsgeschwindigkeiten unter 1,5 m/s bleibt zumindest in der Anfangsphase die Rauchsichtung erhalten. Bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten löst sich die Rauchsichtung zunehmend auf und der gesamte Tunnelquerschnitt ist verrauchte. Bei Tunneln mit stärkerer Längsneigung strömt der Brandrauch in der Regel über das höher gelegene Portal ab.

Gemäß RABT [1] ist grundsätzlich bei Tunneln mit Richtungsverkehr und mit in der Regel frei abfließenden Verkehr hinter dem Brandort bzw. Verkehrsqualität D oder besser eine natürliche Lüftung bis zu einer Tunnellänge von 600 m möglich. Bei der gegebenen Länge der beiden Tunnelröhren von 850 m wäre somit eine natürliche Lüftung nicht zulässig.

4.2 Mechanische Längslüftung

Bei der mechanischen Längslüftung wird unter Einsatz von Ventilatoren eine gerichtete Längsströmung in den Tunnelröhren erzeugt. Abhängig von der Anordnung der Ventilatoren unterscheidet man zwischen einer Längslüftung mit Strahlventilatoren und einer Längslüftung durch Mittenabsaugung.

Bei der Längslüftung mit Strahlventilatoren wird über ein Tunnelportal Zuluft angesaugt und die Abluft über das andere Portal abgeführt (vgl. Bild 3). Die Ventilatoren sind direkt im Verkehrsraum angeordnet. Bei größeren Tunnellängen (≥ 2000 m) können zusätzliche Luftaustauschstationen erforderlich werden.

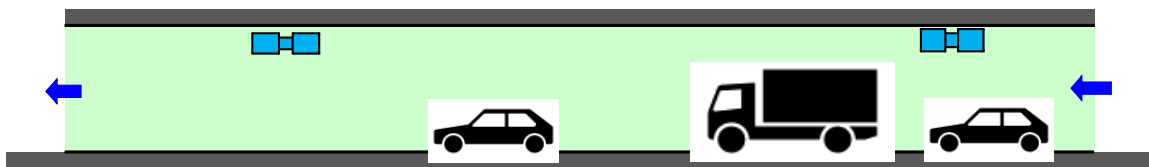


Bild 3: Prinzip der Längslüftung mit Strahlventilatoren

Bei Tunneln mit Richtungsverkehr wird in der Regel die Druckerzeugung durch die Fahrzeugbewegung genutzt und in Fahrtrichtung belüftet. Die Strömungsrichtung und die Größe des Luftstroms können abhängig von Anzahl und Leistung der Strahlventilatoren beeinflusst werden.

Im Regelbetrieb steigen die Schadstoffkonzentrationen (CO und Sichttrübung) in Strömungsrichtung an. Die maximalen Konzentrationen treten somit immer am Austrittsportal auf.

Im Brandfall breitet sich der Brandrauch in Strömungsrichtung aus. Bei Strömungsgeschwindigkeiten unter 1,5 m/s bleibt zumindest in der Anfangsphase die Rauchschiebung erhalten. Dabei bildet sich über eine begrenzte Länge eine Rückströmung des Rauches entgegen der Luftströmung aus (sog. Backlayering). Bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten löst sich die Rauchschiebung zunehmend auf und der gesamte Tunnelquerschnitt ist verraucht. Bei Erreichung einer kritischen Strömungsgeschwindigkeit tritt kein Backlayering mehr auf. Die kritische Strömungsgeschwindigkeit ist dabei abhängig von der Bemessungsbrandleistung, dem Längsgefälle und der Tunnelhöhe.

Bei der Längslüftung durch Mittenabsaugung wird über beide Tunnelportale Zuluft angesaugt und die Abluft über einen etwa in Tunnelmitte angeordneten Schacht abgeführt (vgl. Bild 4). Die Ventilatoren sind dann zentral an diesem Schacht angeordnet.

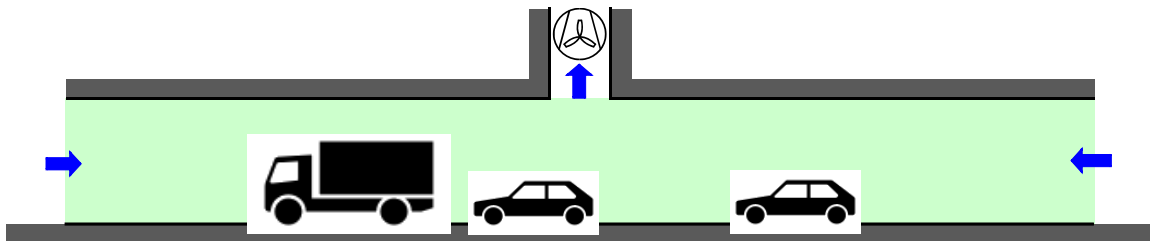


Bild 4: Prinzip der Längslüftung durch Mittenabsaugung

Die Druckwirkung infolge der Fahrzeugbewegung kann bei diesem System nicht durchgängig ausgenutzt werden, da der Tunnel zumindest abschnittsweise auch entgegen der Fahrtrichtung durchströmt wird. Die Strömungsrichtung und die Größe des Luftstroms können abhängig von Anzahl und Leistung der Ventilatoren beeinflusst werden. Dieses System wird vorwiegend bei Tunnel mit Gegenverkehr eingesetzt, wenn aus Gründen des Immissionsschutzes zusätzliche Auflagen zur Abführung der Abluft vorliegen.

Im Regelbetrieb steigen die Schadstoffkonzentrationen (CO und Sichttrübung) in Strömungsrichtung an. Die maximalen Konzentrationen treten somit immer am Abluftschacht auf.

Für den Brandfall gelten grundsätzlich die gleichen Aussagen wie bei der Längslüftung mit Strahlventilatoren.

Gemäß RABT [1] darf im Brandfall die mechanische Längslüftung bei Gegenverkehr bzw. Richtungsverkehr mit in der Regel nicht auszuschließendem Stau hinter dem Brandort bzw. Verkehrsqualität schlechter als D nur bis zu einer Länge von 600 m eingesetzt werden. Bei Tunnellängen von 600...1200 m ist die Anwendung der mechanischen Längslüftung auf der Grundlage einer Risikoanalyse zu klären. Bei Tunneln mit Richtungsverkehr mit in der Regel frei abfließenden Verkehr hinter dem Brandort bzw. Verkehrsqualität D oder besser kann die Längslüftung bis zu Tunnellängen von 3000 m angewendet werden.

4.3 Querlüftung/ Rauchabsaugung

Bei der Querlüftung wird verteilt über die Tunnellänge Zuluft in den Verkehrsraum eingeblasen und die Abluft über die teilweise geöffneten Abluftklappen abgesaugt (vgl. Bild 5). Für Zu- und Abluft werden im Tunnelquerschnitt separate Kanäle vorgesehen. Das Einblasen von Zuluft erfolgt in der Regel etwas oberhalb der Fahrbahn, während die Abluft über Öffnungen in der Zwischendecke abgesaugt wird.

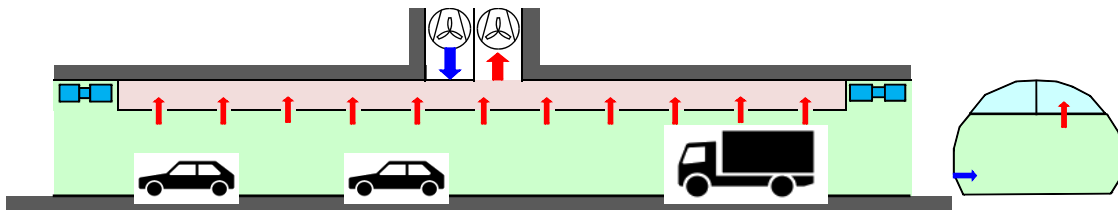


Bild 5: Prinzip der Querlüftung

Im Regelbetrieb liegt bei der Querlüftung im Tunnel eine nahezu gleichmäßige Schadstoffkonzentrationen (CO und Sichttrübung) vor.

Im Brandfall wird der Brandrauch konzentriert in der Nähe des Brandherdes über die steuerbaren Abluftklappen abgesaugt. Damit wird eine großräumige Ausbreitung des Brandrauches im Tunnel verhindert. Bei Erfordernis wird die Längsströmung im Tunnel durch den Einsatz von Strahlventilatoren beeinflusst.

Gemäß RABT [1] ist im Brandfall der Einsatz der Querlüftung/ Rauchabsaugung bei Gegenverkehr bzw. Richtungsverkehr mit in der Regel nicht auszuschließendem Stau hinter dem Brandort bzw. Verkehrsqualität schlechter als D erst ab einer Länge von 1200 m vorgesehen. Bei Tunneln mit Richtungsverkehr mit in der Regel frei abfließenden Verkehr hinter dem Brandort bzw. Verkehrsqualität D oder besser ist die Querlüftung/ Rauchabsaugung erst bei Tunnellängen von mehr als 3000 m vorgesehen.

5. Auswahl des Lüftungssystems für den Tunnel A 81

Die Erfahrungen bei der Planung von Lüftungssystemen zeigen, dass für den Regelbetrieb meist eine natürliche Lüftung, bei längeren Tunneln eine Längslüftung mit Strahlventilatoren ausreicht. Für die Auswahl eines Lüftungssystems ist grundsätzlich der Brandfall entscheidend. Die nachstehenden Betrachtungen werden deshalb auf den Brandfall bezogen.

Auf Grund der Begrenzung der Tunnellänge auf maximal 600 m scheidet die natürliche Lüftung für den geplanten Tunnel aus. Es kommen somit die Längslüftung und die Querlüftung/ Rauchabsaugung in Frage.

Als nächstes ist für den Tunnel A 81 die Frage der Verkehrsqualität zu klären. Dies wird auf der Grundlage des HBS [2] durchgeführt. Dort wird für 3-streifige Richtungsfahrbahnen mit temporärer Seitenstreifenfreigabe bei einer Längsneigung bis 2 % eine Kapazität von 6.800 Kfz/h angegeben und bei einer Längsneigung von 3 % eine Kapazität von 6.700 Kfz/h bei einem Schwerverkehrsanteil von jeweils 10 %.

Setzt man die maßgebende stündliche Verkehrsstärke MSV in Relation zu den genannten Kapazitäten, dann wird in östlicher Fahrtrichtung mit einer maximalen Steigung von 1,2 % ein Auslastungsgrad von 0,73 und in westlicher Fahrtrichtung mit einer maximalen Steigung von 2,95 % ein Auslastungsgrad von 0,64 erreicht. Im HBS wird für die Verkehrsqualität D ein Auslastungsgrad von maximal 0,90 und für die Verkehrsqualität C ein Auslastungsgrad von 0,75 angegeben. Somit liegt in beiden Fahrtrichtungen des Tunnels sogar eine Verkehrsqualität C vor.

Die durchgeführten Immissionsuntersuchungen (vgl. Bericht-Nr. 1863I – Fachgutachten zu den Schadstoffimmissionen) weisen für den Projekt-Planfall 2030 an keinem Gebäude in der Nähe des geplanten Tunnelabschnitts eine Überschreitung der Grenzwerte der 39. BImSchV aus. Zusätzliche Lüftungstechnische Maßnahmen kommen somit nicht in Betracht.

5.1 Längslüftung

Der Einsatz der Längslüftung mit Strahlventilatoren im Tunnel A 81 hängt im Wesentlichen von der Beurteilung des Verkehrszustandes/ der Verkehrsqualität hinter dem Brandort – in der Regel frei abfließender Verkehr oder in der Regel nicht auszuschließender Stau – ab.

Wird hinter dem Brandort in der Regel frei abfließender Verkehr erwartet, dann kann im Brandfall die Längslüftung ohne Bedenken realisiert werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich in der Selbstrettungsphase Fahrzeuge und Personen in Fahrtrichtung gesehen nur vor dem Brandort befinden. Die Fahrzeuge, die sich hinter dem

Brandort befinden, können ungehindert aus dem Tunnel ausfahren. Der Brandrauch kann vollständig in Fahrtrichtung abgeführt werden. Unter Berücksichtigung der ermittelten Bemessungsbrandleistung von 100 MW, des Rechteckquerschnittes und dem geplanten Längsgefälle von 1,2 bzw. 2,95 % ist für die Dimensionierung der Längslüftung eine kritische Geschwindigkeit von 3,1 m/s zugrunde zu legen. Bei dieser Strömungsgeschwindigkeit wird der Rauch vollständig in Fahrtrichtung abgeführt, ein Backlayering tritt nicht auf (vgl. Bild 6). Es wird ein maximaler Schutz der im Tunnel befindlichen Personen erreicht. Mit dieser Längsströmung wird in der Regel auch der Zugang der Einsatzkräfte zur Brandbekämpfung sichergestellt.

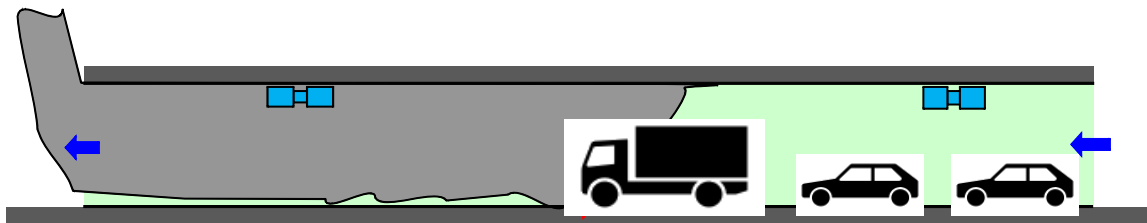


Bild 6: Rauchabführung bei Längslüftung mit kritischer Geschwindigkeit

Ist hinter dem Brandort in der Regel ein Stau nicht auszuschließen, dann muss im Brandfall unterstellt werden, dass die in Fahrtrichtung hinter dem Brandort befindlichen Fahrzeuge nicht ungehindert den Tunnel verlassen können. Für die Selbstrettungsphase wird deshalb davon ausgegangen, dass auch Personen hinter dem Brandort ihre Fahrzeuge verlassen und die sicheren Bereiche (Nachbarröhre bzw. Ausfahrtsportal) aufsuchen. Zum Schutz dieser Personen muss die Rauchsichtung im Tunnel möglichst lange stabil erhalten werden. Dies setzt voraus, dass die Längsströmung im Tunnel nicht mehr als 1,5 m/s beträgt (vgl. Bild 7). Erst nach Abschluss der Selbstrettungsphase kann die kritische Längsgeschwindigkeit realisiert werden, um die Brandbekämpfung durch die Einsatzkräfte optimal zu gestalten.

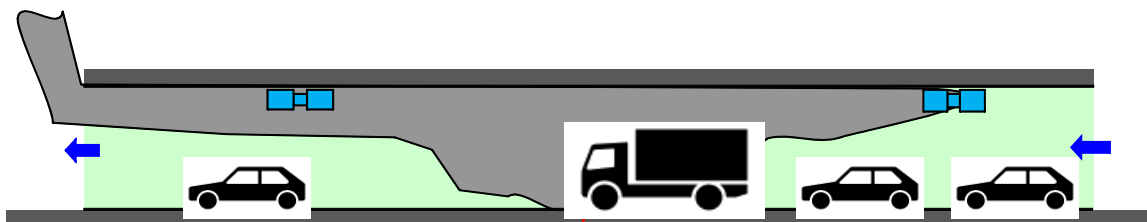


Bild 7: Rauchabführung bei Längslüftung mit Geschwindigkeiten von < 1,5 m/s

Die Vorteile der Längslüftung gegenüber der Querlüftung/ Rauchabsaugung sind nachstehend aufgeführt:

- Mit Ausnahme von Lüftungsnischen an der Tunneldecke oder den Wänden entstehen relativ geringen Kosten hinsichtlich des Einbaus von Strahlventilatoren und des Betriebs dieser Ventilatoren.
- Die Steuerung der Lüftung ist zumindest für den Betrieb mit kritischer Geschwindigkeit einfach. Bei Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit auf maximal 1,5 m/s muss zum einen die gemessene Strömungsgeschwindigkeit in die Steuerung einbezogen werden und zum anderen dürfen nur Ventilatoren aktiviert werden, die außerhalb der Rauchausbreitung liegen.
- Tritt ein Brandereignis auf, dessen Brandleistung deutlich größer als die Bemessungsbrandleistung ist, dann wird das Schutzziel dennoch erreicht. Es kann nur ein begrenztes Backlayering auftreten trotz des Betriebs mit für die Bemessungsbrandleistung ausgelegten kritischer Geschwindigkeit.

Im Abschnitt 6 wird die Machbarkeit der Längslüftung näher untersucht.

5.2 Querlüftung/ Rauchabsaugung

Zur Verbesserung der Selbstrettung bei in der Regel nicht auszuschließendem Stau hinter dem Brandort im Tunnel sind grundsätzlich auch Systeme mit Rauchabsaugung geeignet. Im Brandfall wird der Brandrauch konzentriert in der Nähe des Brandherdes über die steuerbaren Abluftklappen abgesaugt. Damit wird eine großräumige Ausbreitung des Brandrauches im Tunnel verhindert. Die Absaugzone soll gemäß RABT [1] ca. 200...300 m betragen. Bei Erfordernis wird die Längsströmung im Tunnel durch den Einsatz von Strahlventilatoren beeinflusst (vgl. Bild 8). Für die Phase der Brandbekämpfung durch die Einsatzkräfte kann unter Umständen eine einseitige Rauchabführung vorteilhafter sein, die durch eine entsprechende Steuerung der Abluftklappen realisiert werden sollte. Die Bemessung der Rauchabsaugung erfolgt auf Basis der erwarteten Rauchgasmenge (abhängig von der Bemessungsbrandleistung) bzw. von Tunnelquerschnitt und kritischer Geschwindigkeit.

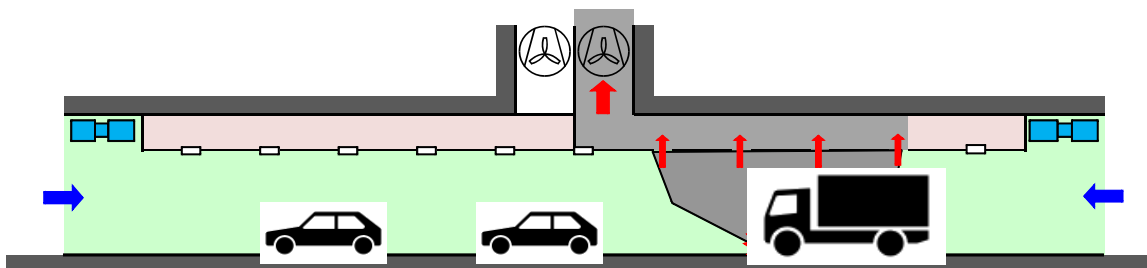


Bild 8: Rauchabführung bei Rauchabsaugung über fernsteuerbare Abluftklappen

Gegenüber der Längslüftung sind bei diesem System folgende Nachteile aufzuführen:

- Der bauliche Aufwand für die Schaffung eines Absaugkanals oberhalb des Verkehrsraumes ist sehr hoch. Im Prinzip müsste die Höhe des Tunnels entsprechend angepasst werden.
- Die Tunneldecke (Zwischendecke) muss statisch so ausgebildet sein, dass die Abluftklappen eingebaut werden können. Bei der großen Tunnelbreite müssen zwei Klappen nebeneinander bzw. in Längsachse versetzt eingebaut werden.
- Der Aufwand für die Installation der Lüftungstechnischen Einrichtungen ist bedeutend höher. Für die Rauchabführung müssen große Axialventilatoren und Abluftklappen und für die Beeinflussung der Längsströmung zusätzlich Strahlventilatoren im Portalbereich eingebaut werden.
- Die Steuerung der Lüftung im Brandfall ist wesentlich komplexer, da neben dem Öffnen der richtigen Klappen auch die Längsströmung gezielt beeinflusst werden muss.
- Die Zweckmäßigkeit dieses Systems für den Tunnel A 81 wird weiterhin in Frage gestellt durch die Forderung, dass die erste bzw. die letzte Abluftklappe im Kanal mindestens 200 m vom jeweiligen Portal entfernt sein muss. Dies dient der Vermeidung von strömungstechnischen „Kurzschlüssen“, bei denen überwiegend Zuluft und weniger Brandrauch angesaugt wird. Das bedeutet für den Tunnel A 81 eine maximale Länge von ca. 450 m für den Einbau von Absaugklappen.

Alternativ ist eine Rauchabsaugung auch punktuell über einen Schacht denkbar. Dabei sollte der Abluftschacht jeweils in Fahrtrichtung gesehen in der Tunnelmitte bzw. am Ende des zweiten Drittel der jeweiligen Tunnelröhre angeordnet werden (vgl. Bild 9). Das Schutzziel sollte u.a. in einer Begrenzung der Rauchausbreitung und damit Schaffung von optimalen Fluchtmöglichkeiten für Personen im Stauabschnitt hinter dem Brandort liegen. Für die Dimensionierung der Lüftung wird in der RABT [1] im verrauchten Abschnitt vor der Absaugstelle die kritische Geschwindigkeit und nach der Absaugstelle eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s (in Richtung Schacht) gefordert. Das System der Punktabsaugung würde nur bei einem Brand im Abschnitt zwischen Einfahrtsportal und Absaugschacht zum Tragen kommen. Bei einem Brand zwischen Absaugschacht und Ausfahrtsportal würde wieder eine reine Längslüftung erfolgen.

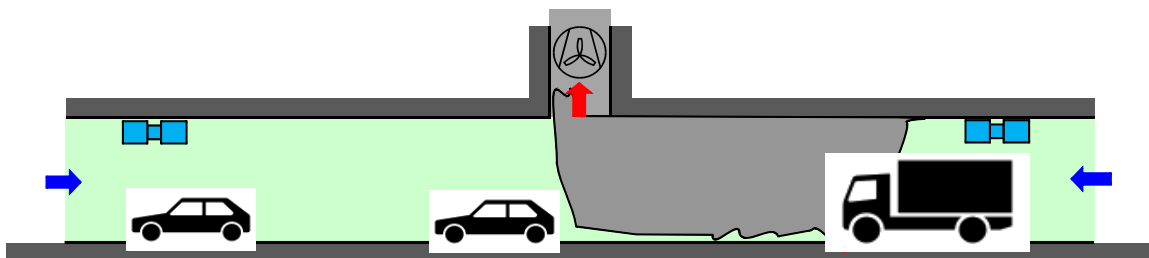


Bild 9: Rauchabführung bei punktueller Rauchabsaugung über einen Abluftschacht

Gegenüber der Längslüftung entsteht bei diesem System im Wesentlichen ein zusätzlicher Aufwand für den Bau des Schachtes und die Installation des Absaugventilators einschließlich einer großen Absaugklappe.

5.3 Zusammenfassung

Für den Tunnel A 81 bei Sindelfingen kommen grundsätzlich drei verschiedene Lüftungssysteme – Längslüftung, punktuelle Rauchabsaugung bzw. Rauchabsaugung über steuerbare Klappen in der Zwischendecke – in Betracht. Diese drei Systeme unterscheiden sich zum einen hinsichtlich der Bau- und Betriebskosten und zum anderen hinsichtlich der Komplexität der Steuerung im Brandfall.

Da bei hoher Verkehrsbelastung die Nutzung von vier Fahrstreifen vorgesehen ist, kann von einer Verkehrsqualität C und damit besser als D ausgegangen werden. Somit kann eine Längslüftung unter Einsatz von Strahlventilatoren favorisiert werden. Wäre in der Regel ein Stau hinter dem Brandort nicht auszuschließen, dann müsste die Entscheidung für die Auswahl eines optimal geeigneten Lüftungssystems gemäß RABT [1] auf der Basis einer Risikoanalyse getroffen werden.

6. Untersuchung der generellen Machbarkeit der Längslüftung

6.1 Dimensionierung der Lüftung für den Regelbetrieb

Bei der Ermittlung des Luftbedarfs für das Tunnelsystem wird von folgenden Vorgaben ausgegangen:

- Die Berechnungen werden bezogen auf die Fahrzeug-Emissionen für das Jahr 2030 auf Basis der Emissionswerte der RABT [1] durchgeführt.
- Für den Tunnel wird unter Berücksichtigung von drei Fahrstreifen und der Seitenstreifenfreigabe je Röhre eine maximale Verkehrsstärke von etwa 6.800 Kfz/h mit einem Lkw-Anteil von 10 % zugrunde gelegt.
- In beiden Tunnelröhren wird eine zulässige Geschwindigkeit von 100 km/h berücksichtigt. Eine Reduzierung der Geschwindigkeit von Lkw ist bei den vorliegenden Neigungsverhältnissen in den Steigungsabschnitten zu erwarten. In der Nordröhre (in Fahrtrichtung West) kann sich eine Reduzierung bis auf etwa 80 km/h ergeben, während in der Südröhre (in Fahrtrichtung Ost) kein maßgeblicher Einfluss vorliegt [1].
- Wegen des zu erwartenden hohen Anteils an Transitverkehr wird die mittlere Masse der Lkw mit 30 t geschätzt.
- Der Anteil von Diesel-Pkw wird in 2030 mit 55 % angesetzt [1].
- Als Bemessungswerte werden für flüssigen Spitzenverkehr 70 ppm CO bzw. ein Extinktionskoeffizient K von $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ und für ausnahmsweise stockenden Verkehr/ Stillstand auf allen Fahrstreifen 100 ppm CO bzw. ein Extinktionskoeffizient K von $7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ zugrunde gelegt.

Die Ermittlung des Luftbedarfs erfolgt gemäß dem in der RABT [1] empfohlenen Berechnungsverfahren. Da in beiden Tunnelröhren unterschiedliche Neigungsverhältnisse vorliegen, werden Berechnungen für beide Röhren getrennt durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind für das Bezugsjahr 2030 in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Luftbedarf im Tunnel A 81

Verkehrszustand	Bewertungskriterium	Luftbedarf für das Jahr 2030 (m³/s)	
		Nordröhre	Südröhre
Flüssiger Verkehr (50...110 km/h)	CO	8,7	4,3
	Sichttrübung	39,6	39,3
Stockender Verkehr	CO	5,7	5,1
	Sichttrübung	36,3	36,0
Stau	CO	4,2	4,2
	Sichttrübung	0,8	0,8
Mindestluftgeschwindigkeit *)		127,5	127,5
Maximaler Luftbedarf		127,5	127,5

*) Bei einem Konzentrationsanstieg durch kurzzeitig erhöhte Emissionen oder durch nichtmotorische Einflüsse wie aufgewirbeltem Staub, Salz und Feuchtigkeit können in Folge einer zu geringen Strömungsgeschwindigkeit und eines nicht mehr gewährleisteten Luftaustauschs im Tunnel sogenannte Sichttrübungszapfen entstehen, welche die Fahrsicherheit beeinträchtigen. Um im Regelbetrieb diesem Umstand Rechnung zu tragen und kurzfristig reagieren zu können, muss in Tunneln mit mechanischer Lüftung bei allen Verkehrszuständen eine Mindestgeschwindigkeit der Längsströmung von 1,5 m/s erreicht werden können [1].

Danach wäre für beide Tunnelröhren die Einhaltung der Mindestluftgeschwindigkeit von 1,5 m/s das Kriterium für die Auslegung der Belüftung.

Aufgrund der vorliegenden Tunnellängen dürfte zum Einen die Entstehung von hohen Schadstoffkonzentrationen nicht zu erwarten sein und zum anderen wird durch die hohe Verkehrsmenge auch bei kleiner Fahrgeschwindigkeit eine relativ hohe Luftströmung erzeugt.

Nach den Bewertungskriterien CO und Sichttrübung würde sich für den Tunnel A 81 in der Nordröhre ein Luftbedarf von ca. 40 m³/s ergeben. Dabei sind immer das Kriterium der Sichttrübung sowie der Verkehrszustand „Flüssiger Verkehr“ ausschlaggebend. In der Südröhre reduziert sich der Luftbedarf auf ca. 39 m³/s. Dabei sind ebenfalls das Kriterium der Sichttrübung sowie der Verkehrszustand „Flüssiger Verkehr“ ausschlaggebend.

Die in der RABT [1] angegebenen Basiswerte für die Fahrzeugemissionen beinhalten in der Regel „warm gelaufene“ Motoren und nur geringe Beschleunigungen. Dies dürfte auch für die überwiegende Zahl der Fahrzeuge zutreffen.

Weiterhin ist mit CO-Vorbelastungen zu rechnen. Diese betragen nach [1] bei Überlandtunneln bis 2 ppm, an verkehrsreichen innerstädtischen Lagen bis 5 ppm und in ungünstigen Fällen bis 15 ppm. Daraus würde sich eine Erhöhung des Luftbedarfs für CO um etwa 3 bis maximal 22 % gegenüber dem Ursprungswert ergeben, die bei den geringen absoluten Werten ebenso unbedeutend ist.

Bei fließendem Verkehr ist die Selbstlüftung infolge der Fahrzeugbewegung im Tunnel so groß, dass das Luftangebot weitaus höher ist als der ausgewiesene Luftbedarf. Selbst bei stockendem Verkehr mit Geschwindigkeiten von 10 km/h würden sich Lüftungstechnisch keine Probleme ergeben. Bei einem Stau mit totalem Verkehrsstillstand im gesamten Tunnel käme die Selbstlüftung natürlich vollständig zum Erliegen. Orientierungswerte für den Tunnel A 81 sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Erwartete Luftgeschwindigkeiten im Tunnel A 81 bei Selbstlüftung

Stündliche Verkehrsmenge (Kfz/h)	Fahrgeschwindigkeit (km/h)	Erwartete Luftgeschwindigkeit (m/s)
6800	100	9,5
6800	10	1,7
6800	5	1,0
3400	100	7,4
1000	100	4,6

Nach den Angaben der Wetterstation Stuttgart-Echterdingen liegen die Hauptwindrichtungen etwa in der Achse des Tunnelverlaufs (vgl. Anlage 1). Ein gleichzeitiges Auftreten eines totalen Verkehrsstillstandes und einer absoluten Windstille ist wenig wahrscheinlich. Bereits bei einer resultierenden Geschwindigkeit von etwa 1 m/s in Tunnelachse auf ein Portal würde sich im vollständig mit Fahrzeugen gefüllten Tunnel eine Längsströmung von ca. 0,3 m/s einstellen. Dies wäre bereits bei einer Windgeschwindigkeit von etwa 1,5 m/s in Tunnelachse gegeben. Der sich daraus ergebende Luftstrom im Tunnel von etwa 25 m³/s würde den Luftbedarf bei Stau von etwa 4 m³/s (vgl. Tabelle 1) gut abdecken.

Auf den Einsatz der mechanischen Längslüftung zur Verdünnung der Fahrzeugemissionen in beiden Tunnelröhren kann somit weitestgehend verzichtet werden.

6.2 Dimensionierung der Lüftung im Brandfall

Aufgrund der prognostizierten Lkw-Fahrleistung ist nach RABT die maximale Bemessungsbrandleistung von 100 MW anzusetzen. Ausgehend von Brandverläufen aus realen Brandversuchen [3] kann die in Bild 10 dargestellte Energiefreisetzung zugrunde gelegt werden.

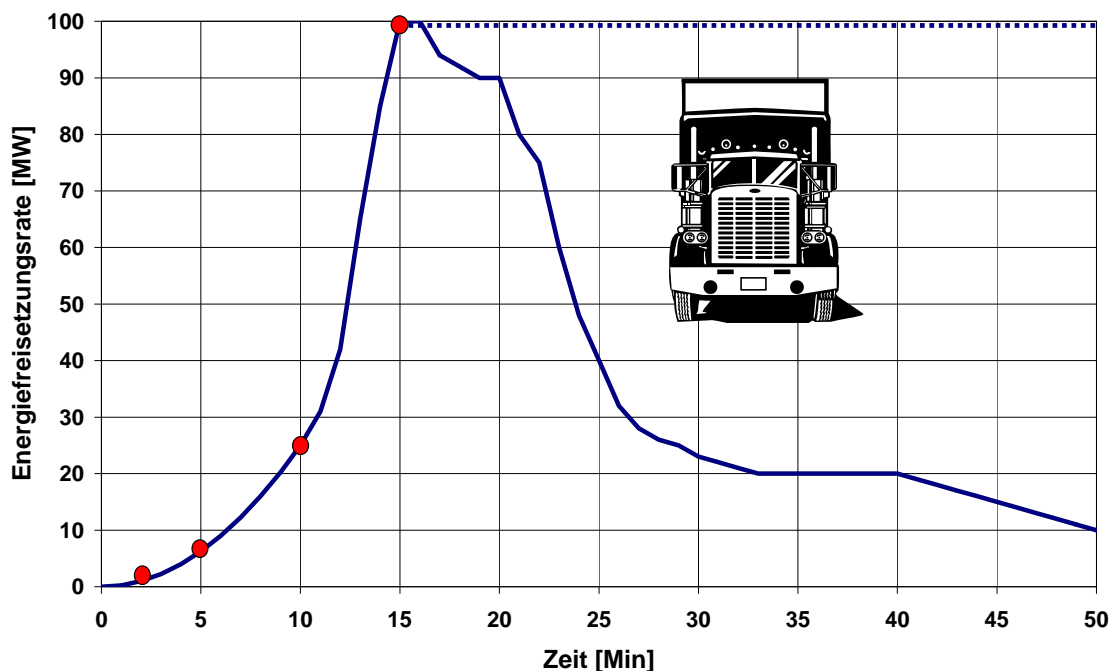


Bild 10: 100 MW-Bemessungsbrand als Brandszenario für einen voll beladenen Lkw

Der Anstieg der Energiefreisetzungsrate ist deutlich geprägt von der Art der Zündung, der brennbaren Materialien und den Brandlasten. Sind bereits in der Anfangsphase brennbare flüssige Stoffe (z.B. auslaufender Kraftstoff) beteiligt, so kann es zu einem sehr raschen Anstieg kommen. Beim Brand eines Pkw ist im Allgemeinen im Maximum mit einer Energiefreisetzungsrate um 5 MW zu rechnen, die nach etwa 10 bis 15 Minuten erreicht wird.

Brände mit Gefahrgütern, insbesondere im Zusammenhang mit weiteren involvierten Brandlasten (mehrere Lkw, Gefahrguttransporter) können deutlich größere und rasant entwickelte Energiefreisetzungen hervorrufen. Generell werden Brände mit gefährlichen Gütern durch die pauschale Akzeptanz eines gewissen Lkw-Anteils mit erfasst.

Statistisch gesehen sind Fahrzeugbrände in Tunneln seltene Ereignisse. Eine statistische Auswertung ist nur über lange Zeiträume (mehrere Jahre) und bei hoher Verkehrsbelastung möglich. In Deutschland ist eine derartige Statistik nur für den Elbtunnel verfügbar. Danach liegt die Wahrscheinlichkeit eines Pkw-Brandes bei $6,3 \text{ je } 10^8 \text{ Fz-km}$ und die eines Lkw-Brandes bei $24,6 \text{ je } 10^8 \text{ Fz-km}$ [4].

Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass die Hauptursache für Pkw-Brände Defekte in der elektrischen Anlage sind und die Mehrzahl der Lkw-Brände auf Überhitzung der Bremsen zurück zu führen sind [4,5]. Unfälle als Brandursache sind sehr selten, jedoch kann sich dabei eine rasche Brandentwicklung ergeben, wie jüngste Ereignisse im Gotthard-Tunnel und im Gleinalm-Tunnel zeigten.

Nach [4,5] sind die meisten Brandereignisse (ca. 80 - 90 %) relativ harmlos und führen nicht zu Verletzungen bei Personen oder zu Schäden an der Ausstattung der Tunnel. So kommen Untersuchungen in französischen Tunneln zum Ergebnis, dass unter Berücksichtigung der Brandauswirkung folgende Wahrscheinlichkeiten von Brandereignissen vorliegen:

■ Pkw-Brand mit irgendeiner Bedeutung	1...2 Fälle je 10^8 Fz-km
■ Lkw-Brand mit irgendeiner Bedeutung	8 Fälle je 10^8 Fz-km
■ Lkw-Brände mit Beschädigung des Tunnels	1 Fall je 10^8 Fz-km
■ Sehr schwere Lkw-Brände (Schätzung)	0,1...0,3 Fälle je 10^8 Fz-km
■ Brände mit Gefahrgut-Lkw und irgendeiner Bedeutung (Schätzung)	2 Fälle je 10^8 Fz-km
■ Brände mit Gefahrgut-Lkw unter Einbeziehung des Gefahrgutes (Schätzung)	0,3 Fälle je 10^8 Fz-km

Nach [6] ist mit folgenden Wahrscheinlichkeiten von Brandereignissen zu rechnen:

■ alle Kfz	0,65 Fälle je 10^8 Fz-km
■ Pkw-Brand	0,42 Fälle je 10^8 Fz-km
■ Lkw-Brand / Bus-Brand	2,5 Fälle je 10^8 Fz-km

Dabei wird bezüglich der Lkw-Brände weiter differenziert nach – Ausfahrt aus dem Tunnel sowie der Größe der Brandleistung von 5 bis 100 MW.

Danach würden sich für den Tunnel A 81 auf Basis der eingangs genannten Verkehrsdaten und der Tunnellänge aus statistischer Sicht die in Tabelle 3 ermittelten Zeiträume zwischen zwei Ereignissen ergeben.

Tabelle 3: Statistisch abgeschätzte Zeiträume zwischen zwei Ereignissen für den Tunnel A 81

Ereignis	Zeitraum zwischen zwei Ereignissen (a)
Pkw-Brand	2 bis 8
Lkw-Brand (Entstehungsbrand mit ca. 5 MW)	9...40
Lkw-Brände (Vollbrand mit ca. 30 MW)	20...60
Sehr schwere Lkw-Brände (Vollbrand mit ca. 100)	180...885

Damit ist in dieser Tunnelanlage die Wahrscheinlichkeit von schwerwiegenden Brandereignissen eher gering. Kleinere Pkw- und Lkw-Brände sind in realen Zeiträumen zu erwarten.

Im Folgenden wird für beide Tunnelröhren eine Dimensionierung der Lüftung im Brandfall nach den RABT [1] vorgenommen werden. Dabei sind für Richtungsverkehr ein zu $\frac{3}{4}$ mit Fahrzeugen belegter Tunnel, ein meteorobedingten Druck und der thermische Auftrieb in geneigten Röhren zu berücksichtigen. In Tabelle 4 ist der erforderliche Schub für beide Tunnelröhren unter Berücksichtigung einer kritischen Längsgeschwindigkeit von 3,1 m/s für einen 100 MW-Brand angegeben.

Tabelle 4: Dimensionierung nach RABT-Ansatz für einen 100 MW-Brand

	Erforderlicher Schub [N]	
	Nordröhre	Südröhre
Strömungsdruckverlust Tunnel	1870	1870
Querschnittsversperrung durch Fahrzeuge	3000	3000
Thermischer Auftrieb durch Brandgase	625	1535
Winddruck	1190	570
Aufzubringender Gesamt-Schub	6685	6975
Aufzubringender Gesamt-Schub für ein von den RABT-Vorgaben abweichendes Szenarium (Brand etwa am Scheitelpunkt des Tunnels)	6390	7615

Zur Anordnung von Strahlventilatoren im Tunnelquerschnitt werden aus strömungs-technischen Gründen in der RABT [1] folgende Vorgaben gemacht:

- Mindestabstand zwischen zwei Ventilatorstandorten von mindestens 80 m
- Mindestabstand zwischen Ventilatorstandort und dem Tunnelportal in Blasrichtung von mindestens 80 m
- Mindestabstand zwischen Ventilatorstandort und Schilderbrücken o.ä. in Blasrichtung von mindestens 80 m
- Achsabstand zwischen zwei parallel angeordneten Ventilatoren mindestens zweimal Laufraddurchmesser des Ventilators
- Abstand zwischen Ventilatorgehäuse und Tunneldecke bzw. Tunnelwand mindestens 0,3 m

Bezogen auf die geplante Tunnellänge von 850 m wären nach diesen Vorgaben maximal neun Ventilatorstandorte möglich.

Im Folgenden werden zwei Baugrößen (Typen) von Strahlventilatoren betrachtet. Für Strahlventilatoren mit einem Laufraddurchmesser von 710 mm (Typ 1) wäre eine maximale Anordnung von 10 Ventilatoren in einer Gruppe möglich, für Strahlventilatoren mit einem Laufraddurchmesser von 1120 mm (Typ 2) wären es 6 Ventilatoren in einer Gruppe.

Bei der Ermittlung der Anzahl der erforderlichen Strahlventilatoren wird vom maximalen Gesamtschub nach Tabelle 5 ausgegangen. Weiterhin ist eine Reserve einzurechnen, bei der davon ausgegangen wird, dass eine Ventilatorgruppe in der Nähe des Brandherdes nicht aktiviert wird, und es ist die Schubminderung bei Ventilatoren zu berücksichtigen, die mit heißen Brandgasen beaufschlagt werden.

Aus Gründen der Kostenoptimierung sollte sich die Anzahl von Ventilatoren in einer Gruppe nicht an den vorstehend genannten Maximalwerten orientieren, da durch die erforderliche Reserve die Anzahl der insgesamt erforderlichen Ventilatoren steigt.

In Tabelle 5 sind die technischen Daten der beiden ausgewählten Ventilatortypen auf der Basis von Herstellerangaben zusammengestellt und sollen als Orientierungswerte dienen.

Tabelle 5: Technische Daten der Strahlventilatoren

Parameter	Typ 1	Typ 2
Lauftraddurchmesser (mm)	710	1120
Motorleistung (kW)	22	37
Stand Schub in Hauptblasrichtung (N)	600	1250
Außendurchmesser mit Schalldämpfern (mm)	920	1325
Gesamtlänge mit Schalldämpfern (mm)	3240	4950
Masse einschl. der Schalldämpfer (kg)	485	1160

Unter Berücksichtigung der strömungstechnischen Aspekte und der Kostenoptimierung sollten die Ventilatoren vom Typ 1 in Gruppen zu (maximal) fünf Ventilatoren und die Ventilatoren vom Typ 2 in Gruppen zu je drei Ventilatoren angeordnet werden.

Bei Einsatz der Ventilatoren vom Typ 1 sind in der Nordröhre 26 Ventilatoren und in der Südröhre 30 Ventilatoren erforderlich. Bei Einsatz der Ventilatoren vom Typ 2 sind in der Nordröhren 13 Ventilatoren und in der Südröhre 15 Ventilatoren erforderlich.

Zur Vermeidung eines Rauchübertritts an den Portalen ist die Lüftung in der nicht vom Brand betroffenen Röhre im Reversierbetrieb (entgegen der Fahrtrichtung) zu betreiben. Mit der ermittelten Anzahl von Ventilatoren kann auch bei hohen Winddrücken eine Strömungsgeschwindigkeit von mindestens 1,0 m/s erreicht werden.

Die exakte Anordnung der Ventilatoren (Standorte und Anzahl der Ventilatoren je Gruppe) sollte in der weiterführenden Planung festgelegt werden.

Aufgrund der geplanten Tunnelhöhe von etwa 5,0 m ist der Einbau der Ventilatoren nur in Deckennischen (Vouten) gemäß Bild 11 möglich.

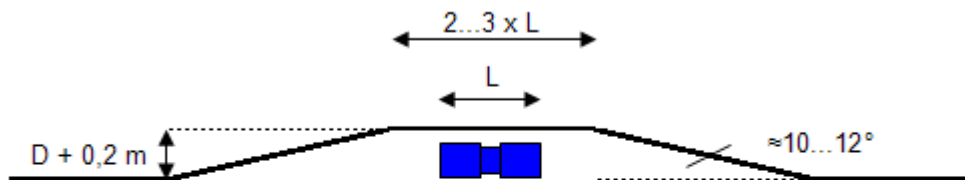


Bild 11: Anordnung der Ventilatoren in Deckennischen

6.3 Empfehlungen zur Überwachung und Steuerung der Lüftung

Gemäß den Forderungen der RABT [1] sind im Regelbetrieb im Tunnel die CO-Konzentration und die Sichttrübung zu überwachen und diese Messdaten als Grundlage für die Steuerung der Lüftung zu verwenden. Die Luftbedarfsermittlung (vgl. Abschnitt 6.1) zeigt, dass der Einsatz von Ventilatoren nur sehr selten erforderlich sein wird.

Zur Überwachung des Regelbetriebs ist in beiden Röhren im Grundsatz nur jeweils eine Messstelle für CO im letzten Tunnelabschnitt erforderlich, da in diesem Abschnitt die höchsten Konzentrationen zu erwarten sind. Zur Überwachung der Sichttrübung im Regelbetrieb sind mindestens drei Messgeräte erforderlich. Die Luftströmung (Geschwindigkeit und Richtung) sollte mindestens an zwei Stellen im Tunnel überwacht werden.

Die Steuerung der Lüftung sollte so erfolgen, dass die Lüftung bereits vor dem Erreichen der Grenzwerte stufenweise aktiviert wird. Dabei ist grundsätzlich keine der Ventilatorgruppen zu favorisieren. Die Auswahl sollte entsprechend der Anzahl der bisherigen Betriebsstunden erfolgen. Weitere Details sind in einem Steuerungskonzept festzulegen.

Die Steuerung der Lüftung im Brandfall ist an die Möglichkeiten der Branddetektion und Brandlokalisierung gebunden. Um Ventilatoren in Abhängigkeit vom Brandszenarium gezielt aktivieren zu können, müssen Brandabschnitte definiert werden, in denen auch ein Brand detektiert und lokalisiert werden kann. Von den vielfältigen Möglichkeiten zur Branddetektion – Linienmelder, Sichttrübungsmesseinrichtungen, Überwachung des Verkehrsflusses/ Staudetektion, Betätigung Notruf/ Entnahme Feuerlöscher, Meldung über Mobilfunk - gestatten nur die beiden ersten Systeme eine ausreichende Lokalisierung des Brandherdes.

Gemäß RABT soll das Signal der Sichttrübungsmesseinrichtungen nur als Voralarm genutzt und weitere Maßnahmen vom Personal der Tunnelleitzentrale eingeleitet werden. Eine automatische Aktivierung der Lüftung ist aber bei verkürztem Abstand der Sichttrübungsmesseinrichtungen (z.B. 150 m) möglich.

Bei einer automatischen Steuerung der Lüftung müssen die Brandabschnitte so festgelegt werden, dass die jeweils erforderliche Anzahl von Ventilatoren aktiviert werden kann, ohne dass die nahe des Brandherdes befindlichen Ventilatoren eingeschaltet werden müssen. Details sind in einem Steuerungskonzept zu erarbeiten.

Eine Überwachung der Längsströmung ist im Brandfall nur dann erforderlich, wenn häufig mit Stausituationen im Tunnel zu rechnen ist und dann die Lüftung so gesteuert werden muss, dass die Längsströmung unter 1,5 m/s gehalten wird. Zu diesem Zweck sind je Röhre mindestens zwei Strömungsmesseinrichtungen erforderlich.

7. Kostenschätzung

In der Kostenschätzung werden die Kosten für Planung, Lieferung und Montage der Ventilatoren sowie der Messeinrichtungen zur Überwachung von CO-Konzentration, Sichttrübung und Längsströmung erfasst.

Für die Variante der Längslüftung sind die Kosten in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Kostenzusammenstellung bei mechanischer Längslüftung

Einrichtung	Anzahl	Kosten in T€
Lieferung und Montage Strahlventilator Typ 1	56	974,4
Lieferung und Montage Strahlventilator Typ 2	28	728,0
Lieferung und Montage Sichttrübe-Messeinrichtung	6	39,0
Lieferung und Montage CO- Messeinrichtung	2	5,0
Lieferung und Montage Strömungsmesseinrichtung	4	34,4
Planungskosten	1	175 bzw. 140
Prüfungen und Kontrollen	1	55
Gesamtkosten – Variante mit Strahlventilator Typ 1		1282,8
Gesamtkosten – Variante mit Strahlventilator Typ 2		1001,4

Dabei werden für die Strahlventilatoren die in Tabelle 5 aufgeführten Leistungsparameter zugrunde gelegt. Im Preis ist folgende Ausführung enthalten:

- Ventilator in Edelstahlausführung mit saug- und druckseitigen Schalldämpfern mit integrierten Einströmdüsen für einen Schalldruckpegel von 75 dB (A)
- Aufhängevorrichtung, Klemmkasten am Ventilatorgehäuse
- Temperaturbeständigkeit 400 °C über 90 Minuten
- Lieferung und Montage

Die erforderlichen baulichen Maßnahmen, insbesondere die Herstellung der Deckennischen sind in der Kostenschätzung nicht berücksichtigt.

Im Preis der Lüftungsmesstechnik (CO-Konzentration, Sichttrübung und Strömungsgeschwindigkeit) sind folgende Elemente enthalten:

- Messgerät einschl. Montagekonsole, Stromversorgung und Auswerteeinheit
- Lieferung und Montage.

8. Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird das Grobkonzept für die Lüftung des Tunnels A 81 im Regelbetrieb und im Brandfall überarbeitet. Es werden verschiedene Varianten der Lüftung im Brandfall betrachtet und bewertet. Die Machbarkeit einer Längslüftung wird vertieft untersucht, und es wird eine neue Kostenschätzung für ein Längslüftungssystem vorgenommen.

Aufgrund der Tunnellänge von 850 m kommt eine natürliche Lüftung für den Tunnel A 81 nicht in Frage. Für den Brandfall werden die Anforderungen sowie Vor- und Nachteile einer mechanischen Längslüftung, einer Rauchabsaugung mit punktueller Absaugung und einer Rauchabsaugung über fernsteuerbare Abluftklappen gegenübergestellt.

Da nach Angaben des Auftraggebers nur selten mit Stau zu rechnen ist und für das Prognosejahr 2030 eine Verkehrsqualität D erreicht wird, kann eine Längslüftung unter Einsatz von Strahlventilatoren favorisiert werden. Wäre täglich mit Stau bzw. stockenden Verkehr zu rechnen, dann müsste die Entscheidung für die Auswahl eines optimal geeigneten Lüftungssystems gemäß RABT [1] auf der Basis einer Risikoanalyse getroffen werden.

Die durchgeführten Immissionsuntersuchungen (vgl. Bericht-Nr. 1863I – Fachgutachten zu den Schadstoffimmissionen) weisen für den Projekt-Planfall 2030 an keinem Gebäude in der Nähe des geplanten Tunnelabschnitts Überschreitungen der Grenzwerte der 39. BImSchV aus. Auf zusätzliche Lüftungstechnische Maßnahmen kann somit verzichtet werden.

Die Untersuchungen zur Machbarkeit der Längslüftung zeigen, dass der Luftbedarf für den Regelbetrieb mit etwa 40 m³/s je Röhre relativ niedrig ist und durch die Selbstlüftung bzw. den Windeinfluss weitestgehend abgedeckt wird. Der Einsatz mechanischer Lüftungseinrichtungen ist somit im Regelbetrieb nur in Ausnahmefällen erforderlich.

Für die Dimensionierung der Längslüftung ist der Brandfall maßgeblich. Aufgrund der erwarteten Verkehrsstärke wird für die Bemessung eine Brandleistung von 100 MW berücksichtigt. Bei der Dimensionierung der Lüftung werden zwei verschiedene Baugrößen der Strahlventilatoren berücksichtigt. Bei Einsatz von Ventilatoren mit einem Laufrad von 710 mm (Typ 1) sind insgesamt 56 Ventilatoren (26 in der Nordröhre und 30 in der Südröhre) erforderlich. Bei Einsatz von Ventilatoren mit einem Laufraddurchmesser von 1120 mm (Typ 2) reduziert sich die Gesamtzahl der Ventilatoren auf 28 Ventilatoren (13 in der Nordröhre und 15 in der Südröhre).

Zur Überwachung und Steuerung der Lüftung sind sowohl CO- und Sichttrübe-Messeinrichtungen als auch Strömungsmesseinrichtungen erforderlich.

Bei der Kostenschätzung werden die Kosten für die Lieferung und Montage der Strahlventilatoren und der Lüftungsmesstechnik sowie Planungs- und Prüfkosten zusammengestellt. Kosten für bauliche Maßnahmen, wie z.B. die Herstellung der Deckennischen sind in der Kostenaufstellung nicht enthalten.

Die Kosten für die mechanische Längslüftung mit Ventilatoren vom Typ 1 werden insgesamt auf etwa 1.283 T€ geschätzt. Bei Einsatz von Ventilatoren des Typs 2 würden sich die Kosten insgesamt auf etwa 1001 T€ reduzieren.

(Dr. Tetzner)

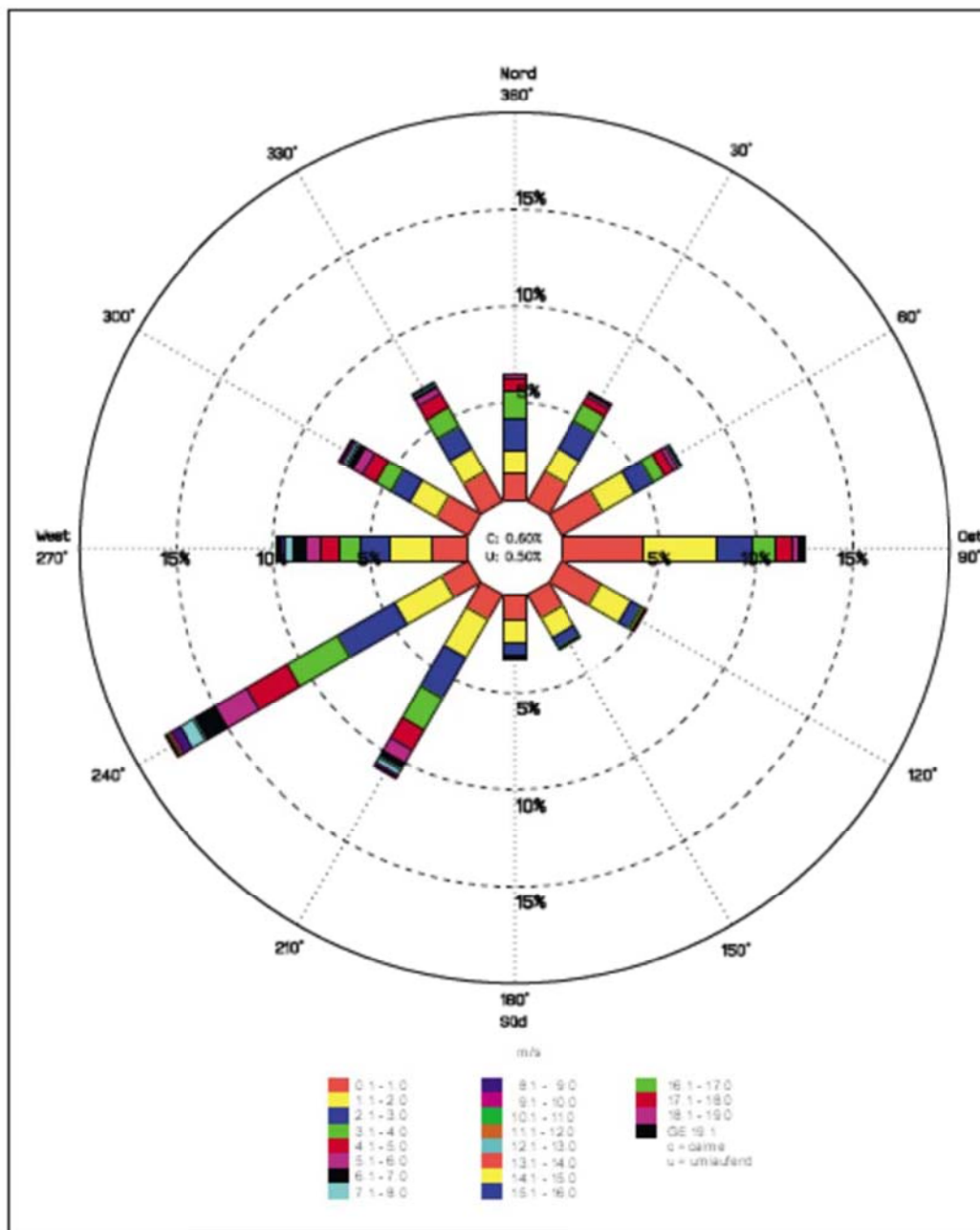
Literatur

- 1 Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2015 (Redaktionsausschuss-Version).
- 2 Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 2015
- 3 EUREKA-Projekt EU 499 Firetun: Fires in Transport Tunnels, Studiengesellschaft für Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 1995
- 4 Fire and smoke control in road tunnels. PIARC Committee on Road Tunnels, ref. 05.05.B, 1999
- 5 Road safety in tunnels. PIARC Committee on Road Tunnels, ref. 05.04.B, 1995
- 6 Auswertung der ASFINAG-Tunnelbrandstatistik 2006-2012. BMVIT/ASFINAG, 2013

Stärkewindrose

in Prozent der Jahrestunden

Stuttgart-Echterdingen
Zeitraum 1992-2001



Die Länge der einzelnen Farbstufen entspricht der Häufigkeit, mit der die jeweilige Windgeschwindigkeit aus der angegebenen Windrichtung auftritt.