HBI Haerter

Auftraggeber
Client
Client
Cliente
Cliente

Schüssler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

Objekt- / Projektname
Object / Project name
Nom d'objet / de projet
Nome dell'oggetto / del progetto
Nombre objeto / proyecto

Riederwald BAB A66

Berichtstitel
Report title
Titre de rapport
Titolo del rapporto
Título de reporte

Gutachten Tunnellüftung

Verfasser
Author
Auteur
Autore
Autor

Jens König

Nachrichtlich Planfestgestellte Unterlage Nr. 30
zum
Planfeststellungsbeschluss
vom 18.12.2019
Gz. VII-1 – 61-k-04 # 2.054g
Wiesbaden, den 19.12.2019
Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie, Verkehr
und Wohnen
Im Auftrag
Vincenzi, Baudirektor

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE, VERKEHR UND WOHNEN

Datum / Version
Date / Version
Date / Version
Data / Versione
Fecha / Versión

2017-11-21 / 3.1

HBI-Auftragsnummer
HBI project number
HBI numéro de projet
HBI numero del progetto
HBI número de proyecto

30.09207.01.01.04

HBI-Berichtsnummer
HBI report number
HBI numéro de rapport
HBI numero del rapporto
HBI número de reporte

09-207-01

HBI Haerter Beratende Ingenieure
HBI Haerter Consulting Engineers
HBI Haerter Ingénieurs Conseils
HBI Haerter Ingegneri Consulenti
HBI Haerter Ingenieros Consultores

ISO 9001:2008 Certified

HBI Haerter GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 25
89522 Heidenheim, Deutschland
Tel. +49 7321 98 23-10
info.hdh@hbi.eu

www.hbi.eu

Impressum

Volltitel	Gutachten Tunnellüftung
Kurztitel	GATL
Auftraggeber	Schüssler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Verfasser	Jens König
Projekt- / Objektname	Riederwald BAB A66
Auftragsnummer	30.09207.01.01.04
Berichtnummer	09-207-01
Berichtdatum	2017-11-21
Version	3.1
Verteiler	1 x Hessen Mobil 1 x Schüssler-Plan 1 x GBI 1 x HBI

	Autor	*Prüfer*	*Freigabe*	*Vers.*	*Änderungen*
Name	Judith Pöhlmann	Jens König		1.0	
Datum	2011-11-25	2011-11-25			
Unterschrift oder Kürzel	JPO	JKO		1.1	Standorte Strahlventilatoren geändert
Name	Judith Pöhlmann	Jens König			
Datum	2011-11-30	2011-11-30			
Unterschrift oder Kürzel	JKO			2.0	Überarbeitung mit neuen Verkehrsdaten 2025
Name	Jens König				
Datum	2014-11-10				
Unterschrift oder Kürzel	JKO			3.0	Überarbeitung mit neuen Verkehrsdaten 2030, Berücksichtigung RABT-2016
Name	Jens König				
Datum	2017-10-26				
Unterschrift oder Kürzel	JKO			3.1	Überarbeitung mit präzisierten Verkehrsdaten 2030
Name	Jens König				
Datum	2017-11-21				

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Zusammenfassung

Der Riederwaldtunnel mit ca. 1,1 km Länge ist Bestandteil eines ca. 2,2 km langen Autobahnabschnitts, der als Lückenschluss die A 66 mit der Ostumgehung Frankfurt verbinden soll. Er wird in zwei Tunnelröhren auf jeweils drei bzw. vier Fahrspuren im Richtungsverkehr befahren.

Das vorliegende Gutachten dient der Konzeption der Tunnellüftung nach den maßgebenden Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) von 2006 [1]. Die Einhaltung der Belange der RABT-2016 [2] wird zusätzlich überprüft.

Unter Berücksichtigung der Tunnellänge, der Verkehrssituation und der Immissionsprognose wird nach RABT-2006 als auch nach RABT-2016 als Lüftungskonzept eine mechanische Längslüftung mit Strahlventilatoren vorgeschlagen.

Die Anforderungen für den Brandfall werden für eine Bemessungsbrandleistung von 30 MW untersucht, die sich mit den neuen Verkehrszahlen nicht ändert. Berücksichtigt werden der Kamineffekt durch die heißen Brandgase, thermo-meteorologische Einflüsse (Wind und Temperaturunterschiede) und die Verluste im Tunnelfahrraum (Fahrzeuge, Reibung, Ein- und Austritt sowie Beschilderung). Die Werte einiger Parameter ändern sich aufgrund der geänderten Verkehrszahlen und geänderter Vorgaben der RABT-2016.

Die Auslegung für den Brandfall hat ergeben, dass 12 Strahlventilatoren des Typs 80R pro Röhre notwendig sind. Berücksichtigt werden muss, dass eine Strahlventilatorgruppe aufgrund der heißen Brandgase ausfallen kann. Der Abstand zwischen den Ventilatorgruppen muss mindestens 100 m betragen. Die Leistung wurde mit 30 kW pro Ventilator veranschlagt. Damit werden die Vorgaben nach RABT-2006 und RABT-2016 erfüllt.

Die maßgebenden Fälle zur Beurteilung der Tunnellüftung im Normalbetrieb werden berechnet. Die Untersuchung des Normalbetriebs erfolgt anhand der verwendeten Verkehrsfälle mit den Zuständen flüssiger und stockender Richtungsverkehr und Stau. Es werden die Emissionsdaten gemäß RABT-2006 und RABT-2016 und die Verkehrszahlen für das Jahr 2030 verwendet.

Erwartungsgemäß ist nicht der Normalbetrieb, sondern der Brandfall für die Dimensionierung maßgebend. Der für den Brandfall erforderliche Schub der Strahlventilatoren garantiert auch die Einhaltung der Bemessungswerte im Normalbetrieb, sowohl für die RABT-2006 als auch für die RABT-2016.

Die Steuerung der Tunnellüftung sollte vollautomatisch erfolgen. Bei Richtungsverkehr werden die Strahlventilatoren grundsätzlich in Fahrtrichtung betrieben. Im Normalbetrieb wird entsprechend den gemessenen CO- und Sichttrübungswerten gesteuert. Die Brandfallsteuerung der Tunnellüftung wird für die unterschiedlichen Anforderungen in der Selbstrettungs- und Fremdrettungsphase konzipiert. Zu berücksichtigen sind neben dem Brandort auch die Verkehrssituation und die Strömungsgeschwindigkeit im Fahrraum. Das Ziel ist, bei flüssigem Verkehr den Rauch einseitig abzutreiben und bei stockendem Verkehr oder Stau eine eventuell vorhandene Luft-/Rauchschichtung möglichst zu erhalten.

Der Versatz der Portale von 35 m ist geeignet, um zum Brandbeginn die Rezirkulation von Rauch und Schadstoffen in die nicht betroffene Röhre möglichst zu vermeiden. Um den Übertritt von Rauch über die Notausgänge (Querschläge und Portale) in die parallele Nachbarröhre zu vermeiden, wird vorgeschlagen, in der nicht vom Brandfall betroffenen Nachbarröhre mittels der installierten Strahlventilatoren eine Strömung zu erzeugen, deren Druck größer ist als der Druck in der Brandröhre.

Für die Branderkennung werden neben einem Brandmeldekabel manuelle Druckknopfmelder in jeder Notrufstation empfohlen. Als Einrichtungen für die Schadstoffmessungen sollten je Röhre Sichttrübungsmessstellen in Minimalabständen von 150 m untereinander installiert werden. Eine CO-Messstelle ist in Fahrtrichtung im letzten Drittel jeder Röhre vorzusehen.
Die Sichttrübungsmessstellen sind zur Raucherkennung heranzuziehen. Weiterhin sind drei Strömungsmessquerschnitte je Tunnelröhre vorgesehen. Die Verkehrssituationen müssen durch eine geeignete Verkehrserfassung sicher erfasst werden. Bei Bedarf soll über eine ständig besetzte Stelle eingegriffen werden können.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Inhaltsverzeichnis

Impressum **2**
Zusammenfassung **3**
Inhaltsverzeichnis **4**
1 Einleitung und Aufgabenstellung **6**
2 Projektdaten **7**
2.1 Tunnelgeometrie 7
2.2 Verkehrsdaten 8
2.3 Meteorologisch bedingte Druckdifferenzen 9
3 Beurteilung des Brandfalls **11**
3.1 Anforderungen an die Tunnellüftung im Brandfall 11
3.2 Bemessungsbrandleistung 12
3.3 Druckverluste im Tunnel 12
3.4 Kaminwirkung aufgrund der Brandleistung 13
3.5 Kritische Geschwindigkeit 14
3.6 Lüftungskonzept 15
3.7 Dimensionierung für den Brandfall 16
3.7.1 Dimensionierung nach RABT-2006 16
3.7.2 Dimensionierung nach RABT-2016 17
3.8 Temperaturbeständigkeit lüftungstechnischer Anlagenkomponenten 18
3.9 Anordnung der Strahlventilatoren 18
3.10 Druckverhältnisse an den Notausgängen 19
3.11 Strömungskurzschluss an den Portalen 20
4 Beurteilung des Normalbetriebs **21**
4.1 Fahrzeug-Emissionen 21
4.2 Luftqualität im Tunnel 21
4.3 Verkehrsannahmen 22
4.4 Berechnungsergebnisse nach RABT-2006 22
4.5 Berechnungsergebnisse nach RABT-2016 23
5 Empfehlungen zur Steuerung der Tunnellüftung **25**
5.1 Normalbetrieb 25
5.2 Brandfall 25
5.2.1 Selbstrettungsphase – Automatikbetrieb 25
5.2.2 Fremdrettungsphase – Manueller Betrieb 25
6 Empfehlungen zur Branderkennung und Messeinrichtungen **26**
7 Quellenverzeichnis **27**
Anhang A: Berechnungsergebnisse Frischluftbedarf RABT-2006 ..... **28**
Anhang B: Berechnungsergebnisse Frischluftbedarf RABT-2016 ..... **30**

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Längsneigungsverlauf - Südröhre 7
Tabelle 2.2: Längsneigungsverlauf - Nordröhre 7
Tabelle 2.3: Daten des dreispurigen Fahrraumquerschnittes Nordröhre 8
Tabelle 2.4: Daten des dreispurigen Fahrraumquerschnittes Südröhre 8
Tabelle 2.5: Daten des vierspurigen Fahrraumquerschnittes Nordröhre 8
Tabelle 2.6: Daten des vierspurigen Fahrraumquerschnittes Südröhre 8
Tabelle 2.7: Verkehrsdaten Nordröhre DTV, Lkw-Anteil, davon abgeleitet Lkw-Kilometerleistung pro Tag und Röhre 9
Tabelle 2.8: Verkehrsdaten Südröhre DTV, Lkw-Anteil, davon abgeleitet Lkw-Kilometerleistung pro Tag und Röhre 9
Tabelle 3.1: Anforderungen an die Tunnellüftung im Brandfall während der Selbstrettungsphase und Fremdrettungsphase in einem Tunnel mit Richtungsverkehr 11
Tabelle 3.2: Entscheidungskriterium für die Wahl der Bemessungsbrandleistung gemäß RABT-2006 und RABT-2016 12
Tabelle 3.3: Kritische Geschwindigkeiten für beide Röhren nach Gleichung (Gl. 1) 15
Tabelle 3.4: Kritische Geschwindigkeiten für beide Röhren mit Berechnung nach RABT-2016 15
Tabelle 3.5: Lüftungsarten im Brandfall bei Richtungsverkehr mit ausnahmsweise stockendem Verkehr (RABT-2006) und Stau hinter dem Brandort ausgeschlossen (RABT-2016) 15
Tabelle 3.6: Notwendiger Einbauschub je Tunnelröhre; Beurteilungsgrundlage RABT-2006 16
Tabelle 3.7: Notwendiger Einbauschub je Tunnelröhre; Beurteilungsgrundlage RABT-2016 17
Tabelle 3.8: „Auslegungstemperaturen, denen die Komponenten der Lüftungsanlage u.a. während mindestens 90 min Betrieb standhalten müssen“ [2] 18
Tabelle 3.9: Wesentliche technische Daten der ausgewählten Strahlventilatoren 18
Tabelle 3.10: Anordnung der Strahlventilatoren 19
Tabelle 4.1: Bemessungskonzentrationen für die Luftqualität im Tunnel bei verschiedenen Verkehrszuständen gemäß RABT-2006 und RABT-2016 21
Tabelle 4.2: Nordröhre - untersuchte Verkehrssituationen 22
Tabelle 4.3: Südröhre - untersuchte Verkehrssituationen 22
Tabelle 4.4: Frischluftbedarf, Selbstlüftung und Anzahl Strahlventilatoren nach RABT-2006 23
Tabelle 4.5: Frischluftbedarf, Selbstlüftung und Anzahl Strahlventilatoren nach RABT-2016 24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: dreispuriger Regelquerschnitt 7
Abbildung 3.1: Temperaturverlauf in der Umgebung des Brandes nach dem Modell der schweizerischen Richtlinie [4] und dem Modell von Opstad et al. [5] 13
Abbildung 4.1: Basiswerte der Kohlenmonoxid-Emission und Sichttr übe-Emission eines mittleren Fahrzeuges bei Fahrt mit 60 km/h in der Ebene auf Meereshöhe (RABT-2006) 21

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Der Riederwaldtunnel mit ca. 1,1 km Länge ist Bestandteil eines ca. 2,2 km langen Autobahnabschnitts, der als Lückenschluss die A 66 mit der Ostumgehung Frankfurt verbinden soll. Er wird in zwei Tunnelröhren auf jeweils drei bzw. vier Fahrspuren im Richtungsverkehr befahren. Beide Röhren besitzen einen Rechteckquerschnitt.

Das vorliegende Gutachten dient der Auslegung der Tunnellüftung für den Brandfall und den Normalbetrieb gemäß RABT-2006 [1].

Folgende Arbeitsschritte wurden im Rahmen der Aufgabenstellung durchgeführt:

- Aufbereitung der Projekt- und Verkehrsdaten sowie der meteorologischen Daten hinsichtlich der Tunnellüftung
- Klären und Beschreiben der Anforderungen an die Tunnellüftung im Brandfall
- Festlegung der Berechnungsgrundlagen für die Brandfall-Bemessung
- Berechnung des für die Dimensionierung zu berücksichtigenden Kamineffekts, der thermometeorologischen Einflüsse und Berücksichtigung der Verluste im Tunnelfahrraum (Fahrzeuge, Reibung, Ein- und Austritt etc.)
- Konzeption der Tunnellüftung für Richtungsverkehr in beiden Röhren
- Prüfung der Machbarkeit und Grobauslegung des Lüftungssystems (erforderlicher Schub, Bemessung der Ventilatoren, Angaben zum Einbau, Standorte und elektrische Leistungen)
- Untersuchung der Anforderungen im Brandfall gemäß RABT-2006 hinsichtlich der Druckverhältnisse an den Notausgängen, sowie zur Vermeidung eines Strömungskurzschlusses an den Portalen zwischen Brand- und Gegenröhre
- Wahl der maßgebenden Verkehrsfälle für den Normalbetrieb
- Berechnung des Frischluftbedarfs nach RABT-2006 bezüglich Emissionen für das Prognosejahr im Normalbetrieb
- Berechnung der natürlichen Lüftung durch Verkehr und Winddruck unter Berücksichtigung der Reibungsverluste im Normalbetrieb
- Berechnung des notwendigen Strahlventilatorschubes im Normalbetrieb
- Beurteilung und Empfehlung eines Lüftungssystems unter sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten
- Prinzipielle Empfehlungen zur Betriebsart der Lüftungsanlage im Normalbetrieb und im Brandfall
- Empfehlungen zur Branderkennung und Festlegung der Anordnung der lüftungstechnisch benötigten Messeinrichtungen (Strömung, Sichttrübung und CO)

Das Gutachten aus dem Jahr 2014 ist mit vorliegender Version wegen geänderter Verkehrszahlen (Prognose 2030) und Querschnittsanpassungen zu überarbeiten. Zusätzlich ist die Einhaltung der Belange der RABT-2016 [2] zu berücksichtigen.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

2 Projektdaten

2.1 Tunnelgeometrie

Der Riederwaldtunnel besitzt eine Länge von bis zu 1,095 km und die Höhe über Meer beträgt ca. 92 m. Der Verlauf der Längsneigungen der Süd- und Nordröhre ist in Tabelle 2.1 und Tabelle 2.2 angegeben.

Portal	Position [km]	Tunnelmeter [m]	Abschnittslänge [m]	Längsneigung [%]	Höhe ü. M. [m]
Westportal	1+650	0			91,9
	1+768	118	118	-0,60	91,2
	2+198	548	430	-0,50	89,1
	2+732	1.082	534	+0,60	92,3
Ostportal	2+745	1.095	13	+2,30	92,6

ÜB_Riederwald_2011-11-09 JPO / 2011-11-08

Tabelle 2.1: Längsneigungsverlauf - Südröhre

Portal	Position [km]	Tunnelmeter [m]	Abschnittslänge [m]	Längsneigung [%]	Höhe ü. M. [m]
Westportal	1+685	0			91,7
	1+768	83	83	-0,60	91,2
	2+221	536	453	-0,50	88,9
	2+702	1.017	481	+0,55	91,6
Ostportal	2+710	1.025	8	+2,30	91,8

ÜB_Riederwald_2011-11-09 JPO / 2011-11-08

Tabelle 2.2: Längsneigungsverlauf - Nordröhre

Der Tunnel besitzt zwei Röhren und wird im Richtungsverkehr auf je drei bzw. vier Fahrstreifen befahren. Auf beiden Seiten ist ein Notgehweg mit 1,0 m Breite vorgesehen. In Abbildung 2.1 ist der dreispurige Querschnitt des Tunnels dargestellt. Die wesentlichen Daten können Tabelle 2.3 bis Tabelle 2.6 entnommen werden.

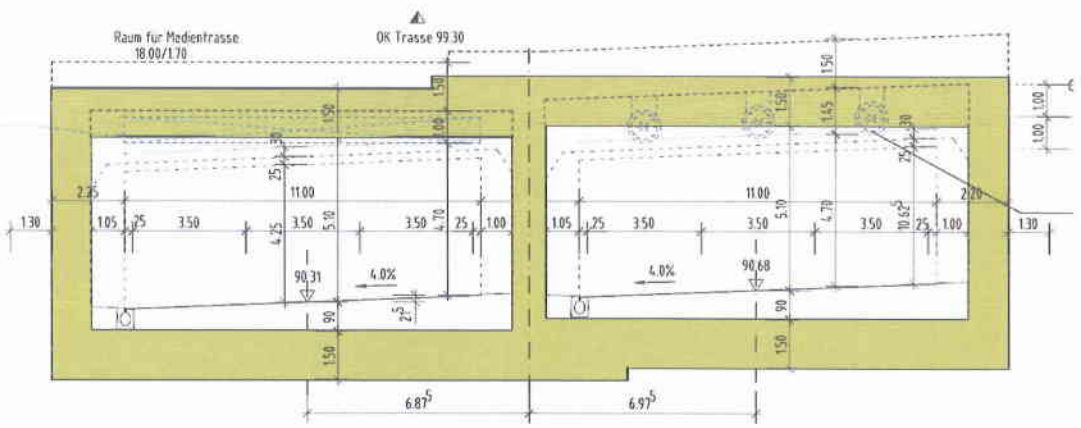

Abbildung 2.1: dreispuriger Regelquerschnitt

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Fahrraum	Riederwald
Breite B	13,00 m
lichte Höhe des Querschnitts	5,00 m
Querschnittsfläche A	65,00 m²
Profilumfang U	36,00 m
hydraulischer Durchmesser D_h	7,22 m

UB_Riederwald_2014-09-23 / JKO / 2014-10-17

Tabelle 2.3: Daten des dreispurigen Fahrraumquerschnittes Nordröhre

Fahrraum	Riederwald
Breite B	13,05 m
lichte Höhe des Querschnitts	5,00 m
Querschnittsfläche A	65,25 m²
Profilumfang U	36,10 m
hydraulischer Durchmesser D_h	7,23 m

UB_Riederwald_2011-11-09 / JPO / 2011-11-08

Tabelle 2.4: Daten des dreispurigen Fahrraumquerschnittes Südröhre

Fahrraum	Riederwald
Breite B	16,50 m
lichte Höhe des Querschnitts	5,00 m
Querschnittsfläche A	82,50 m²
Profilumfang U	43,00 m
hydraulischer Durchmesser D_h	7,67 m

UB_Riederwald_2014-09-23 / JKO / 2014-10-17

Tabelle 2.5: Daten des vierspurigen Fahrraumquerschnittes Nordröhre

Fahrraum	Riederwald
Breite B	16,55 m
lichte Höhe des Querschnitts	5,00 m
Querschnittsfläche A	82,75 m²
Profilumfang U	43,10 m
hydraulischer Durchmesser D_h	7,68 m

UB_Riederwald_2014-09-23 / JKO / 2014-10-17

Tabelle 2.6: Daten des vierspurigen Fahrraumquerschnittes Südröhre

Ab Tunnelmitte bis zum Ostportal ändert sich die lichte Höhe der Querschnitte auf 5,1 m in beiden Röhren. Die Breite der Nordröhre ändert sich von 13,00 m auf 13,05 m. In der nachfolgenden Überprüfung der Auslegung zur Tunnellüftung werden diese Geometrieänderungen berücksichtigt.

2.2 Verkehrsdaten

Als Bemessungsjahr für den Riederwaldtunnel wird das Jahr 2030 vorgegeben. Die Tunnelröhren werden im Richtungsverkehr befahren. Aus den Verkehrszahlen gemäß [3] wird die Lastwagenkilometerzahl (Lkw/Tag und Röhre x km Tunnellänge) ermittelt, die für die Festlegung der Bemessungsbrandleistung verwendet wird.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Der DTV_w wurde zur Ermittlung des DTV gemäß [3] mit dem Korrekturfaktor 0,9 versehen. Zur Berechnung der LKW-Anzahl in 24 Stunden wurde der werktägliche Schwerverkehr mit dem Faktor 0,8 multipliziert. Für die Auslegung der Tunnellüftung wurden die Verkehrszahlendes Planfalles 1a des Verkehrsgutachtens [3] herangezogen.

Die resultierenden Werte sind in Tabelle 2.7 und Tabelle 2.8 enthalten.

Tunnellänge	1.025	m
Prognosejahr	2030	
Normalbetrieb		
Verkehr DTV eine Röhre	49.700	Kfz/24h
mittlerer Lkw-Anteil	5,0	%
Lkw eine Röhre	2.470	Lkw/24h
Brandfall		
Lkw-Kilometerleistung je Röhre	2.532	Lkw,km/24h/Röhre
Bemessungsbrandleistung	30	MW

UB_Riederwald_2017-11-20(VK) / MW / 11.12.2017

Tabelle 2.7: Verkehrsdaten Nordröhre DTV, Lkw-Anteil, davon abgeleitet Lkw-Kilometerleistung pro Tag und Röhre

Tunnellänge	1.095	m
Prognosejahr	2030	
Normalbetrieb		
Verkehr DTV eine Röhre	48.300	Kfz/24h
mittlerer Lkw-Anteil	5,3	%
Lkw eine Röhre	2.560	Lkw/24h
Brandfall		
Lkw-Kilometerleistung je Röhre	2.803	Lkw,km/24h/Röhre
Bemessungsbrandleistung	30	MW

UB_Riederwald_2017-11-20(VK) / MW / 11.12.2017

Tabelle 2.8: Verkehrsdaten Südröhre DTV, Lkw-Anteil, davon abgeleitet Lkw-Kilometerleistung pro Tag und Röhre

Die Mikrosimulationen der morgendlichen und abendlichen Spitzenbelastung des Planfalls 1a des Verkehrsgutachtens hat ergeben, dass auf der A 661 zeitweise dichter bis zähfließender Verkehr zu erwarten ist, aber keine ausgeprägte Rückstaubildung. „Insbesondere sind dadurch keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf im Riederwaldtunnel festzustellen." [3]

2.3 Meteorologisch bedingte Druckdifferenzen

Meteorologisch bedingte Druckdifferenzen können vom Wind auf ein Portal oder von einem Temperaturunterschied zwischen dem Tunnelfahrraum und der Umgebung herrühren. Diese Druckunterschiede müssen bei den Berechnungen berücksichtigt werden. Gemäß RABT-2006 [1] ist als Grundlage für die Bemessung der 95-Perzentil der senkrecht auf das Tunnelportal gerichteten Windkomponente zu berücksichtigen.

Für die Dimensionierung wurden die Daten „Frankfurt/Flughafen" und „Offenbach" verwendet. Die mittlere Windgeschwindigkeit aus beiden Stationen auf einer Bezugshöhe von 10 m über Boden wurde zu 2,9 m/s ermittelt. Aus den zur Verfügung stehenden Daten

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

kann abgeschätzt werden, dass ein Wert von 5,8 m/s das 95-Perzentil der Windgeschwindigkeit darstellt. Daraus ergeben sich folgende Winddrücke:
Umrechnungsfaktor von Messhöhe 10 m über Boden auf 2,5 m über Boden: 82 %

95-Perzentil auf Portalniveau Ost

- Windgeschwindigkeit — 82 % · 5,8 m/s = 4,76 m/s
- Druckunterschied aufgrund von Wind — ± 13,6 Pa

Umrechnungsfaktor von Messhöhe 10 m über Boden auf 2,5 m über Boden: 82 %

95-Perzentil auf Portalniveau Ost

- Windgeschwindigkeit — 82 % · 2,9 m/s = 2,38 m/s
- Druckunterschied aufgrund von Wind — ± 3,4 Pa

Natürliche Druckdifferenzen aufgrund von möglichen Temperaturunterschieden zwischen Tunnelfahrraum und Umgebung werden durch Annahme eines maximalen Temperaturunterschieds von ±10°C zwischen Tunnelinnenraum und Umgebung berücksichtigt. Daraus ergibt sich eine Auf- oder Abtriebswirkung von max. 0,3 Pa.

Daraus ergibt sich eine maximale Gegendruckdifferenz von aufgerundet 14 bzw. 4 Pa.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3 Beurteilung des Brandfalls

3.1 Anforderungen an die Tunnellüftung im Brandfall

Die Aufgabe der Tunnellüftung im Brandfall ist die Verringerung von Rauch- und Hitzewirkungen, um dem Tunnelbenutzer die Flucht aus der Gefahrenzone zu ermöglichen. Im Falle einer Längslüftung sind im Ablauf eines Brandereignisses die beiden wesentlichen Phasen der "Selbstrettung" und der "Fremdrettung" mit Brandbekämpfung zu unterscheiden. In der Tabelle 3.1 sind die Ziele und Anforderungen für einen im Richtungsverkehr betriebenen Tunnel mit Längslüftung durch Strahlventilatoren aufgeführt.

Phase		**Selbstrettungsphase**	**Fremdrettungsphase**
übergeordnetes Ziel		Flucht der Tunnelbenutzer sicherstellen	Zugang der Feuerwehr zum Brandherd erleichtern
flüssiger Richtungs-verkehr	Ziel	Rauch in Fahrtrichtung abtreiben; Verhindern der Rückströmung von Rauch.	
	Anforderung	Ausreichend hohe Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Fahrraum.	
stockender Richtungs-verkehr oder Staufall	Ziel	Erhaltung einer eventuell vorhandenen Luft-/Rauchschichtung	Rauch einseitig abtreiben; Verhindern der Rückströmung von Rauch
	Anforderung	Möglichst kleine Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Fahrraum. Strömungsumkehr vermeiden. Strahlventilatoren nicht im Bereich der Luft-/Rauchschichtung einschalten.	Höhere Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Fahrraum. Blasrichtung der Strahlventilatoren soll reversierbar sein

Tabelle 3.1: Anforderungen an die Tunnellüftung im Brandfall während der Selbstrettungsphase und Fremdrettungsphase in einem Tunnel mit Richtungsverkehr

Liegt zum Zeitpunkt des Brandes flüssiger Richtungsverkehr vor, so muss lüftungstechnisch nicht zwischen den beiden Rettungsphasen unterschieden werden. Bricht bei Vorliegen von stockendem Verkehr oder Stau ein Brand aus, so sind die Ziele und Anforderungen in der Selbstrettungsphase und der Fremdrettungsphase unterschiedlich.

Der Betrieb der Brandlüftung für die Selbstrettungsphase sollte automatisiert erfolgen. Die Entscheidung des Zeitpunktes zur manuellen Schaltung der Tunnellüftung in der Fremdrettungsphase muss von einem Verantwortlichen des Betreibers oder der Feuerwehr aufgrund der vorliegenden Randbedingungen getroffen werden.

Der optimale Angriffsweg ist wesentliches Entscheidungskriterium für eine eventuell notwendige Richtungsumkehr der Strömung im Tunnel. Vor der Richtungsumkehr der Strömung muss sichergestellt sein, dass sich keine fliehenden Personen mehr in der betroffenen Röhre aufhalten. Falls möglich, sollte die bisherige Strömungsrichtung nicht umgekehrt werden.

Neben den lüftungstechnischen Eingriffen in der in der Ereignisröhre ist der Rettungsweg in der Nachbarröhre möglichst rauchfrei zu halten. Dafür sind in beide Tunnelröhren, Brandröhre und Nachbarröhre, aufeinander abgestimmte Lüftungsmaßnahmen vorzusehen.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3.2 Bemessungsbrandleistung

Für die Beherrschung eines Brandes sind die Brandgröße bzw. die Brandleistung, die entstehenden Temperaturen und die Ausbreitung der Rauchgase entscheidend. Als bestimmender Parameter wird in der Regel die Brandleistung angegeben.

Ein einzelner Pkw-Brand ist gut zu beherrschen. Ein Bus- oder Lkw-Brand oder ein Brand, in den mehrere Fahrzeuge verwickelt sind, stellt hingegen schon besondere Anforderungen an die Brandlüftung und an die Feuerwehr. Der Vollbrand eines Lastwagens mit gefährlichen Gütern kann mit lüftungstechnischen Maßnahmen im Allgemeinen nicht mehr beherrscht werden.

In der RABT-2006 [1], wie auch in der RABT-2016 [2], wird die Lastwagenkilometerzahl pro Tag in einer Röhre (Lkw/Tag x km Tunnellänge) für die Festlegung der Bemessungsbrandleistung verwendet (vgl. Tabelle 3.2).

Lkw · km / Tag und Röhre	Brandleistung	Rauchgasmenge bei 300°C
bis 4.000	30 MW	80 m³/s
über 4.000	50 MW	120 m³/s
über 6.000	Risikoanalyse und ggf. Erhöhung der Brandleistung auf 100 MW und der Rauchmenge auf 200 m³/s	

RABT-2006_Tabelle(8)

Tabelle 3.2: Entscheidungskriterium für die Wahl der Bemessungsbrandleistung gemäß RABT-2006 und RABT-2016

Die in Tabelle 2.7 und Tabelle 2.8 ermittelten Lastwagenkilometerzahlen liegen unter der Grenze von 4.000 Lkw km / 24h. Es wird daher von einer maximalen Brandleistung von 30 MW und einer Rauchproduktion von bis zu 80 m³/s ausgegangen.

3.3 Druckverluste im Tunnel

Als Druckverluste im Tunnel werden berücksichtigt:

- Wandreibung
- allgemein übliche Einbauten
- Eintritt in den Tunnel
- Austritt aus dem Tunnel
- Widerstand der stehenden Fahrzeuge

Zur Berücksichtigung der Wandreibung in den Tunnelröhren wird eine Wandrauhigkeit von 4 mm angenommen. Dieser Wert schließt die üblichen Einbauten, Nischen und kleine Beschilderungen mit ein.

Gemäß [4] werden die Verluste bei Eintritt der Luft in die Tunnelröhren bzw. bei Austritt werden mit $\zeta_{Eintr} = 0{,}6$ und mit $\zeta_{Austr} = 1{,}0$ berücksichtigt. Als Widerstandsflächen für die Fahrzeuge im Tunnel wird gemäß [4] für Pkw $(c_w \cdot A)_{Pkw} = 0{,}9$ und für Lkw $(c_w \cdot A)_{Lkw} = 5{,}0$ angesetzt. Es wird von einer Aufstaudichte der Fahrzeuge von 165 PkwE/km ausgegangen, vgl. [1]. Ein Lkw entspricht dabei zwei PersonenkraftwagenEinheiten (PkwE).

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3.4 Kaminwirkung aufgrund der Brandleistung

Die freigesetzte Brandleistung und die vorhandene Längsneigung im Bereich der heißen Brandgase sind für die sogenannte Kaminwirkung ausschlaggebend. Für die Berechnung der Kaminwirkung existieren verschiedene Modelle, die in [5] verglichen werden. Aus der Brandleistung des Dimensionierungsbrandes muss auf eine Temperaturverteilung im Tunnel geschlossen werden, die für die Bestimmung des Kamineffekts verwendet wird.

Die Berechnungsvorschrift für die resultierende Auftriebskraft in der schweizerischen Richtlinie [4] geht von einer konstanten Temperaturerhöhung über eine bestimmte Länge (L_{Brand}) aus (Abbildung 3.1).

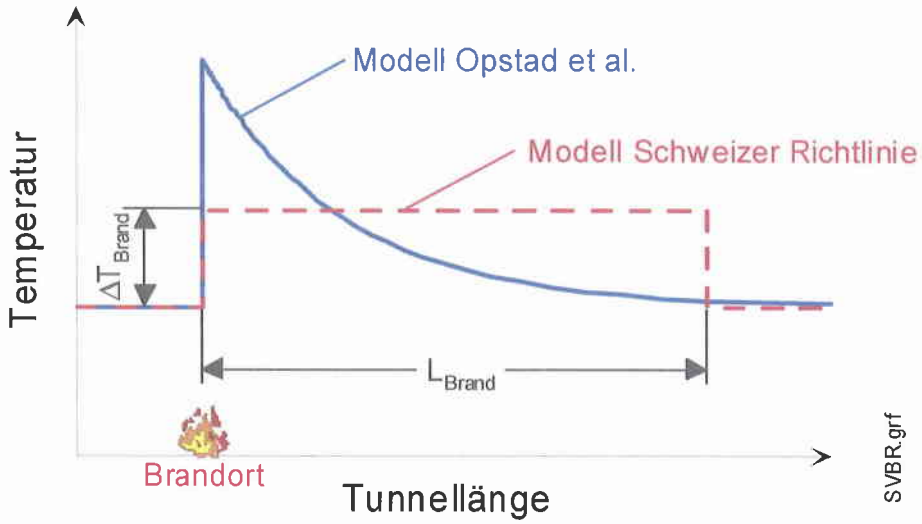

Abbildung 3.1: Temperaturverlauf in der Umgebung des Brandes nach dem Modell der schweizerischen Richtlinie [4] und dem Modell von Opstad et al. [5]

Das Modell von Opstad et al. [5] berücksichtigt eine realistischere Temperaturverteilung über die Tunnellänge gemäß Abbildung 3.1, und die Wärmefreisetzung des Brandes an die Tunnelluft wird physikalisch berücksichtigt. Eine Strahlungsleistung von ca. 30 % wird nach bisherigem Modell direkt an die Tunnelwand abgegeben und ist von der Nennleistung des Dimensionierungsbrandes abzuziehen. Das Modell von Opstad et al. [5] wurde für die Dimensionierung verwendet. Die freigesetzte Brandleistung und die vorhandene Längsneigung im Bereich der heißen Brandgase sind für die sogenannte Kaminwirkung ausschlaggebend.

Bei einer Brandleistung von 30 MW wurde bisher dementsprechend für die Nordröhre mit einer Kaminwirkung von bis zu 4,6 Pa gerechnet und für die Südröhre mit einer Kaminwirkung von bis zu 4,7 Pa.

Im Zusammenhang mit den Überprüfungen auf die Einhaltung der Belange nach RABT-2016 [2] ist die Vorgabe zu berücksichtigen, dass nur eine Strahlungsleistung von 20 % an die Tunnelwand abgegeben wird. Weiterhin wird in der aktuellen österreichischen Richtlinie [8] von geringeren Wärmeübergangskoeffizienten an die Tunnelwand ausgegangen, die in die Neuberechnung der Kaminwirkung einfließen. Beide Einflüsse führen dazu, dass weniger Wärme an die Tunnelwand abgegeben wird und sich damit die Auftriebskraft der Brandgase vergrößert.

Bei einer Brandleistung von 30 MW wird für die Überprüfung nach RABT-2016 für die Nordröhre mit einer Kaminwirkung von bis zu 9,35 Pa und für die Südröhre mit einer Kaminwirkung von bis zu 8,91 Pa bei der Dimensionierung der Lüftung gerechnet.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3.5 Kritische Geschwindigkeit

Die Rückströmung der Rauchzunge entgegen einer vorhandenen Grundgeschwindigkeit der Luft im Tunnel wird "Backlayering" genannt. Um dies zu verhindern und den Rauch sicher einseitig abtreiben zu können, ist eine Mindestgeschwindigkeit der Luft im Tunnel notwendig. Diese wird als kritische Geschwindigkeit u_{Krit} bezeichnet. Der erforderliche Schub bzw. die erforderliche Anzahl Strahlventilatoren ergibt sich aus dieser mindestens zu erreichenden Längsgeschwindigkeit.

Abgeleitet von den Brandversuchen im Memorial-Tunnel [6] lässt sich die kritische Geschwindigkeit berechnen, die erforderlich ist, um eine sichere einseitige Rauchausbreitung zu gewährleisten. Diese Geschwindigkeit ist abhängig von der Brandleistung, dem Tunnelquerschnitt (Querschnittsfläche und größte Höhe) und der Längsneigung am Brandort.

Die kritische Geschwindigkeit wurde bisher aus den Gleichungen (1) bis (4) ermittelt. Bei einer Entrauchung in fallender Richtung ist für ein Gefälle der positive Wert in die Gleichungen einzusetzen. Um die kritische Geschwindigkeit bei einer Entrauchung in steigender Richtung zu ermitteln, ist für den Gefällewert i der Wert Null in die Gleichungen einzusetzen.

$$u_{Krit} = K_1 K_g \left(\frac{gHQ}{\rho c_p A_T T_{Br}} \right)^{1/3} \quad \text{(Gl. 1)}$$

$$K_1 = Fr_c^{-1/3} \quad \text{(Gl. 2)}$$

$$K_g = 1 + 0.0374 \cdot i^{0.8} \quad \text{(Gl. 3)}$$

$$T_{Br} = \frac{Q}{\rho c_p A_T u_{Krit}} + T \quad \text{(Gl. 4)}$$

mit:

u_{Krit}	[m s^{-1}]	kritische Geschwindigkeit
g	[m s^{-2}]	Erdbeschleunigung g = 9,81 m/s^2
H	[m]	lichte Höhe des Tunnels
Q	[W]	konvektive Brandleistung
ρ	[kg m^{-3}]	Dichte der "kalten" Luft hier: 1,2 kg/m^3
c_p	[J kg^{-1}K^{-1}]	spezifische Wärme c_p = 1.005 J/kg/K
A_T	[m^2]	Querschnittsfläche des Tunnels
i	[%]	Absolutwert der Tunnelsteigung am Brandort
T_{Br}	[K]	Mittlere Temperatur der Brandgase
T	[K]	Temperatur der "kalten" Luft
Fr_c	[-]	Kritische Froudezahl Fr_c = 4,5

Mit vorstehenden Gleichungen ergeben sich folgende kritische Geschwindigkeiten:

	Spuren [-]	Querschnittsfläche [m²]	Kritische Geschwindigkeit [m/s]

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Nordröhre	4	82,5	1,98
	3	65,0	2,1
Südröhre	4	82,75	1,98
	3	65,25	2,1

Tabelle 3.3: Kritische Geschwindigkeiten für beide Röhren nach Gleichung (Gl. 1)

Nach RABT-2016 [2] wird in Gleichung (Gl. 1) ein Brandwirkungsgrad von 80% eingeführt. Damit ändert sich die wirksame Brandleistung auf 0,8*Q. Es ergeben sich kritische Geschwindigkeiten gemäß Tabelle 3.4.

	Spuren [-]	Querschnittsfläche [m²]	Kritische Geschwindigkeit [m/s]
Nordröhre	4	82,5	1,90
	3	65,0	2,1
Südröhre	4	82,75	1,89
	3	65,25	2,1

Tabelle 3.4: Kritische Geschwindigkeiten für beide Röhren mit Berechnung nach RABT-2016

Bei gleichem Volumenstrom im kleinen Querschnitt und im großen Querschnitt ergeben sich unterschiedliche Geschwindigkeiten. Die maßgebenden Geschwindigkeiten für die Auslegung ergeben sich aus den auf den kleinen Querschnitt übertragenen Volumenströmen des großen Querschnitts, die über die dazugehörigen kritischen Geschwindigkeiten ermittelt wurden.

3.6 Lüftungskonzept

Der Riederwaldtunnel wird im Richtungsverkehr betrieben. Aus den Aussagen zur Verkehrsqualität in Abschnitt 2.2 lässt sich ableiten, dass für die Wahl der Lüftungskonzeption nach RABT-2006 [1] nicht mit täglich stockendem Verkehr zu rechnen ist. Hinsichtlich der RABT-2016 ist die Bedingung erfüllt, dass Stau hinter dem Brandort in der Regel ausgeschlossen werden kann.

Damit hängt das Lüftungssystem sowohl nach RABT-2006 als auch nach RABT-2016 entsprechend Tabelle 3.5 von der Länge des Tunnels ab. Beide Tunnelröhren besitzen eine Länge zwischen 600 und 3000 m.

Tunnellänge	Lüftungsart im Brandfall
bis 600 m	Natürliche Längslüftung
600 bis 3000 m	Mechanische Längslüftung
ab 3000 m	Längslüftung mit Punktabsaugung ≤ 2000 m oder Absaugung über Zwischendecke mit steuerbaren Absaugöffnungen

Tabelle 3.5: Lüftungsarten im Brandfall bei Richtungsverkehr mit ausnahmsweise stockendem Verkehr (RABT-2006) und Stau hinter dem Brandort ausgeschlossen (RABT-2016)

Das aktualisierte lufthygienische Gutachten [7] stellt keine weitergehenden Anforderungen an das Lüftungssystem, da die Immissionsgrenzwerte nicht überschritten werden.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Es wird daher wie bisher eine mechanische Längslüftung mit Strahlventilatoren vorgesehen, die die Anforderungen an die Lüftungskonzeption nach RABT-2006 und RABT-2016 erfüllt.

3.7 Dimensionierung für den Brandfall

3.7.1 Dimensionierung nach RABT-2006

In Tabelle 3.6 sind die Berechnungsergebnisse der Dimensionierung nach RABT-2006 [1] für beide Tunnelröhren für Richtungsverkehr zusammengefasst.

Der Füllungsgrad bestimmt die durch die Tunnellüftung zu überwindenden Fahrzeugwiderstände. Da der Lastwagenanteil mit neuer Verkehrsprognose gesunken ist, reduziert sich die durch diese Fahrzeuge verursachte Reibung.

Angegeben ist der effektive Schub der Strahlventilatoren im eingebauten Zustand, der benötigt wird, um in beiden Tunnelröhren die notwendige Mindestgeschwindigkeit im geringsten Querschnitt erreichen zu können. Der benötigte Schub wird mit sinkenden Druckverlusten geringer. Die Anzahl tatsächlich zu installierender Ventilatoren ändert sich gegenüber der bisherigen Auslegung nicht.

Auslegungsdaten

Berechnungsfall	*Richtungsverkehr*	
Röhre	*Nordröhre*	*Südröhre*
Lastwagenanteil [%]	5,0%	5,3%
Füllungsgrad Tunnel [%]	75%	75%
Sollgeschwindigkeit u_{Soll} [m/s]	2,5	2,5

Ergebnisse: Druckanteile [Pa]
(- = Wirkung gegen die Entrauchungsrichtung)

Fahrzeuge Δp_{Fz} [Pa]	-25,0	-26,9
Reibung Δp_{Reib} [Pa]	-15,0	-15,6
Kaminwirkung Brand Δp_{Brand} [Pa]	-4,7	-4,7
Kaminwirkung Meteo Δp_{Meteo} [Pa]	0,0	-0,3
Winddruck Δp_{Wind} [Pa]	-14,0	-14,0

Strahlventilatoren

erforderliche Druckdifferenz Δp_{SV} [Pa]	58,7	61,5
Einbauschub bei u_{Soll} S_E [N]	3.817	4.011
entspricht Standschub S im Freifeld [N]	5.527	5.808
Standschub S_0 ein Strahlventilator [N]	835	835
Anzahl SV rechnerisch = S/S_0	6,62	6,96
Anzahl SV (Basis 3 SV je Gruppe)	9	9
Redundanz (1 Gruppe)	3	3
Anzahl Strahlventilatoren	12	12

USOLL3_Riederwald_2017-11-16(Zusf123) / JKO / 21.11.2017

Tabelle 3.6: Notwendiger Einbauschub je Tunnelröhre; Beurteilungsgrundlage RABT-2006

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3.7.2 Dimensionierung nach RABT-2016

In Tabelle 3.6 sind die Berechnungsergebnisse der Dimensionierung nach RABT-2016 [2] für beide Tunnelröhren für Richtungsverkehr zusammengefasst.

Die Kaminwirkung des Brandes ist erhöht. Die Sollgeschwindigkeit, der Widerstand der Fahrzeuge und der Reibungsverlust sind reduziert.

Zur Berücksichtigung der Querschnittsänderungen und von größeren Schildern im Tunnelverlauf wurde ein zusätzlicher Druckverlust Form und Einbauten eingeführt.

Angegeben ist der neue effektive Schub der Strahlventilatoren im eingebauten Zustand, der benötigt wird, um in beiden Tunnelröhren die notwendige Sollgeschwindigkeit im geringsten Querschnitt erreichen zu können.

Der benötigte Schub erhöht sich gegenüber der Auslegung nach RABT-2006 [1]. Die Anzahl tatsächlich zu installierender Ventilatoren ändert sich gegenüber der Auslegung nach RABT 2006-in Abschnitt 3.7.1 jedoch nicht.

Auslegungsdaten

Berechnungsfall	*Richtungsverkehr*	
Röhre	*Nordröhre*	*Südröhre*
Lastwagenanteil [%]	5,0%	5,3%
Füllungsgrad Tunnel [%]	75%	75%
Sollgeschwindigkeit u_{Soll} [m/s]	2,4	2,4

Ergebnisse: Druckanteile [Pa]
(- = Wirkung gegen die Entrauchungsrichtung)

Fahrzeuge Δp_{Fz} [Pa]	-22,9	-24,3
Reibung Δp_{Reib} [Pa]	-14,2	-14,6
Kaminwirkung Brand Δp_{Brand} [Pa]	-9,4	-8,9
Kaminwirkung Meteo Δp_{Meteo} [Pa]	0,0	-0,3
Winddruck Δp_{Wind} [Pa]	-14,0	-14,0
Form und Einbauten ΔpVerluste [Pa]	-5,0	-5,0

Strahlventilatoren

erforderliche Druckdifferenz Δp_{SV} [Pa]	65,6	67,2
Einbauschub bei u_{Soll} S_E [N]	4.263	4.383
entspricht Standschub S im Freifeld [N]	6.154	6.324
Standschub S_0 ein Strahlventilator [N]	835	835
Anzahl SV rechnerisch = S/S_0	7,37	7,57
Anzahl SV (Basis 3 SV je Gruppe)	9	9
Redundanz (1 Gruppe)	3	3
Anzahl Strahlventilatoren	12	12

USOLL3_Riederwald_2017-11-16_RABT2016(Zusf123) / JKO / 21.11.2017

Tabelle 3.7: Notwendiger Einbauschub je Tunnelröhre; Beurteilungsgrundlage RABT-2016

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3.8 Temperaturbeständigkeit lüftungstechnischer Anlagenkomponenten

Die RABT-2016 [2] stellt neue Anforderungen zur Temparaturbeständigkeit der lüftungstechnischen Komponenten auf, die nachstehend wiedergegeben sind.

Anlagekomponente/ Installationsort	Einsatzart	Temperatur T_F des Fördermediums	Umgebungstemperatur T_U
Axialventilatoren in separatem Lüfterraum aufgestellt	Rauchabsaugung über Betonkanal, Länge > 50 m	0 - 250 °C	0 - 40 °C
	Unmittelbare Rauchabsaugung bzw. durch kurzen Betonkanal (≤ 50 m)	0 - 400 °C	0 - 40 °C
Strahlventilatoren im Tunnelfahrraum	Längslüftung und Rauchgasförderung, Bemessungsbrandleistung bis 30 MW	T_F abhängig vom Abstand a zwischen Ventilator und Brandort*: a > 50 m: 0 - 250 °C	0 - 250 °C
	Längslüftung und Rauchgasförderung, Bemessungsbrandleistung ≥ 50 MW	T_F abhängig vom Abstand a zwischen Ventilator und Brandort*: 100 m < a < 200 m: 0 - 400 °C 200 m < a: 0 - 250 °C	0 - 400 °C 0 - 250 °C
Rauchabsaugklappen Tunnel	Rauchabsaugung aus dem Fahrraum	0 – 400 °C	0 – 400 °C

Tabelle 3.8: „Auslegungstemperaturen, denen die Komponenten der Lüftungsanlage u.a. während mindestens 90 min Betrieb standhalten müssen" [2]

Gemäß vorstehender Tabelle ergibt sich für die Strahlventilatoren eine erforderliche Temperaturfestigkeit von 250°C über 90 min. Auch nach den Vorgaben der RABT-2006 [1] ist diese Temperaturfestigkeit zulässig.

3.9 Anordnung der Strahlventilatoren

Die Auswahl der zu installierenden Strahlventilatoren erfolgt aufgrund der baulichen Randbedingungen und des im Brandfall notwendigen Schubes. Als Redundanz wird der Ausfall einer Strahlventilatorgruppe aufgrund des Brandes berücksichtigt. Weiterhin wird eine niedrige elektrische Leistung, eine günstige Anordnung im Tunnelquerschnitt und eine günstige Verteilung über die Tunnellänge angestrebt.

Es wird für die Anordnung in Deckennischen ein Ventilatortyp mit Laufraddurchmessers gemäß Tabelle 3.9 vorgeschlagen.

Die im Beispiel angegebenen Daten sind abhängig vom Hersteller der Strahlventilatoren. Der angegebene Standschub muss in beiden Blasrichtungen mindestens erreicht werden können. Der Strahlventilator-Wirkungsgrad ist in den Werten des effektiven Volumenstromes und der effektiven Ausblasgeschwindigkeit eingerechnet worden. Der Schub der Strahlventilatoren im Tunnel ist gegenüber dem im Freifeld erreichbaren Schub vermindert.

Typ	LR Ø 800 mm
Blasrichtung	reversibel
Laufraddurchmesser	800 mm
Außendurchmesser	990 mm
Standschub	870 N
Motorleistung	30 kW
Temperaturanforderung	400°C, 90 min

Tabelle 3.9: Wesentliche technische Daten der ausgewählten Strahlventilatoren

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Wir empfehlen die Anordnung von vier Ventilatorgruppen zu je drei Strahlventilatoren gemäß Tabelle 3.10. Die Ventilatorgruppe von ursprünglich km 1+875 wurde im Projektverlauf seit November 2014 auf km 1+930 verschoben.

	Position [km]	Querschnitt
Südröhre	1+800	3-spurig
	1+930	3-spurig
	2+450	3-spurig
	2+595	3-spurig
Nordröhre	1+800	3-spurig
	1+930	3-spurig
	2+450	3-spurig
	2+595	3-spurig

Tabelle 3.10: Anordnung der Strahlventilatoren

Bei der Anordnung der Strahlventilatoren sind die folgenden Mindestabstände einzuhalten:
- Zur nächsten Ventilatorgruppe ca. 100 m
- Abstand zwischen Gehäuse und Tunneldecke 300 mm
- Abstand zwischen Gehäuse und Verkehrsraum 300 mm
- Zwischen zwei Ventilatoren 1000 mm

In den dreispurigen Querschnitten können drei Strahlventilatoren mit einem Laufraddurchmesser von 800 mm angeordnet werden.

Nach RABT-2016 ist die elektrische Anlage so zu bemessen, dass 60 Sekunden nach Auslösung des Brandalarmes die gemäß Brandprogramm erforderliche Anzahl Strahlventilatoren Solldrehzahl erreichen. Unter ungünstigsten Bedingungen sind in einer Röhre sieben, in der Anderen acht Ventilatoren notwendig, um die kritische Geschwindigkeit zu erreichen. Damit entsteht eine Reserve von zwei bzw. einem Ventilator, die bei Defekt eines angeforderten Ventilators in Betrieb genommen werden kann. Hinsichtlich des Gleichzeitigkeitsfaktors ist zu berücksichtigen, dass neben den 8 Ventilatoren in der Brandröhre eine noch festzulegende Anzahl in der Gegenröhre in Betrieb erforderlich ist (Rauchfreihaltung Rettungsweg).

3.10 Druckverhältnisse an den Notausgängen

Neben den lüftungstechnischen Anforderungen in der Brandröhre sind die Lüftungsbedingungen in der Gegenröhre hinsichtlich Rauchfreihaltung und Türöffnungskraft zwischen Brand- und Gegenröhre am Querschlag von Bedeutung.

Die RABT-2006 [1] fordert: "Rettungswege sind rauchfrei zu halten. Hierzu sind Schleusen oder Überdruckbelüftung geeignet." Die Türöffnungskräfte sollen 100 N nicht übersteigen.

Die RABT-2016 [2] führt aus, dass sofern keine Schleusen vorhanden sind, die Rettungswege durch Überdruckbelüftung rauchfrei gehalten werden können. Weiterhin soll eine Strömung in gleicher Richtung wie in der Brandröhre aufgebaut werden. Die Türöffnungskräfte sollen 80 N nicht übersteigen.

Es wird vorgeschlagen, in der nicht vom Brandfall betroffenen Nachbarröhre mittels der installierten Strahlventilatoren eine Strömung zu erzeugen, deren Druck größer ist als der Druck in der Brandröhre. Damit kann der Übertritt von Rauch über die Notausgänge in der Trennwand und die Portale in die parallele Nachbarröhre weitgehend vermieden werden. Die Türöffnungskräfte sollen 100 N nicht übersteigen.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

3.11 Strömungskurzschluss an den Portalen

Bei nebeneinander liegenden Tunnelportalen wird ein Teil der aus der einen Röhre austretenden Abluft von der in die andere Tunnelröhre einströmenden Zuluft mitgerissen. Im Normalbetrieb führt diese Rezirkulation zu einer Vorbelastung der einströmenden Frischluft mit Schadstoffen aus der Abluftröhre. Um das Schadstoffniveau im Vergleich zur Situation ohne Strömungskurzschluss gleich zu halten, wäre ein größerer Lüftungseinsatz erforderlich.

Im Brandfall kann ein Strömungskurzschluss am Portal zum Ansaugen der austretenden Rauchgase und damit zum teilweisen Eintritt von Rauch in die nicht vom Brand betroffene Röhre führen. Die Rezirkulation von Rauch und Schadstoffen an den Portalen von einer Tunnelröhre in die andere ist daher durch geeignete lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen zu vermeiden.

Als lüftungstechnische Maßnahme wird in der nicht vom Brandfall betroffenen Nachbarröhre mit den Strahlventilatoren ein Lüftungsprogramm zur Vermeidung eines Strömungskurzschlusses am Entrauchungsportal eingestellt. Nach dem Einschalten des Programms kann lüftungstechnisch der Kurzschluss verhindert werden.

Aufgrund der Detektionszeit zwischen Brandbeginn und Brandmeldung, der Reaktions- und Hochfahrzeit des Lüftungssystems und der Zeit bis zur vollständigen Erreichung der lüftungstechnischen Wirkung aufgrund der Trägheit der Tunnelluft kann jedoch in den ersten Minuten nach Brandbeginn ein Übertritt von Rauch in die Nachbarröhre nicht ausgeschlossen werden. In dieser Zeitspanne kommen nur die baulichen Maßnahmen zum Tragen.

Die RABT-2006 [1] enthält keine Angaben zu baulichen Anforderungen dieser Maßnahmen.

Die Schweizer Richtlinie [4] enthält Mindestanforderung an die bauliche Trennung der Portale. Gemäß dieser Richtlinie genügt in der Regel bei Tunneln mit zwei parallelen Röhren eine Trennwand mit einer Länge von 30 m und einer Höhe gleich der lichten Höhe des Tunnels, um eine ausreichende aerodynamische Trennung der Portale zu erreichen.

Die RABT-2016 [2] führt eine Trennwand zwischen den Portalen oder einen Portalversatz mit jeweils einer Länge von ca. 30 m als Maßnahme zur Vermeidung eines Lüftungskurzschlusses aus.

Der Versatz des Tunnelportals Ost des Riederwaldtunnels um 35 m ist geeignet, um die Rezirkulation von Rauch und Schadstoffen in die nicht betroffene Röhre weitgehend zu vermeiden. Am Portal West besteht durch strömungstechnische Effekte eine Rezirkulationsgefahr, welcher baulich durch eine Lüftungstrennwand in Verlängerung der Tunnelmittelwand begegnet werden kann. Die Lüftungstrennwand sollte ab Einfahrportal West eine Länge von 30 m aufweisen.

Eine absolute Sicherheit gegen Übertritt von Rauch in die Nachbarröhre ist hierdurch nicht gegeben. Es wird jedoch in vielen Fällen eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Fall ohne Trennwand erreicht.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

4 Beurteilung des Normalbetriebs

4.1 Fahrzeug-Emissionen

Die Beurteilung der Luftqualität erfolgt mit den Emissionsfaktoren der RABT-2006 [1] für das Jahr 2020 und der RABT-2016 [2] für das Jahr 2030 mit den Verkehrswerten des Prognosejahres 2030.

In Abbildung 4.1 sind die Basiswerte nach RABT-2006 der Kohlenmonoxid- und Sichttrübe-Emissionen eines mittleren Fahrzeuges bei Fahrt mit 60 km/h in der Ebene auf Meereshöhe dargestellt.

Gemäß RABT-2006 wird von einem Dieselanteil von 20 % unter den Pkw ausgegangen. Als mittleres Lastwagengewicht werden 30 t (75 % des auf der Tunnelstrecke geltenden Gewichtslimits, [1]) zugrunde gelegt. Die Emissionsdaten werden abhängig vom Fahrzeugtyp, von der Steigung, der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Höhe über Meer ermittelt.

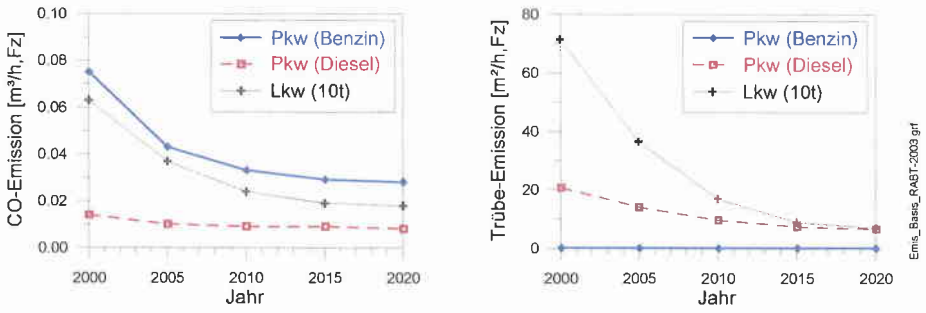

Abbildung 4.1: Basiswerte der Kohlenmonoxid-Emission und Sichttr übe-Emission eines mittleren Fahrzeuges bei Fahrt mit 60 km/h in der Ebene auf Meereshöhe (RABT-2006)

Nach RABT-2016 werden für das Jahr 2020 bereits geringere Basiswerte der Kohlenmonoxid- und Sichttrübe-Emissionen gegenüber der RABT-2006 angegeben, die sich bis zum Prognosejahr noch 2030 weiter reduzieren. Der Dieselanteil der Pkw liegt gemäß RABT-2016 mit 55 % höher.

4.2 Luftqualität im Tunnel

Zur Berechnung der notwendigen Frischluftmenge werden für die verschiedenen untersuchten Verkehrszustände die in Tabelle 4.1 enthaltenen Werte für die CO-Konzentration und die Sichttrübung verwendet. Es ist nicht mit täglich stockendem Verkehr zu rechnen.

Verkehrszustand / Betriebszustand	CO-Konzentration [ppm]	Sichttrübung [10^{-3} m^{-1}]
flüssiger Spitzenverkehr mit 50 -100 km/h	70	5
Täglich stockender Verkehr, Stillstand auf allen Fahrstreifen	70	5
Ausnahmsweise stockender Verkehr, Stillstand auf allen Fahrstreifen	100	7

Tabelle 4.1: Bemessungskonzentrationen für die Luftqualität im Tunnel bei verschiedenen Verkehrszuständen gemäß RABT-2006 und RABT-2016

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

4.3 Verkehrsannahmen

Für die Emissionsberechnungen werden die Zustände mit flüssigem Verkehr, stockendem Verkehr und Stau für beide Röhren überprüft.

Die Verkehrszahlen orientieren sich für beide Emissionsberechnungen für den flüssigen Richtungsverkehr an den Verkehrswerten für das Prognosejahr 2030. Weiterhin sind die Vorgaben für die Annahmen der Verkehrsfälle 2 und 3 in beiden Ausgaben der RABT identisch. Daher können gleiche Verkehrswerte für die Berechnungen nach RABT-2006 [1] und RABT-2016 [2] verwendet werden.

In Tabelle 4.2 sind die Verkehrssituationen für die Untersuchung des Normalbetriebs aufgelistet.

			Spur 1		Spur 2		Spur 3	
Nr.	Verkehrsfall	Geschw. km/h	Pkw Pkw/h*)	Lkw Lkw/h*)	Pkw Pkw/h*)	Lkw Lkw/h*)	Pkw Pkw/h*)	Lkw Lkw/h*)
1	Flüssig 33:33:33	80	1.574	83	1.574	83	1.574	83
2	Stockend	10	905	48	905	48	905	48
3	Stau	0	149	8	149	8	149	8

*) Bei Stau: [.../km]

UB_Riederwald_2017-11-20(FLBVK_Nord) 21.11.2017

Tabelle 4.2: Nordröhre - untersuchte Verkehrssituationen

			Spur 1		Spur 2		Spur 3	
Nr.	Verkehrsfall	Geschw. km/h	Pkw Pkw/h*)	Lkw Lkw/h*)	Pkw Pkw/h*)	Lkw Lkw/h*)	Pkw Pkw/h*)	Lkw Lkw/h*)
1	Flüssig 33:33:33	80	1.525	85	1.525	85	1.525	85
2	Stockend	10	900	50	899	50	899	50
3	Stau	0	148	8	148	8	148	8

*) Bei Stau: [.../km]

UB_Riederwald_2017-11-20(FLBVK_Süd) 21.11.2017

Tabelle 4.3: Südröhre - untersuchte Verkehrssituationen

4.4 Berechnungsergebnisse nach RABT-2006

Die Anlage A enthält die Datenblätter zu den Frischluftberechnungen nach RABT-2006.

Der Frischluftbedarf zur Einhaltung der Bemessungswerte für die Schadstoffe CO und Sichttrübung, die Selbstlüftungsmenge aufgrund der Kolbenwirkung des Verkehrs und die Anzahl notwendiger Strahlventilatoren wird in Tabelle 4.4 angegeben.

Dargestellt sind die Berechnungsergebnisse der Süd- und Nordröhre für den Normalbetrieb mit einem ausgeglichenen thermo-meteorologischen Verhältnis.

Neben der Bedingung, den notwendigen Frischluftbedarf einzuhalten, wird in der RABT-2006 eine Mindestluftgeschwindigkeit (u_{Wahl}) von 1 m/s unter Betrieb gefordert.

Im Fall 1 mit flüssigem Richtungsverkehr übertrifft die Selbstlüftungsmenge jeweils deutlich den notwendigen Frischluftbedarf. Auch im Fall 2 mit stockendem Verkehr wird die erforderliche Frischluftmenge durch die Selbstlüftungsmenge noch überschritten.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Im Verkehrsfall 3 Stau, ist theoretisch bei vollkommen ausgeglichenen Bedingungen eine künstliche Belüftung erforderlich. Jedoch erzeugen Störungen durch Wind oder Temperaturunterschiede Druckdifferenzen, die für eine ausreichende Lüftung sorgen.

Der Brandfall ist bestimmend für die notwendige Anzahl an Strahlventilatoren. Mit den für den Brandfall vorgesehenen Strahlventilatoren können für die Normalbetriebszustände die Bemessungswerte deutlich unterschritten werden.

Riederwald, Nordröhre

Nr	Portaldruck Nord Δp_{met} [Pa]	Frischluftbedarf [m³/s] CO	Sicht	Selbstlüftung[1] [m³/s]	Anzahl Strahlventilatoren[2] Frischluft W → O	W ← O	u_{Wahl} = 1,0 m/s W → O	W ← O
1	0	7,6	15,2	-500,6	34,8	-32,9	38,2	-29,8
2	0	15,2	17,2	-95,4	3,0	-2,0	4,9	-0,7
3	0	11,1	19,1	0,0	0,1	0,1	0,8	0,8

[1] + = West → Ost
- = West ← Ost

[2] Schub 870 N
negative Werte = Selbstlüftung ausreichend

Riederwald, Südröhre

Nr	Portaldruck Ost Δp_{met} [Pa]	Frischluftbedarf [m³/s] CO	Sicht	Selbstlüftung[1] [m³/s]	Anzahl Strahlventilatoren[2] Frischluft W → O	W ← O	u_{Wahl} = 1,0 m/s W → O	W ← O
1	0	8,2	16,1	+503,5	-34,5	36,6	-31,3	40,1
2	0	16,3	18,7	+96,5	-2,1	3,2	-0,8	5,2
3	0	11,8	20,3	0,0	0,1	0,1	0,8	0,8

[1] + = West → Ost
- = West ← Ost

[2] Schub 870 N
negative Werte = Selbstlüftung ausreichend

FLB_Auswertung_2017-11-20(FLB_2R)STH / 2017-08-22

Tabelle 4.4: Frischluftbedarf, Selbstlüftung und Anzahl Strahlventilatoren nach RABT-2006

4.5 Berechnungsergebnisse nach RABT-2016

Die Anlage B enthält die Datenblätter zu den Frischluftberechnungen nach RABT-2016 [2].

Der Frischluftbedarf zur Einhaltung der Bemessungswerte für die Schadstoffe CO und Sichttrübung, die Selbstlüftungsmenge aufgrund der Kolbenwirkung des Verkehrs und die Anzahl notwendiger Strahlventilatoren wird in Tabelle 4.5 angegeben. Die Ergebnisse unterscheiden sich gegenüber der Berechnung nach Abschnitt 4.4 des vorliegenden Berichtes nur geringfügig.

Dargestellt sind die Berechnungsergebnisse der Süd- und Nordröhre für den Normalbetrieb mit einem ausgeglichenen thermo-meteorologischen Verhältnis.

Neben der Bedingung, den notwendigen Frischluftbedarf einzuhalten, wird in der RABT-2016 eine Mindestluftgeschwindigkeit (u_{Wahl}) von 1,5 m/s statt 1,0 m/s unter Betrieb gefordert.

Im Fall 1 mit flüssigem Richtungsverkehr übertrifft die Selbstlüftungsmenge jeweils deutlich den notwendigen Frischluftbedarf. Auch im Fall 2 mit stockendem Verkehr wird die erforderliche Frischluftmenge durch die Selbstlüftungsmenge noch überschritten.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Im Verkehrsfall 3 Stau, ist theoretisch bei vollkommen ausgeglichenen Bedingungen eine künstliche Belüftung erforderlich. Jedoch erzeugen Störungen durch Wind oder Temperaturunterschiede Druckdifferenzen, die für eine ausreichende Lüftung sorgen.

Der Brandfall ist bestimmend für die notwendige Anzahl an Strahlventilatoren. Auch nach den Vorgaben der RABT-2016 [2] können mit den für den Brandfall vorgesehenen Strahlventilatoren die Normalbetriebszustände die Bemessungswerte deutlich unterschritten werden.

Riederwald, Nordröhre

Nr	Portaldruck Nord Δp_{met} [Pa]	Frischluftbedarf [m³/s] CO	Frischluftbedarf [m³/s] Sicht	Selbstlüftung[1] [m³/s]	Anzahl Strahlventilatoren[2] Frischluft W → O	Frischluft W ← O	u_{Wahl} = 1,5 m/s W → O	u_{Wahl} = 1,5 m/s W ← O
1	0	3,2	44,0	-500,6	36,7	-31,2	40,8	-27,8
2	0	3,9	19,9	-95,4	3,1	-1,9	6,6	0,0
3	0	2,6	0,9	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8

[1] + = West → Ost
- = West ← Ost

[2] Schub 870 N
negative Werte = Selbstlüftung ausreichend

Riederwald, Südröhre

Nr	Portaldruck Ost Δp_{met} [Pa]	Frischluftbedarf [m³/s] CO	Frischluftbedarf [m³/s] Sicht	Selbstlüftung[1] [m³/s]	Anzahl Strahlventilatoren[2] Frischluft W → O	Frischluft W ← O	u_{Wahl} = 1,5 m/s W → O	u_{Wahl} = 1,5 m/s W ← O
1	0	3,5	46,0	+503,7	-32,6	38,7	-29,1	42,8
2	0	4,2	21,4	+96,5	-2,0	3,3	0,0	7,1
3	0	2,8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9

[1] + = West → Ost
- = West ← Ost

[2] Schub 870 N
negative Werte = Selbstlüftung ausreichend

Tabelle 4.5: Frischluftbedarf, Selbstlüftung und Anzahl Strahlventilatoren nach RABT-2016

FLB_Auswertung_2017-11-20(FLB_2R)STH / 2017-08-22

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

5 Empfehlungen zur Steuerung der Tunnellüftung

Im folgenden Kapitel werden prinzipielle Vorgaben zur Steuerung der Lüftungsanlage für den Regelbetrieb des Richtungsverkehrs nach Fertigstellung vorgestellt.

Unterschieden werden dabei die Betriebsarten "Lüftung im Normalbetrieb" und "Lüftung im Brandfall". Die Steuerung der Tunnellüftung wird für die unterschiedlichen Anforderungen in der Selbstrettungs- und Fremdrettungsphase konzipiert.

5.1 Normalbetrieb

Im Normalbetrieb erfolgt die Steuerung der Lüftungsanlage je Tunnelröhre unabhängig voneinander. Die Regelgrößen für den Normalbetrieb sind die gemessenen Werte Sichttrübung, CO und Luftgeschwindigkeit. In Abhängigkeit der erfassten Messwerte und einer zu erreichenden minimalen Strömungsgeschwindigkeit wird eine Anzahl Strahlventilatoren in Betrieb genommen. Unter Berücksichtigung der erreichten geringeren Schadstoffkonzentration, Schalthäufigkeit und des Energieaufwandes ist die Lüftung wieder abzuschalten.

5.2 Brandfall

Im Brandfall wird zwischen der Selbstrettungs- und Fremdrettungsphase unterschieden. Bis zum Eintreffen der Brand- und Katastropheneinsatzkräfte werden die erforderlichen Brandlüftungsprogramme für die Selbstrettungsphase automatisch durch die Brandmeldeanlage im Tunnel aktiviert. Zudem wird die Verkehrssperrung an beiden Einfahrtsportalen automatisch aktiviert. Im Brandfall gibt die automatische Brandfallsteuerung für beide Tunnelröhren, Brandröhre und Nachbarröhre, aufeinander abgestimmte Lüftungsprogramme vor. Regelgrößen für den Brandfall sind der durch das Brandmeldekabel oder manuell vorgegebene Brandort, die gemessenen Werte der Luftgeschwindigkeit und die Verkehrswerte.

Insbesondere bei vor Brand flüssigem Richtungsverkehr sollte in der Gegenröhre mit einer verminderten Anzahl Ventilatoren in ausschließlich der gleichen Richtung wie in der Brandröhre gearbeitet werden. Werden hier Lüfter gegeneinander geschaltet, kann es zu unakzeptabel hohen Druckdifferenzen gegenüber der Brandröhre kommen.

Die Erzeugung eines gerichteten Überdruckes kann zu lokalen Druckdifferenzen zwischen den Röhren führen, die Türöffnungskräfte größer als 100 N erforderlich machen würden. Die Kompatibilität der Bausteine für die Lüftersteuerung zur Lüfteranordnung und –leistung muss hierzu noch überprüft werden.

5.2.1 Selbstrettungsphase – Automatikbetrieb

Die Brandprogramme für die Selbstrettungsphase sollten automatisch in Abhängigkeit der Verkehrssituation und des Brandortes ausgelöst werden. Die Strahlventilatoren müssen einzeln angesteuert werden können.

5.2.2 Fremdrettungsphase – Manueller Betrieb

Beim Eintreffen der Brand- und Katastropheneinsatzkräfte am Tunnel können diese vor Ort die Lüftersteuerung übernehmen. Zur Unterstützung der Brandbekämpfung (Löscharbeiten) kann der Rauch mit großer Geschwindigkeit einseitig abgetrieben werden. Der Zeitpunkt wird durch die Feuerwehr bestimmt. Die Richtung wird ebenfalls von der Feuerwehr nach den vorliegenden Verhältnissen bestimmt. Die Programme für die Fremdrettungsphase werden manuell geschaltet.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

6 Empfehlungen zur Branderkennung und Messeinrichtungen

Als Messeinrichtungen werden Sichttrübungsmessstellen im Notrufnischenabstand empfohlen. Die Kompensation der Sichttrübemessung hinsichtlich Nebel kann entweder durch ein zusätzliches Nebelmessgerät am Einfahrtsportal oder durch ein geeignetes Messgerät (Ansaugprinzip mit Heizung) erfolgen.

Die Erfassung der CO-Konzentration kann auf eine CO-Messstelle je Röhre reduziert werden. Die CO-Messstelle soll im letzten Drittel jeder Röhre in Fahrtrichtung angeordnet werden.

Für die Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel sind je Röhre drei Strömungsmessstellen vorzusehen.

Zur Erkennung der Verkehrssituation wird die Installation einer geeigneten Verkehrsdatenerfassung mit Staudetektion nach Tunnelende empfohlen. Bei Bedarf soll über eine ständig besetzte Stelle eingegriffen werden können. Die automatische Aktivierung der Brandfalllüftung für den Verkehrsfall Stau erfordert eine automatische Erfassung der Verkehrssituation.

Die Brandmeldung über die automatische Brandmeldeanlage (Linienmelder) erlaubt eine genaue Zuordnung des Brandortes und der betroffenen Röhre.

Im Falle eines Brandes mit großer Rauchentwicklung zeigt die Sichttrübe einen ausgeprägten Anstieg unmittelbar nach Beginn des Brandes. Dieser Anstieg unterscheidet sich hinsichtlich Gradient und Höhe des erreichten Wertes signifikant von den üblicherweise im Normalbetrieb auftretenden Verläufen. Mit dieser Erfassung können auch Brände mit niedrigen Temperaturen, aber großer Rauchentwicklung erfasst werden.

Die Brandmeldung über das Brandmeldekabel und über einen außergewöhnlichen Anstieg der Sichttrübe muss unmittelbar und automatisch die Tunnelsperrung an beiden Einfahrtsportalen auslösen, den automatischen Normalbetrieb ausschalten und die Lüftungsprogramme für die Selbstrettungsphase aktivieren.

Bei Eingang weiterer Meldungen, wie zum Beispiel das Drücken eines Handfeuermelders und ein Telefonanruf (Handy), soll die Möglichkeit bestehen, nach Überprüfung, manuell die Brandprogramme durch Angabe des Brandabschnittes auszulösen.

Die Erkennung von Rauch oder Flammen mittels Videobildauswertung ist in der Entwicklung. Dieses System bietet sich aufgrund des vermehrten Einsatzes von Videokameras bei der Tunnelausstattung als relativ kostengünstige zusätzliche Alternative an. Sie ist zudem in einzelnen Tunnel bereits im Einsatz. Die Reaktion auf kleine Brände mit einer hohen Rauchentwicklung (z. Bsp. Schmorbrand) kann schneller erfolgen als bei einer konventionellen Brandmeldeanlage. Bei Überwachung des Tunnels durch eine Leitzentrale, kann eine Branderkennung mittels Videoüberwachung in Betracht gezogen werden.

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

7 Quellenverzeichnis

[1] Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, RABT-2006, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2006

[2] Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, RABT-2016, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Finalfassung 30.03.2016

[3] PTV Group; Neubau der Bundesautobahn A66 Frankfurt am Main - Hanau; Teilabschnitt Tunnel Riederwald einschließlich des Autobahndreiecks (AD) Frankfurt-Erlenbruch (BAB 66 / BAB 661) und der Anschlussstelle (AS) Frankfurt-Borsigallee (BAB 66 / K 870), 2017

[4] Bundesamt für Strassen; Lüftung der Strassentunnel; Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung; Schweizerische Richtlinie, Ausgabe 2008, V2.0

[5] K. Opstad, P. Aune, J. E. Henning: Fire Emergency Ventilation Capacity for Road Tunnels with Considerable Slope, 9th International Conference Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Aosta, Oktober 1997

[6] Memorial Tunnel, Fire Ventilation Test Program, Massachusetts Highway Department, November 1995

[7] Lahmeyer International GmbH, O. Heil: Bauvorhaben A66 – Tunnel Riederwald, Untersuchung zur lufthygienischen Auswirkung der Planänderung inklusive der aktualisierten Verkehrsmengenwerte 2017, Bad Vilbel, Oktober 2017

[8] Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen, RVS 09.02.31 Tunnelausrüstung-Belüftung-Grundlagen, Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr Österreich, 01.06.14

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Anhang A: Berechnungsergebnisse Frischluftbedarf RABT-2006

```
                                FLB Version NT2.0  21.10.2008

                          CH:RL2008, D:RABT-06, A:RVS-2004, F:PIARC91, I:Italia99
Projekt: RIEDERWALD, NORDRÖHRE
------------------------------
File: o:\flb\data\FALL1.OUT
                                                                          16/11/2017
Land: D     Bezugsjahr Emissionen:  2020

Tunneldaten                                                          Luftdaten
Gesamtlänge       Ltot  =   1025 [m]   Höhe           H      =     90 [müM]  Temperatur T   =    288 [K]
Hydr. Durchmesser Dh    =   7.22 [m]   Querschnitt    FT     =   65.0 [m2]   Druck       P   = 100233 [Pa]
Wandrauhigkeit    Ks    =   3.00 [mm]  Reibungskoeff. Lambda = 0.0160 [-]    Dichte      ro  =  1.214 [kg/m3]
Einströmverluste  zetaA =    0.6 [-]                 zetaB  =    0.6 [-]    Zähigkeit   nue =  .1474 [cm2/s]
Portaldrücke      PA    =    0.0 [Pa]                PB     =    0.0 [Pa]

Abschnitt  Länge L [m]    Steigung i [%]   V_Lw_limA [km/h] V_Lw_limB [km/h]
    1            83           -0.60              86              -80
    2           453           -0.50              86              -81
    3           481            0.55              81              -85
    4             8            2.30              69              -85

Fahrzeugdaten
Pw-Gewicht =  1.2 [t]       cW*FF_Pw =  0.9 [m2]        Herkunft ausländ. Fahrzeuge: D
LW-Gewicht = 30.0 [t]       cW*FF_LW =  5.2 [m2]        Anteil ausländ. Pw an ges. Pw-Zahl:   0.0 [%]
Anteil Pw mit Diesel-Motoren:          20.0 [%]         Anteil ausländ. LW an ges. LW-Zahl:   0.0 [%]

Strahlventilator-Typ
D [cm] 80, Typ R          Qs-netto =  19.1 [m3/s]
k-Wand =  1.4             Vs-netto =  38.0 [m/s]

Verkehrsfall  Nr.            1       2       3
Spur  1  nPw  [Pw/h]      1574     905     149
         nLw  [LW/h]        83      48       8
    Art, Vf   [km/h]    F  -80  B  -10  B    0
Spur  2  nPw  [Pw/h]      1574     905     149
         nLw  [LW/h]        83      48       8
    Art, Vf   [km/h]    F  -80  B  -10  B    0
Spur  3  nPw  [Pw/h]      1574     905     149
         nLw  [LW/h]        83      48       8
    Art, Vf   [km/h]    F  -80  B  -10  B    0
Für Vf = 0 [km/h]  Anzahl in [Fz/km];   Vf = 1.0 * Vf_zul

Zulässige Konzentrationen
COmax          [ppm]      70.0   100.0   100.0
Kmax           [1/m]    0.0050  0.0070  0.0070
-------------------------------------------------------------------------------
Resultate
CO-Emission    [m3/h]     1.90    5.48    4.01
Trübe-Emission [m2/h]    273.8   433.9   480.9
Qsoll CO       [m3/s]      7.6    15.2    11.1
Qsoll Trübe    [m3/s]     15.2    17.2    19.1
u_soll          [m/s]      0.2     0.3     0.3

Selbstlüftung
Q_SL +:A-->B   [m3/s]   -500.6   -95.4    +0.0
u_SL +:A-->B    [m/s]     -7.7    -1.5    +0.0

Notwendiger Schub
Schub +:A-->B     [kN]  +21.75   +1.85   +0.04
Schub +:B-->A     [kN]  -20.83   -1.24   +0.04

Anzahl Strahlventilatoren
n_SV +:A-->B       [-]   +34.8    +3.0    +0.1
n_SV +:B-->A       [-]   -32.9    -2.0    +0.1
-------------------------------------------------------------------------------

Angaben für emissionsunabhängige, vorgegebene Strömung
uWahl          [m/s]     +1.0    +1.0    +1.0

Notwendiger Schub
Schub +:A-->B     [kN]  +23.41   +2.99   +0.49
Schub +:B-->A     [kN]  -19.26   -0.47   +0.49

Anzahl Strahlventilatoren
n_SV +:A-->B       [-]   +38.2    +4.9    +0.8
n_SV +:B-->A       [-]   -29.8    -0.7    +0.8
```

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

```
                                FLB Version NT2.0  21.10.2008
                        CH:RL2008, D:RABT-06, A:RVS-2004, F:PIARC91, I:Italia99
Projekt: RIEDERWALD, SÜDRÖHRE
-----------------------------
File: o:\flb\data\FALL2.OUT
                                                                                17/11/2017
Land: D     Bezugsjahr Emissionen:  2020

Tunneldaten                                                                     Luftdaten
Gesamtlänge       Ltot  =   1095 [m]   Höhe           H      =     90 [müM]   Temperatur T   =    288 [K]
Hydr. Durchmesser Dh    =   7.23 [m]   Querschnitt     FT     =   65.3 [m2]   Druck       P   = 100233 [Pa]
Wandrauhigkeit    Ks    =   3.00 [mm]  Reibungskoeff.  Lambda = 0.0160 [-]    Dichte      ro  =  1.214 [kg/m3]
Einströmverluste  zetaA =    0.6 [-]                  zetaB  =    0.6 [-]    Zähigkeit   nue =  .1474 [cm2/s]
Portaldrücke      PA    =    0.0 [Pa]                 PB     =    0.0 [Pa]

Abschnitt  Länge L [m]     Steigung i [%]    V_Lw_limA [km/h] V_Lw_limB [km/h]
    1           118            -0.60               86               -80
    2           430            -0.50               86               -81
    3           534             0.60               81               -85
    4            13             2.30               69               -85

Fahrzeugdaten
Pw-Gewicht =  1.2 [t]       cW*FF_Pw =  0.9 [m2]        Herkunft ausländ. Fahrzeuge: D
LW-Gewicht = 30.0 [t]       cW*FF_LW =  5.2 [m2]        Anteil ausländ. Pw an ges. Pw-Zahl:   0.0 [%]
Anteil Pw mit Diesel-Motoren:          20.0 [%]         Anteil ausländ. LW an ges. LW-Zahl:   0.0 [%]

Strahlventilator-Typ
D [cm] 80, Typ R          Qs-netto =  19.1 [m3/s]
k-Wand =  1.4             Vs-netto =  38.0 [m/s]

Verkehrsfall  Nr.             1       2       3
Spur  1  nPw  [Pw/h]       1525     900     148
         nLw  [LW/h]         85      50       8
    Art, Vf   [km/h]     F   80  B   10  B    0
Spur  2  nPw  [Pw/h]       1525     899     148
         nLw  [LW/h]         85      50       8
    Art, Vf   [km/h]     F   80  B   10  B    0
Spur  3  nPw  [Pw/h]       1525     899     148
         nLw  [LW/h]         85      50       8
    Art, Vf   [km/h]     F   80  B   10  B    0
Für Vf = 0 [km/h]  Anzahl in [Fz/km];   Vf = 1.0 * Vf_zul

Zulässige Konzentrationen
COmax          [ppm]       70.0   100.0   100.0
Kmax           [1/m]     0.0050  0.0070  0.0070
-------------------------------------------------------------------------------
|Resultate
|CO-Emission    [m3/h]     2.07    5.85    4.26
|Trübe-Emission [m2/h]    290.4   472.4   512.0
|Qsoll CO       [m3/s]      8.2    16.3    11.8
|Qsoll Trübe    [m3/s]     16.1    18.7    20.3
|u_soll          [m/s]      0.2     0.3     0.3
|
|Selbstlüftung
|Q_SL +:A-->B   [m3/s]   +503.5    +96.5    +0.0
|u_SL +:A-->B    [m/s]     +7.7     +1.5    +0.0
|
|Notwendiger Schub
|Schub +:A-->B     [kN]  -21.82    -1.31   +0.05
|Schub +:B-->A     [kN]  +22.83    +2.02   +0.05
|
|Anzahl Strahlventilatoren
|n_SV +:A-->B       [-]   -34.5     -2.1    +0.1
|n_SV +:B-->A       [-]   +36.6     +3.2    +0.1
-------------------------------------------------------------------------------

Angaben für emissionsunabhängige, vorgegebene Strömung
uWahl          [m/s]      +1.0    +1.0    +1.0

Notwendiger Schub
Schub +:A-->B     [kN]  -20.19    -0.51   +0.51
Schub +:B-->A     [kN]  +24.54    +3.21   +0.51

Anzahl Strahlventilatoren
n_SV +:A-->B       [-]   -31.3     -0.8    +0.8
n_SV +:B-->A       [-]   +40.1     +5.2    +0.8
```

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

Anhang B: Berechnungsergebnisse Frischluftbedarf RABT-2016

```
                                FLB Version NT2.0  21.10.2008

                          CH:RL2008, D:RABT-16, A:RVS-2004, F:PIARC91, I:Italia99
Projekt: RIEDERWALD, NORDRÖHRE
------------------------------
File: o:\flb\data\FALL1.OUT
                                                                          20/11/2017
Land: D     Bezugsjahr Emissionen:  2030

Tunneldaten                                                               Luftdaten
Gesamtlänge       Ltot  =   1025 [m]   Höhe           H      =     90 [müM]  Temperatur T   =    288 [K]
Hydr. Durchmesser Dh    =   7.22 [m]   Querschnitt    FT     =   65.0 [m2]   Druck       P   = 100233 [Pa]
Wandrauhigkeit    Ks    =   3.00 [mm]  Reibungskoeff. Lambda = 0.0160 [-]    Dichte      ro  =  1.214 [kg/m3]
Einströmverluste  zetaA =    0.6 [-]                  zetaB  =    0.6 [-]    Zähigkeit   nue =  .1474 [cm2/s]
Portaldrücke      PA    =    0.0 [Pa]                 PB     =    0.0 [Pa]

Abschnitt  Länge L [m]    Steigung i [%]   V_Lw_limA [km/h] V_Lw_limB [km/h]
    1            83           -0.60              86               -86
    2           453           -0.50              86               -86
    3           481            0.55              86               -86
    4             8            2.30              84               -86

Fahrzeugdaten
Pw-Gewicht =  1.2 [t]       cW*FF_Pw =  0.9 [m2]       Herkunft ausländ. Fahrzeuge: D
LW-Gewicht = 30.0 [t]       cW*FF_LW =  5.2 [m2]       Anteil ausländ. Pw an ges. Pw-Zahl:   0.0 [%]
Anteil Pw mit Diesel-Motoren:          55.0 [%]        Anteil ausländ. LW an ges. LW-Zahl:   0.0 [%]

Strahlventilator-Typ
D [cm] 80, Typ R          Qs-netto =  19.1 [m3/s]
k-Wand =  1.4             Vs-netto =  38.0 [m/s]

Verkehrsfall  Nr.            1       2       3
Spur  1  nPw  [Pw/h]      1574     905     149
         nLw  [LW/h]        83      48       8
    Art, Vf   [km/h]    F  -80  B  -10  B    0
Spur  2  nPw  [Pw/h]      1574     905     149
         nLw  [LW/h]        83      48       8
    Art, Vf   [km/h]    F  -80  B  -10  B    0
Spur  3  nPw  [Pw/h]      1574     905     149
         nLw  [LW/h]        83      48       8
    Art, Vf   [km/h]    F  -80  B  -10  B    0
Für Vf = 0 [km/h]  Anzahl in [Fz/km];   Vf = 1.0 * Vf_zul

Zulässige Konzentrationen
COmax          [ppm]      70.0   100.0   100.0
Kmax           [1/m]    0.0050  0.0070  0.0070
-------------------------------------------------------------------------------
|Resultate
|CO-Emission    [m3/h]    0.81    1.39    0.94
|Trübe-Emission [m2/h]   792.7   502.7    23.8
|Qsoll CO       [m3/s]     3.2     3.9     2.6
|Qsoll Trübe    [m3/s]    44.0    19.9     0.9
|u_soll          [m/s]     0.7     0.3     0.0
|
|Selbstlüftung
|Q_SL +:A-->B   [m3/s]  -500.6   -95.4    +0.0
|u_SL +:A-->B    [m/s]    -7.7    -1.5    +0.0
|
|Notwendiger Schub
|Schub +:A-->B    [kN]  +22.68   +1.91   +0.00
|Schub +:B-->A    [kN]  -19.94   -1.20   +0.00
|
|Anzahl Strahlventilatoren
|n_SV +:A-->B      [-]   +36.7    +3.1    +0.0
|n_SV +:B-->A      [-]   -31.2    -1.9    +0.0
-------------------------------------------------------------------------------

Angaben für emissionsunabhängige, vorgegebene Strömung
uWahl          [m/s]     +1.5    +1.5    +1.5

Notwendiger Schub
Schub +:A-->B    [kN]  +24.62   +3.99   +1.09
Schub +:B-->A    [kN]  -18.16   +0.03   +1.09

Anzahl Strahlventilatoren
n_SV +:A-->B      [-]   +40.8    +6.6    +1.8
n_SV +:B-->A      [-]   -27.8    +0.0    +1.8
```

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx

```
                                    FLB Version NT2.0  21.10.2008
                          CH:RL2008, D:RABT-16, A:RVS-2004, F:PIARC91, I:Italia99
Projekt: RIEDERWALD, SüDRöHRE
-----------------------------
File: o:\flb\data\FALL2.OUT
                                                                                  20/11/2017
Land: D     Bezugsjahr Emissionen:  2030

Tunneldaten                                                                  Luftdaten
Gesamtlänge        Ltot  =   1095 [m]   Höhe            H      =     90 [müM]  Temperatur T   =    288 [K]
Hydr. Durchmesser  Dh    =   7.23 [m]   Querschnitt     FT     =   65.3 [m2]   Druck       P   = 100233 [Pa]
Wandrauhigkeit     Ks    =   3.00 [mm]  Reibungskoeff.  Lambda = 0.0160 [-]    Dichte      ro  =  1.214 [kg/m3]
Einströmverluste   zetaA =    0.6 [-]                   zetaB  =    0.6 [-]    Zähigkeit   nue =  .1474 [cm2/s]
Portaldrücke       PA    =    0.0 [Pa]                  PB     =    0.0 [Pa]

Abschnitt  Länge L [m]    Steigung i [%]   V_Lw_limA [km/h] V_Lw_limB [km/h]
    1           118           -0.60               86              -86
    2           430           -0.50               86              -86
    3           534            0.60               86              -86
    4            13            2.30               84              -86

Fahrzeugdaten
Pw-Gewicht =  1.2 [t]       cW*FF_Pw =  0.9 [m2]       Herkunft ausländ. Fahrzeuge: D
LW-Gewicht = 30.0 [t]       cW*FF_LW =  5.2 [m2]       Anteil ausländ. Pw an ges. Pw-Zahl:   0.0 [%]
Anteil Pw mit Diesel-Motoren:          55.0 [%]        Anteil ausländ. LW an ges. LW-Zahl:   0.0 [%]

Strahlventilator-Typ
D [cm] 80, Typ R          Qs-netto =  19.1 [m3/s]
k-Wand =  1.4             Vs-netto =  38.0 [m/s]

Verkehrsfall  Nr.            1       2       3
Spur  1  nPw  [Pw/h]      1525     900     148
         nLw  [LW/h]        85      50       8
    Art, Vf   [km/h]    F   80  B   10  B    0
Spur  2  nPw  [Pw/h]      1525     899     148
         nLw  [LW/h]        85      50       8
    Art, Vf   [km/h]    F   80  B   10  B    0
Spur  3  nPw  [Pw/h]      1525     899     148
         nLw  [LW/h]        85      50       8
    Art, Vf   [km/h]    F   80  B   10  B    0
Für Vf = 0 [km/h]  Anzahl in [Fz/km];   Vf = 1.0 * Vf_zul

Zulässige Konzentrationen
COmax          [ppm]      70.0   100.0   100.0
Kmax           [1/m]    0.0050  0.0070  0.0070
```

Resultate				
CO-Emission	[m3/h]	0.87	1.52	1.00
Trübe-Emission	[m2/h]	828.7	538.6	25.4
Qsoll CO	[m3/s]	3.5	4.2	2.8
Qsoll Trübe	[m3/s]	46.0	21.4	1.0
u_soll	[m/s]	0.7	0.3	0.0
Selbstlüftung				
Q_SL +:A-->B	[m3/s]	+503.7	+96.5	+0.0
u_SL +:A-->B	[m/s]	+7.7	+1.5	+0.0
Notwendiger Schub				
Schub +:A-->B	[kN]	-20.85	-1.26	+0.00
Schub +:B-->A	[kN]	+23.85	+2.07	+0.00
Anzahl Strahlventilatoren				
n_SV +:A-->B	[-]	-32.6	-2.0	+0.0
n_SV +:B-->A	[-]	+38.7	+3.3	+0.0

```
Angaben für emissionsunabhängige, vorgegebene Strömung
uWahl          [m/s]    +1.5    +1.5    +1.5

Notwendiger Schub
Schub +:A-->B    [kN]  -19.05   +0.02   +1.15
Schub +:B-->A    [kN]  +25.82   +4.27   +1.15

Anzahl Strahlventilatoren
n_SV +:A-->B      [-]   -29.1    +0.0    +1.9
n_SV +:B-->A      [-]   +42.8    +7.1    +1.9
```

Copyright © bei Auftraggeber gemäß Urheberrecht / BER_09-207-01_GATL_Riederwald_V3.1_2017-12-10.docx