

TRAM Westtangente Projektteil UVR München

23. August 2022

Projekt-Nr. 2019009

Bericht-Nr. 2019009-SCBE-062

Auftrag der

SWM – Stadtwerke München GmbH

Emmy-Noether-Straße 2

80992 München

an die

STUVAtec

Studiengesellschaft für

Tunnel und Verkehrsanlagen mbH

Mathias-Brüggen-Straße 41

50827 Köln

Zusammenfassende Bewertung der Brandsimulations- ergebnisse

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	2
1.1	Abkürzungsverzeichnis.....	3
2	Vorbemerkung.....	3
3	Untersuchte Varianten.....	3
4	Schutzziele.....	4
5	Festlegungen für die Brandsimulationen.....	4
6	Simulationsergebnisse.....	6
6.1	Vergleich NRA und MRA ohne Rauchschrürze.....	6
6.2	Vergleich MRA ohne und mit fester Rauchschrürze.....	8
6.2.1	Busbrand.....	8
6.2.2	Trambrand.....	9
6.3	Zusammenfassende Ergebnisse.....	9
7	Spezieller Bemessungsbrand für die Tram.....	9
8	Überlegungen zum Nachweis der Fremdrettungsphase beim Busbrand.....	10
8.1	Allgemeines.....	10
8.2	Randbedingungen für die Bewertung der Fremdrettungsphase.....	11
8.3	Stellungnahme der Feuerwehr.....	12
8.4	Detaillierte Betrachtung der Fremdrettungsphase für den Busbrand.....	12
9	Zusammenfassung.....	13
10	Anhang 1: Brandsimulationsergebnisse.....	15
11	Verwendete Unterlagen.....	15
12	Bildanhang.....	16

1.1 Abkürzungsverzeichnis

MRA Maschinelle Rauchabzugsanlage

NRA Natürliche Rauchabzugsanlage

2 Vorbemerkung

Nachfolgend werden die bisher vorliegenden Brandsimulationsergebnisse [1] zusammenfassend dargestellt und bewertet. Mithilfe dieses Zwischenergebnisses soll in einem Gespräch mit der TAB die weitere Vorgehensweise abgestimmt werden.

3 Untersuchte Varianten

Die für die nachfolgende Bewertung herangezogenen Simulationsvarianten sind Tabelle 1 zu entnehmen ([1]: Folie 4).

Variante Nr.	Fahrzeugbrand	Rauchabzug
1	Bus	NRA, 2 Schächte und 1 Rauchabzugsöffnung
2	Tram	
3	Bus	MRA, 324.000 m ³ /h und 1 Rauchabzugsöffnung
4	Tram	
5	Bus	MRA, 324.000 m ³ /h und 1 Rauchabzugsöffnung plus Rauchschrürze

Tabelle 1: Zur Bewertung herangezogene Varianten der Brandsimulationen

Die Brandsimulationsvariante „MRA plus Rauchschrürze“ wurde bisher nur für den Busbrand durchgeführt (Tabelle 1: Variante Nr. 5), da für den derzeit gewählten Bemessungsbrand der Tram kein erfolgreicher Nachweis für die Fremdrettungsphase für diese Variante zu erwarten war. Dies zeigten eindeutig die bereits vorliegenden Simulationsergebnisse „MRA ohne Rauchschrürze“ (Tabelle 1: Variante Nr. 4). Die zurzeit noch fehlende Brandsimulation „MRA plus Rauchschrürze“ für den Trambrand wird erst durchgeführt, wenn ein spezieller Bemessungsbrand für die Tram vorliegt (Abschnitt 7).

4 Schutzziele

Bei der Bewertung der Brandsimulationsergebnisse wurde von folgenden Schutzzielen ausgegangen (Tabelle 2):

Parameter	Selbstrettungsphase	Fremdrettungsphase
Dauer	9 min ^{*)}	30 min
Mindestsichtweite in der raucharmen Schicht ^{**)}	10 m	10 m
Raucharme Schichtdicke	Im Mittel 2,5 m	mindestens: 1,5 m

^{*)} Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen nach Brandschutzkonzept [2]

^{**)} optischen Dichte: 0,13 m⁻¹

Tabelle 2: Gewählte Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] bzw. DIN 5647 [4]

Während der Selbstrettungsphase muss die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen mindestens 9 Minuten andauern [2]. In dieser Zeit muss eine raucharme Schichtdicke von i. M. 2,5 m eingehalten werden. In der Fremdrettungsphase muss nach TRStrab Brandschutz [3] eine raucharme Schichtdicke von mindestens 1,5 m bis zur 30. Minute nach Brandbeginn zur Verfügung stehen.

5 Festlegungen für die Brandsimulationen

(1) Brandort

Der Brandort wurde für alle hier betrachteten Varianten auf halber Tunnellänge der UVR, im niedrigeren Tunnelbereich bei etwa km 6+940 festgelegt (Abstand vom südlichen Tunnelportal ca. 100 m). Die Brandquelle (brennendes Fahrzeug) wurde ohne Fahrzeughülle im Simulationsprogramm abgebildet, um auch Brände außerhalb des Fahrzeugs zum Beispiel einen Motor- oder Reifenbrand zu berücksichtigen. Für Brände innerhalb des Fahrzeuges ist dieser Ansatz hinsichtlich der Verrauchung sehr ungünstig, da die Rauchgase sofort nach Brandbeginn in die UVR gelangen, ohne dass sie durch die Fahrzeughülle zunächst zurückgehalten werden und anschließend nur über die Türen und gegebenenfalls über geborstene Fenster ausströmen.

(2) Wärmefreisetzungsrate

Die im Simulationsprogramm gewählte Wärmefreisetzungsrate ist in Abhängigkeit von der Branddauer Tabelle 3 direkt zu entnehmen.

Branddauer	Wärmefreisetzungsrate	
	Bus	Tram
10 min	10 MW	5 MW
18 min	30 MW	20 MW
24 min	30 MW	67 MW
30 min	30 MW	67 MW

Tabelle 3: Wärmefreisetzungsraten: Bus- und Trambrand ([1]: Folie 11 und 13)

- (3) Natürlicher Rauchabzug (NRA) bei Varianten Nr. 1 und Nr. 2
- Der natürliche Rauchabzug erfolgt über zwei Schächte (Querschnitt je etwa 2,5 m²), die jeweils auf den Bahnsteigen der oPva Laim angeordnet sind. Die Schächte sind etwa 55 m (km 6+899) bzw. 75 m (km 6+918) vom Südportal (km 6+844) entfernt [2] ([1]: Folie 6).
 - Ferner befindet sich im Bereich des Höhenversatzes (km 6+930) in der Tunneldecke zwischen Gleisanlage „Laim hoch“ zu „Laim tief“ senkrecht zur Längsrichtung der UVR nahezu über die gesamte Tunnelbreite eine zusätzliche Rauchabzugsöffnung (Breite x Höhe ≈ 19,67 m x 0,60 m) [2] ([1]: Folie 6).
- (4) Maschineller Rauchabzug (MRA) bei Varianten Nr. 3 bis Nr. 5
- Die Ventilatoren der MRA besitzen eine Gesamtleistung von etwa 324.000 m³/h ([1]: Folie 4).
 - Der Lüfteranlauf auf die volle Drehzahl benötigt etwa 10 bis 20 Sekunden [5]. In den Brandsimulationen ist daher festgelegt worden, dass die Gesamtleistung ca. 60 Sekunden nach Brandbeginn für den Rauchabzug zur Verfügung steht.
 - Die Ventilatoren befinden sich im Deckenbereich der UVR neben dem Rauchabzugskanal über dem Radweg und in Längsrichtung zwischen den beiden Schächten, die auf den Bahnsteigen der oPva Laim angeordnet sind. Die Ventilatoren blasen die Rauchgase über diese zwei Schächte ins Freie ([1]: Folie 7).
 - Diese beiden Schächte sind jeweils an einen speziellen Rauchabzugskanal „Nord“ und „Süd“ angeschlossen. Diese Rauchabzugskanäle verlaufen nicht bis zum jeweiligen Tunnelportal. Hierdurch soll das unerwünschte Ansaugen von Frischluft vermieden werden. Aufgrund der im Süden stärker als im Norden ansteigenden Gradienten und entsprechender Strömungsverhältnisse kann der Rauchabzugskanal näher an das Südportal als an das Nordportal herangeführt werden. Der in Richtung Süden bzw. Norden verlaufende Kanal endet daher etwa 10 m vor dem Südportal bzw. 20 m vor dem Nordportal ([1]: Folie 9).
 - Der Entrauchungskanal ist im östlichen Deckenbereich der UVR angeordnet (Bild 1). Er besitzt eine freie Querschnittsfläche von ca. 1,2 m². Im Abstand von

ca. 10 m sind auf der westlichen Seite (Fahrbahnseite) des Rauchabzugskanals Öffnungen (je ca.1 m²) für den Rauchabzug angeordnet.

(5) Feste Rauchschrürze bei Variante Nr. 5

In der Simulation mit einem Busbrand (Tabelle 1: Variante Nr. 5) wird zusätzlich zur Verbesserung der Verrauchungssituation eine feste Rauchschrürze installiert ([1]: Folie 8). Die feste Rauchschrürze ist an der westlichen Seite (Fahrbahnseite) des Rauchabzugskanals angeordnet. Sie reicht von der Tunneldecke bis auf eine Höhe von ca. 2,5 m über Bodenoberkante (Bild 1) und verläuft lückenlos von Portal zu Portal (also über die Kanalenden hinaus) und ohne Unterbrechung in der Mitte der UVR.

(6) Luftströmung

Untersuchungen haben ergeben, dass Winde im Bereich der Portale der UVR in der Regel von West nach Ost strömen. Da die UVR aber von Süd nach Nord verläuft, kann davon ausgegangen werden, dass der Winddruck auf die beiden Portale vernachlässigbar ist und somit in den Bandsimulationen nicht berücksichtigt werden muss.

6 Simulationsergebnisse

6.1 Vergleich NRA und MRA ohne Rauchschrürze

In den Varianten Nr. 1 bis Nr. 4 (Tabelle 1) wurden die natürliche (NRA) und maschinelle (MRA) Rauchabsaugung miteinander verglichen (Tabelle 4).

Die Brandsimulationsergebnisse können wie folgt bewertet werden:

(1) Selbstrettungsphase

a) Busbrand

Die Kriterien für die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] können bei der natürlichen bzw. maschinellen Entrauchung bis 6,5 Minuten bzw. 8,0 Minuten nach Brandbeginn eingehalten werden. Die erforderlichen 9 Minuten werden durch beide Rauchschrürzevarianten nicht erreicht (Tabelle 4).

b) Trambrand

Die Verrauchungszeiten für den natürlichen und maschinellen Rauchabzug unterscheiden sich während der Selbstrettungsphase nur gering (9,5 min und 10 min). Die erforderlichen 9 Minuten werden mit beiden Rauchschrürzevarianten erreicht (Tabelle 4).

	Selbstrettung Ziel: 9 min				Fremdrettung Ziel: 30 min			
Variante	Nr.1		Nr.3		Nr. 2		Nr. 4	
Rauchabzug	NRA		MRA		NRA		MRA	
Schichtdicke	h = 2,5 m ^{*)} bzw. h = 2,0 m ^{*)}				h = 1,5 m ^{*)} bzw. h = 1,0 m ^{*)}			
Schutzziel eingehalten bis min	Bus 6,5	Tram 9,5	Bus 8,0	Tram 10	Bus 14	Tram 15	Bus 30	Tram 15

*) Höhe über der Bodenoberkante

**Tabelle 4: Vergleich der Simulationsergebnisse mit NRA und MRA [1]
(Varianten Nr. 1 bis Nr. 4) (ohne Rauchschrürze)**

(2) Fremdrettungsphase

a) Busbrand

Mit einer natürlichen Entrauchung können die Schutzziele der Fremdrettungsphase nur bis zur 14. Minute nach Brandbeginn eingehalten werden. Die erforderlichen 30 Minuten können nur mit einer maschinellen Entrauchungsanlage erreicht werden (Tabelle 4).

b) Trambrand

Die Verrauchungszeiten für den natürlichen und maschinellen Rauchabzug unterscheiden sich nicht (15 min und 15 min). Das Schutzziel (raucharme Schicht von mindestens 1,5 m bis zur 30. Minute nach Brandbeginn) kann bei einem Trambrand sowohl mit der natürlichen als auch mit der maschinellen Entrauchung nicht erreicht werden (Tabelle 4).

(3) Weitere Vorgehensweise

Die Brandsimulationsergebnisse zeigen, dass eine maschinellen Entrauchungsanlage gegenüber einer natürlichen Entrauchung in einigen Szenarien Vorteile besitzt (Tabelle 4). Deshalb wird eine maschinellen Entrauchungsanlage (wie beschrieben) für erforderlich gehalten. Da die Simulationsergebnisse auch mit einer maschinellen Entrauchungsanlage noch nicht als zufriedenstellend eingestuft werden können, wurde in einer weiteren Simulation zusätzlich zur maschinellen Entrauchung eine feste Rauchschrürze eingesetzt. Ziel war es hiermit zunächst die Verrauchungssituation für die Selbstrettungsphase bei dem aufgrund der hohen Wärmefreisetzungsrate als kritisch eingestuft Busbrand zu verbessern (Tabelle 3) (Abschnitt 6.2).

6.2 Vergleich MRA ohne und mit fester Rauchschürze

6.2.1 Busbrand

Nachfolgend werden die Simulationsergebnisse des Busbrandes mit maschineller Entrauchungsanlage ohne und mit fester Rauchschürze bewertet:

(1) Selbstrettungsphase

Beim Busbrand können die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] mit Rauchschürze (9-13 min) länger als ohne Schürze (8 min) eingehalten werden (Tabelle 5).

Das Schutzziel nach TRStrab Brandschutz [3] von mindestens 9 Minuten wird mit der geplanten maschinellen Entrauchungsanlage in Kombination mit fester Rauchschürze beim Busbrand erreicht.

MRA	Selbstrettung Ziel: 540s (9 min)		Fremdrettung Ziel: 1800s (30 min)	
Rauchabzug	MRA		MRA	
Variante	Nr. 3	Nr. 5	Nr. 3	Nr. 5
Rauchschürze	Nein	Ja	Nein	Ja
Schichtdicke	h = 2,5 m ^{*)}		h = 1,5 m ^{*)}	
Schutzziel eingehalten bis min	Bus 8	Bus 9-13	Bus 30	Bus 16
Schichtdicke	h = 2,0 m ^{*)}		h = 1,0 m ^{*)}	
Schutzziel eingehalten bis min	Bus 8,5	Bus 13	Bus 30	Bus 30 ^{**)}

^{*)} Höhe über der Bodenoberkante ^{**)} Nur unter Berücksichtigung von Abschnitt 8

Tabelle 5: Vergleich der Varianten mit und ohne Rauchschürze bei MRA [1]

(2) Fremdrettungsphase

Für die Fremdrettungsphase ist generell anzumerken, dass die feste Rauchschürze nur bis zu einer Höhe von 2,50 m über den Boden reicht. Da in der Fremdrettungsphase die Schichtdicke von 1,5 m betrachtet wird, kann durch die Rauchschürze in diesem Fall keine bessere Verrauchungssituation erwartet werden.

Bei einer Bewertung der raucharmen Schichtdicke von 1,5 m werden die Schutzziele für die Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz [3] bei einem maschinellen Rauchabzug ohne bzw. mit Rauchschürze bis zur 30. bzw. nur bis zur 16. Minute eingehalten (Tabelle 5). Mit einer festen Rauchschürze wird damit überraschenderweise das Schutzziel nach TRStrab Brandschutz [3] nicht erreicht. Allerdings verändert sich die Verrauchungssituation nach der 16. bis zur 30. Minute

nach Brandbeginn nur wenig. In dieser Zeitspanne kommt es nie zu einer vollständigen oder weitreichenden Verrauchung der UVR. Es gibt immer wieder Bereiche in denen die Forderung nach einer 1,5 m raucharme Schichtdicke erfüllt bzw. nicht erfüllt wird ([1]:Folie 60 bis 73).

Hinsichtlich des Nachweises für die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] für die Fremdrettungsphase waren daher aufgrund der vorliegenden Simulationsergebnisse für den Busbrand mit MRA und Rauchschrürze ergänzende detaillierte Betrachtungen erforderlich (Abschnitt 8.3).

6.2.2 Trambrand

Die Brandsimulationen bei einem Trambrand mit maschineller Entrauchung und fester Rauchschrürze werden erst durchgeführt, wenn der vom TÜV Süd erarbeitete spezielle Bemessungsbrand für das maßgebende Straßenbahnfahrzeug vorliegt (Abschnitt 7).

Brandereignis	Selbstrettungsphase Nachweis erfolgreich	Fremdrettungsphase Nachweis erfolgreich
Busbrand	Ja ¹⁾	Nein ¹⁾ bzw. Ja ²⁾
Trambrand	Ja ^{2) 3)}	Nein ^{2) 3)}

¹⁾ MRA mit Rauchschrürze ²⁾ MRA ohne Rauchschrürze ³⁾ NRA

Tabelle 6: Übersicht der durchgeführten Verrauchungsnachweise

6.3 Zusammenfassende Ergebnisse

Die Ergebnisse der mithilfe der Brandsimulationen durchgeführten Verrauchungsnachweise sind in Tabelle 6 angegeben. Danach konnten bisher nur die Nachweise für die Selbstrettungsphase für den Bus- und Trambrand erfolgreich geführt werden. Hinsichtlich der Fremdrettungsphase ist ein ausreichender Verrauchungsnachweis für den Busbrand nur durch eine detaillierte Betrachtung der Simulationsergebnisse unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen möglich (Abschnitt 8.4).

Für den Trambrand konnte der Verrauchungsnachweise mit dem bisher verwendeten Bemessungsbrand auf der Grundlage der TRStrab Brandschutz [3] für die Fremdrettungsphase nicht geführt werden. Es ist vorgesehen diesen Nachweis mithilfe eines speziellen Bemessungsbrandes vorzulegen (Abschnitt 7).

7 Spezieller Bemessungsbrand für die Tram

Für den Trambrand konnte bisher für die Fremdrettungsphase kein erfolgreicher Nachweis geführt werden (Tabelle 6). Die bisherigen Brandsimulationen für den Trambrand wurden auf der Grundlage des Bemessungsbrandes nach TRStrab Brandschutz durchgeführt ([1]:Folie 13). Die in der TRStrab Brandschutz [3] angegebenen Brandverlaufskurven liegen auf der sicheren Seite, da es sich um einhüllende Kurven handelt, die hinsichtlich des Brandverhaltens ein größeres Spektrum von verschiedenen Fahrzeugen

abdecken. Wenn für das maßgebende Fahrzeug ein spezieller Bemessungsbrand vorliegt, dann kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass diese spezielle Brandverlaufskurve ein deutlich kleineres Maximum der Wärmefreisetzungsrate aufweist und damit auch bei einem solchen Fahrzeugbrand geringere Rauchgasmengen freisetzt werden.

Deshalb wurde der TÜV Süd beauftragt einen speziellen Bemessungsbrand für die Tram zu erarbeiten. Mit diesem speziellen Bemessungsbrand für die Tram werden dann Brandsimulationen mit maschineller Entrauchung und fester Rauchschrürze analog zu den Szenarien mit dem Busbrand durchgeführt. Ziel ist es dabei für den Trambrand in der Fremdrettungsphase die Einhaltung der vorgegebenen Schutzziele nachweisen zu können.

8 Überlegungen zum Nachweis der Fremdrettungsphase beim Busbrand

8.1 Allgemeines

Bei den durchgeführten Brandsimulationen zeigte sich insbesondere der Busbrand in der Selbstrettungsphase als äußerst kritisch, da hier bereits 10 Minuten nach Brandbeginn die Wärmefreisetzungsrate mit 10 MW doppelt so groß wie beim Trambrand ist (Tabelle 3). Da für den Busbrand die Schutzziele für die Selbstrettungsphase nur mit einer maschinellen Entrauchung und einer festen Rauchschrürze erreicht werden konnten, wird diese Entrauchungsvariante für die Ausführung vorgeschlagen. Eine weitere Erhöhung der maschinellen Absaugleistung ist im vorliegenden Anwendungsfall nach Angabe der Planer technisch nicht möglich.

Dies bedeutet, dass mit dieser Entrauchungsvariante (maschinelle Entrauchung und feste Rauchschrürze) die Einhaltung der Schutzziele in der Fremdrettungsphase für den Busbrand und zusätzlich auch für den Trambrand in der Selbst- und Fremdrettungsphase nachgewiesen werden muss.

Es wird nachfolgend davon ausgegangen, dass für die vorgeschlagene Entrauchungsvariante die Nachweise für die Selbst- und Fremdrettungsphase beim Trambrand mithilfe des bereits beim TÜV Süd in Auftrag gegebenen speziellen Bemessungsbrand erfolgreich geführt werden können (Abschnitt 7).

Der Nachweis für einen Busbrand konnte mit einer maschinellen Entrauchung und einer Rauchschrürze bisher nur für die Selbstrettungsphase, nicht aber für die Fremdrettungsphase erfolgreich geführt werden. Zuletzt geführte Abstimmungen zwischen den Gutachtern TÜV Süd und Kersken+Kirchner haben zu dem von der Branddirektion bestätigten Ergebnis geführt, dass für die UVR der bisher zugrunde gelegte Bemessungsbrand Bus weiterhin eine geeignete Beurteilungsgrundlage bildet. Ein spezieller Bemessungsbrand für den Bus wie für die Tram würde keine signifikant anderen Beurteilungsgrundlagen ergeben [10]. Dies bedeutet, dass mit dem derzeit vorliegenden bereits mit der Branddirektion München abgestimmten Bemessungsbrand für den Bus der Verrauchungsnachweis geführt werden muss. Es ist daher für die Fremdrettungsphase beim Busbrand eine detailliertere Betrachtung der Brandsimulationsergebnisse unter Berücksichtigung der bestehenden Randbedingungen erforderlich.

8.2 Randbedingungen für die Bewertung der Fremdrettungsphase

Folgende maßgebende Randbedingungen sind für die Bewertung der Fremdrettungsphase in der UVR zu berücksichtigen:

- (1) Die UVR ist eine ebenerdig ausgebildete Tunnelröhre. Sie besitzt im Gegensatz zu vielen U-Bahnhöfen nur eine Ebene auf Geländeneiveau. Durch diese sehr einfache und übersichtliche Geometrie können die Einsatzkräfte Personen schneller auffinden und retten als bei einer mehrgeschossigen Anlage. Die Bedingungen für die Fremdrettungsphase sind daher bei der UVR wesentlich günstiger als bei einer U-Bahn-Haltestelle.
- (2) Die UVR ist nahezu eben und vergleichsweise kurz. Sie besitzt eine Länge von etwa 198 m. Auf dem Weg ins Freie müssen die Einsatzkräfte keine Treppenanlagen überwinden, wie dies beispielsweise bei U-Bahnhöfen der Fall ist.
- (3) Bei einem Halt des Fahrzeuges in der UVR außerhalb der Haltestellen müssen Fahrgäste bzw. Einsatzkräfte stets über Streckentunnelabschnitte der UVR zu den Portalen (sicherer Bereich) flüchten bzw. zum Ereignisort vorrücken. Die Fahrgäste bzw. die Einsatzkräfte finden in der UVR neben dem Fahrzeug wesentlich bessere Platzverhältnisse, um z. B. Hilfe leisten zu können als in einem U-Bahn- / Stadtbahntunnel mit einem Sicherheitsraum von nur 70 cm Breite. In Fahrtrichtung Nord steht die Breite des Rad- und Gehweges von insgesamt ca. 6 m für die Flucht bzw. Rettung/Löschung zur Verfügung. Auch in Fahrtrichtung Süden befindet sich abschnittsweise ein Notgehweg von 1,0 m bzw. 1,2 m Breite. Diese beiden Notgehege bieten auch den Fahrgästen und Einsatzkräften bessere Bedingungen.

Ferner können die fliehenden Fahrgäste bzw. die Einsatzkräfte nach dem Passieren des Fahrzeuges die vorhandene breite Fahrbahn (Breite mindestens 6,35 m) nutzen. In diesem Streckenabschnitt „Fahrbahn“ liegen wesentlich günstigere Flucht- und Rettungsbedingungen (breiter Fluchtweg, keine Absturzgefahr ins Gleisbett) vor als in einem U-Bahn- / Stadtbahntunnel.

- (4) Die Rettungsweglänge in der UVR ist deutlich kürzer als nach BOStrab [6] maximal zulässig. Nach BOStrab [6], § 30 müssen nämlich in einem Tunnel ins Freie führende Notausgänge vorhanden und so angelegt sein, dass der Rettungsweg bis zum nächsten Bahnsteig, Notausgang oder bis zur Tunnelmündung jeweils nicht mehr als 300 m lang ist. Die UVR ist insgesamt nur ca. 198 m lang. Die mittlere Rettungsweglänge ist im Vergleich zur Forderung nach BOStrab [6], § 30 vergleichsweise kurz, da sie nicht 300 m, sondern nur ca. 100 m beträgt. Nach BOStrab [6] sind daher zusätzliche Notausgänge nicht erforderlich. Die vergleichsweise kurze Rettungsweglänge von ca. 100 m in beide Richtungen der UVR erleichtert die Rettung in der Fremdrettungsphase durch die Einsatzkräfte.
- (5) Die Gehzeit für den 100 m langen Fluchtweg bis ins Freie beträgt maximal etwa 2 Minuten. Die kurze Gehzeit in der UVR erlaubt es den Einsatzkräften hilfebedürftige Personen schnell aufzufinden und rechtzeitig ins Freie zu bringen.
- (6) Das Fahrpersonal wird speziell in die Rettung von mobilitätseingeschränkten Personen unterwiesen.

- (7) Die Feuerwehr kann von beiden Portalen komfortabel über die Fahrbahnen in der UVR mit ihren Straßenfahrzeugen (z.B. Löschfahrzeug, Rettungswagen) direkt bis in die Nähe des Brandortes vorrücken. Sie muss auf ihrem Angriffsweg keine Treppenanlagen überwinden. Hierdurch können insbesondere Verletzte und mobilitätseingeschränkte Personen schnell gerettet werden.
- (7) Die Einsatzkräfte können über den Straßentunnel Wotanstraße und über das Verbindungsbauwerk (Tunnel Wotanstraße-UVR) zum Ereignisort vorrücken. Vorteilhaft ist hierbei, dass sie bei Brandorten im mittleren Bereich der UVR länger über den sicheren Bereich (unverrauchter Tunnel Wotanstraße) anrücken können.
- (8) Über den parallel zur UVR verlaufenden Straßentunnel Wotanstraße können die Einsatzkräfte ohne größere Umwege zwischen beiden Portalen der UVR wechseln.

8.3 Stellungnahme der Feuerwehr

Aufgrund der vorliegenden Randbedingungen der UVR (Abschnitt 8.2) hat die Branddirektion München in einer Vorab-Stellungnahme [8] unter bestimmten Voraussetzungen, z. B. der Nachweis für die Selbstrettungsphase kann erfolgreich geführt werden, sogar einem Verzicht des Verrauchungsnachweises für die Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz [3] zugestimmt. Die von der Branddirektion geforderten Voraussetzungen [8] werden durch die ergriffenen Brandschutzmaßnahmen erfüllt. Dennoch wird nicht auf einen Verrauchungsnachweis in der Fremdrettungsphase verzichtet. Sondern, es wird nachfolgend in Abschnitt 8.4 durch eine detaillierte Betrachtung der Simulationsergebnisse der Nachweis erbracht, dass die Verrauchungssituation in der Fremdrettungsphase bei einem Busbrand in der UVR bis zur 30. Minute nach Brandbeginn als akzeptabel eingestuft werden kann.

Nach DIN 5647 [4] muss unter bestimmten Bedingungen der Verrauchungsnachweis für die Fremdrettungsphase nicht bis zur 30. Minute, sondern nur bis zur 25. Minute nach Brandbeginn geführt werden. Diese verkürzte Fremdrettungsphase könnte eventuell von der TAB akzeptiert werden, da die UVR ebenerdig erreichbare offene Portale besitzt. Diese Portale können hinsichtlich des Verrauchungsschutzes mindestens gleichwertig wie feuerhemmende Treppeneinhausungen eingestuft werden [13].

Die Auswertung der Brandsimulationsergebnisse hat jedoch gezeigt, dass sich die Verrauchungssituationen etwa von der 20. bis zur 30. Minute nach Brandbeginn nur unwesentlich unterscheiden [1]. Daher wird der Auswertungszeitraum für die Verrauchung in der Fremdrettungsphase nicht auf 25 Minuten verkürzt, sondern der Verrauchungsnachweis gemäß TRStrab Brandschutz bis zur 30. Minute nach Brandbeginn geführt.

8.4 Detaillierte Betrachtung der Fremdrettungsphase für den Busbrand

Vor dem aufgezeigten Hintergrund (Abschnitt 8.2 und 8.3) erscheint es nicht verhältnismäßig, den Nachweis für die Fremdrettungsphase beim Busbrand ohne Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen durchzuführen.

Nachfolgend werden daher die Simulationsergebnisse für den Busbrand mit maschineller Entrauchung und feste Rauchschürze für die Verrauchungssituation in der Fremdrettungsphase anhand der Kriterien der TRStrab Brandschutz [3] (Tabelle 2) eingehender betrachtet:

- (1) Bis zur 16. Minute nach Brandbeginn werden die Kriterien für die Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz [3] eingehalten ([1]:Folie 59). Nur in der Nähe des Südportals sind kleinere Bereiche nahe der Tunnelwandung verraucht. Außerhalb des Brandortes liegt im restlichen Bereich der UVR keine unzulässige Verrauchung vor (Bild 2).
- (2) In der 30. Minute nach Brandbeginn (Ende der Fremdrettungsphase):
 - a) In der Nähe des Südportals treten Bereiche auf, in denen der zulässige Grenzwert überschritten wird (Bild 3).
 - b) Von diesen teils verrauchten Bereichen in der Nähe des Südportals schließen sich in Richtung Norden bis zum Quergang wieder Bereiche an, in denen die Kriterien für die Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz [3] eingehalten werden (Bild 3).
 - c) Nördlich des Brandortes können bis zum Nordportal die Kriterien für die Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz [3] ebenfalls wieder eingehalten werden. Nur in einem schmalen Teilbereich auf der Ostseite des Nordportal werden die Grenzwerte überschritten (Bild 3).

Die Verrauchungssituation bei einem Busbrand in der Fremdrettungsphase kann in 1,5 m über der Bodenoberkante aufgrund obiger Ausführungen als akzeptabel eingestuft werden. Dies wird auch durch die Analyse der Verrauchungssituation in einer Höhe von 1 m über der Bodenoberkante bestätigt. In dieser Höhe können nämlich die Verrauchungskriterien der Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz [3] bis zur 30. Minute nach Brandbeginn uneingeschränkt eingehalten werden (Bild 4).

9 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der durchgeführten Brandsimulationen [1] können wie folgt zusammengefasst werden:

- (1) Der Busbrand ist mit einer wesentlich größeren Wärmefreisetzungsrate in den ersten Minuten nach Brandbeginn kritischer einzustufen als der Trambrand (Tabelle 3) ([1]: Folie 11 und 13).
- (2) Die geplante maschinellen Rauchabzugsanlage kann die Brandgase bei einem Busbrand besser abführen als eine natürliche Rauchabzugsanlage, da sich etwa gleiche Verrauchungsverhältnisse bei einer natürlichen bzw. maschinellen Entrauchung nach ca. 14 Minuten (NRA) bzw. 30 Minuten (MRA) einstellen (Tabelle 4) ([1]: Folie 19).

Tram Westtangente Projektteil UVR

Zusammenfassende Bewertung der Brandsimulationsergebnisse

Seite 14 von 18

- (3) Die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] für die Selbstrettungsphase bei einem Busbrand konnten nur in den Brandsimulationen mit maschineller Entrauchung und fester Rauchschrürze eingehalten werden (Bild 5).
- (4) Die UVR soll daher eine maschinelle Entrauchung mit Rauchabzugskanälen in Verbindung mit einer festen Rauchschrürze erhalten (Bild 1). Die maximale Leistung soll ca. 324.000 m³/h betragen und muss etwa 60 Sekunden nach Aktivierung zur Verfügung stehen ([1]: Folie 4). Weitere Einzelheiten zur maschinellen Rauchabsaugung können [5] entnommen werden.
- (5) Einhaltung der Kriterien für die Verrauchung nach TRStrab Brandschutz [3]:
 - a) Für die Selbstrettungsphase konnte für den Bus- und Trambrand der Verrauchungsnachweis erfolgreich geführt werden (Bild 5 und Bild 6) (Tabelle 6).
 - b) Die Branddirektion München hat in einer Vorab-Stellungnahme [8] einem Verzicht für den Verrauchungsnachweise nach TRStrab Brandschutz [3] in der Fremdrettungsphase unter Berücksichtigung der in Abschnitt 8.2 genannten Randbedingungen und unter bestimmten Voraussetzungen [8] zugestimmt. Durch die ergriffenen Brandschutzmaßnahmen werden die geforderten Voraussetzungen erfüllt.
 - c) Für die Fremdrettungsphase bei einem Busbrand wurden dennoch detaillierte Betrachtungen der Verrauchungssituation durchgeführt werden (Abschnitt 8.4). Diese Betrachtungen zeigen unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse und der Verhältnismäßigkeit, dass die Verrauchungssituation auch beim Busbrand in der Fremdrettungsphase akzeptabel ist.
 - d) Die Verrauchungskriterien für die Fremdrettungsphase konnten bei einem Trambrand mit der hohen Wärmefreisetzungsrates nach TRStrab Brandschutz [3] und der damit verbundenen großen Rauchgasfreisetzung nur etwa bis zur 15. Minute eingehalten werden. Das Schutzziel bis zur 30. Minute nach Brandbeginn wurde nicht eingehalten ([1]: Folie 24) (Tabelle 6). Ein entsprechender Verrauchungsnachweis steht daher zurzeit noch aus (siehe (6)).
- (6) Die in der TRStrab Brandschutz [3] angegebenen Bandverlaufskurven liegen auf der sicheren Seite. Da der Verrauchungsnachweis für die Fremdrettungsphase für den Trambrand auf der Grundlage des Bemessungsbrandes nach TRStrab Brandschutz [3] nicht erfolgreich geführt werden konnte [1], wurde der TÜV Süd beauftragt eine spezielle Brandverlaufskurve für die Tram zu erarbeiten. Erste bereits vorliegende Erkenntnisse zeigen, dass diese spezielle Brandverlaufskurve ein deutlich kleineres Maximum der Wärmefreisetzungsrates und damit auch eine geringere Rauchgasmenge aufweist als der Busbrand. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Busbrand für die weiteren Betrachtungen maßgebend ist [10] [11] [12] und der noch für den Trambrand ausstehende Nachweis für die Fremdrettungsphase gelingt.

Die in der UVR geplanten Rauchschutzmaßnahmen können für einen Bus- und Trambrand für die Selbst- und Fremdrettungsphase als ausreichend bewertet werden, wenn

die Brandsimulationen mit dem neuen Bemessungsbrand für die Tram erfolgreich verlaufen.

10 Anhang 1: Brandsimulationsergebnisse

UVR CFD-Ergebnispräsentation von Kersken & Kirchner; Stand 01.02.2022: siehe Anlage 19. 7 zum Brandschutzkonzept, Stufe 2

11 Verwendete Unterlagen

- [1] UVR CFD-Ergebnispräsentation Stand_210831 von Kersken & Kirchner; Stand 31.08.2021
- [2] TRAM Westtangente, Projektteil UVR München: Brandschutzkonzept Stufe 1; STUVAtec Bericht Nr. 2019009-SCBE-o32 vom 09. März 2020
- [3] Technische Regeln für Straßenbahnen, Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) - Technische Regeln Brandschutz - (TRStrab Brandschutz), Ausgabe 24. Juni 2014
- [4] DIN 5647: Bahnanwendungen - Sicherheitsanforderungen an städtische Schienenbahnen – Bauwerke; Stand Oktober 2020
- [5] Hornung M., Brüniger & Co. Engineering GmbH: E-Mail vom 30.08.2021; Umweltverbundröhre - Auswertung der Simulationsergebnisse; Entwurf
- [6] Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab) vom 11. Dezember 1987, zuletzt geändert am 16. Dezember 2016; Herausgeber: Der Bundesminister für Verkehr
- [7] Tram Westtangente, Projektteil UVR München: Argumente für den Verzicht auf den Verrauchungsnachweis in der Fremdrettungsphase; STUVAtec 2019009-SCBE-035, 09.03.2020
- [8] Herr Rehm, Branddirektion München, Umweltverbundröhre: Vorab-Einschätzung zum Verzicht auf den Nachweis einer raucharmen Schicht für die Fremdrettungsphase nach TRStrab Brandschutz, 04.09.2019
- [9] Plan: 3_10_6_3_a_Querschnitte UVR_Index20210719_Rauchschürze
- [10] E-Mail von Herrn Pfützner, SWM an die STUVAtec zur Brandleistungskurve Bus als Bemessungsgrundlage vom 13.12.2021
- [11] E-Mail von Herrn Pfützner, swm vom 13.12.2021, 18:06 h über die Brandleistung des Busses als geeignete Bemessungsgrundlage
- [12] E-Mail von Herrn Pfützner, swm vom 13.12.2021, 20:47 h zur Einstufung des Busbrandes als maßgebenden Bemessungsbrand

[13] Nicht verbindliche Notizen von Herrn Rehm, Branddirektion zum Entwurf des BSK, Stufe 2 (Doku: 2019009-SCBE-039-BSK-Stufe 2), Stand 14. Januar 2022 mit Anhängen

12 Bildanhang

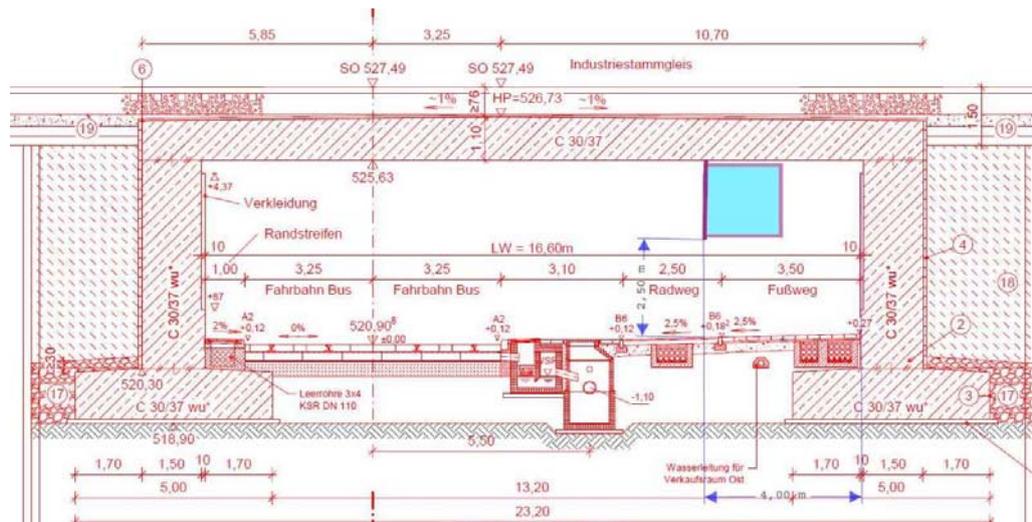
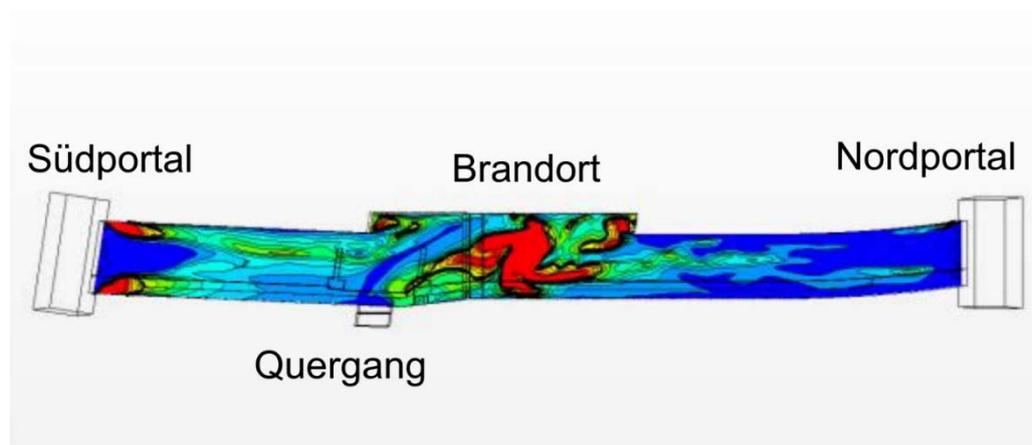


Bild 1: Rauchabzugskanal im östlichen Bereich der UVR [9]



**Bild 2: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
16. Minute nach Brandbeginn, h = 1,5 m ([1]: Folie 28)**

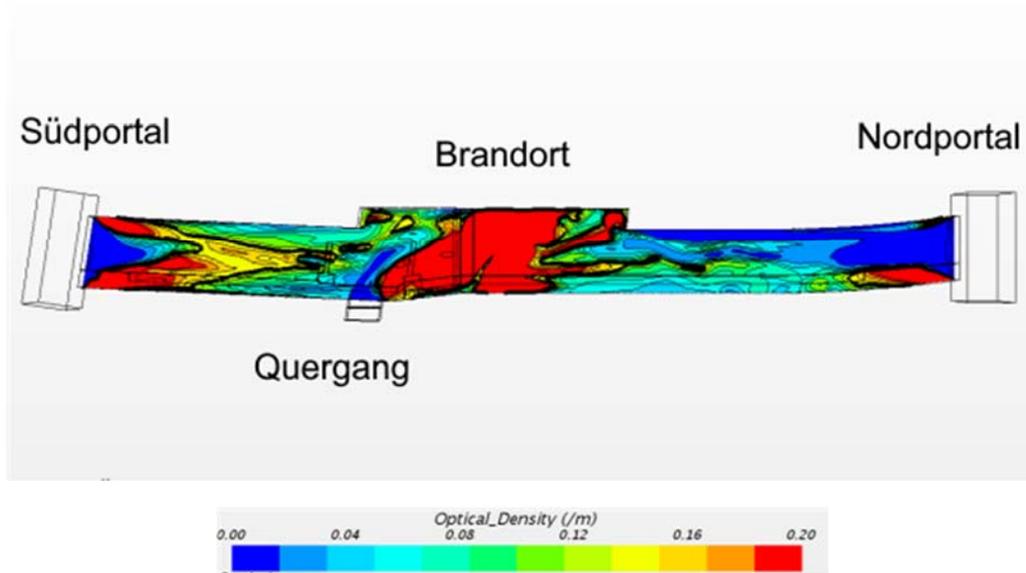


Bild 3: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
30. Minute nach Brandbeginn, $h = 1,5 \text{ m}$ ([1]: Folie 73)

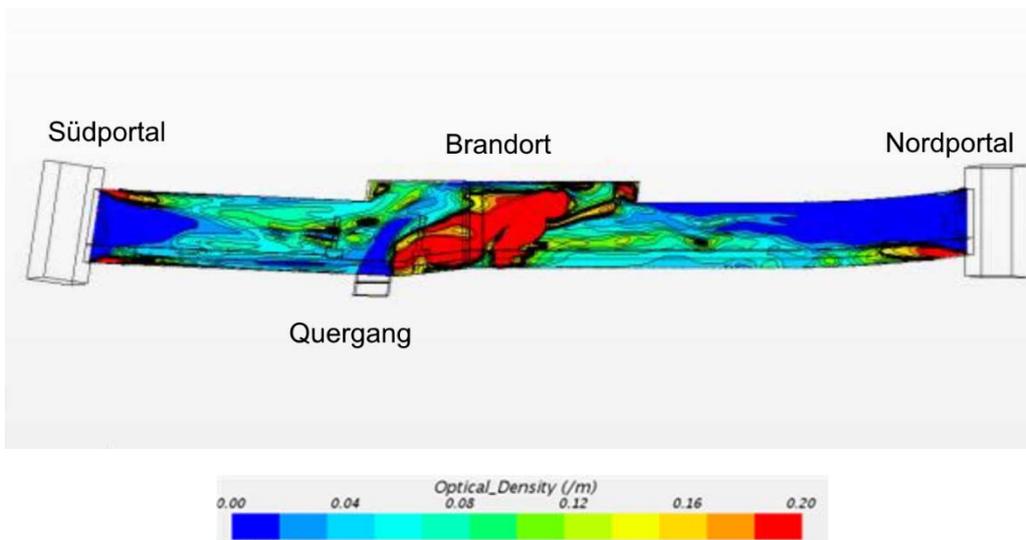


Bild 4: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
30. Minute nach Brandbeginn, $h = 1,0 \text{ m}$ ([1]: Folie 73)

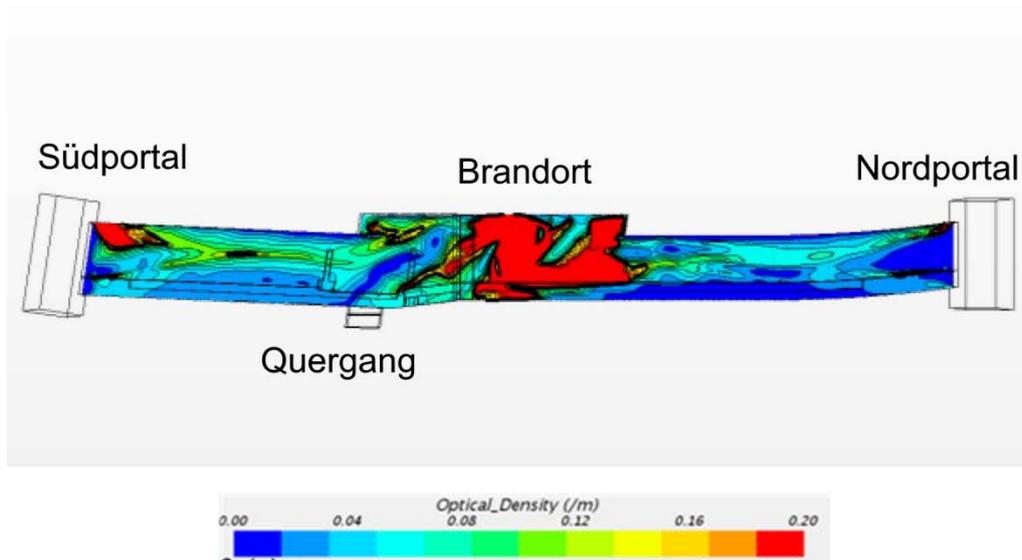


Bild 5: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
13. Minute nach Brandbeginn, h = 2,5 m ([1]: Folie 26)

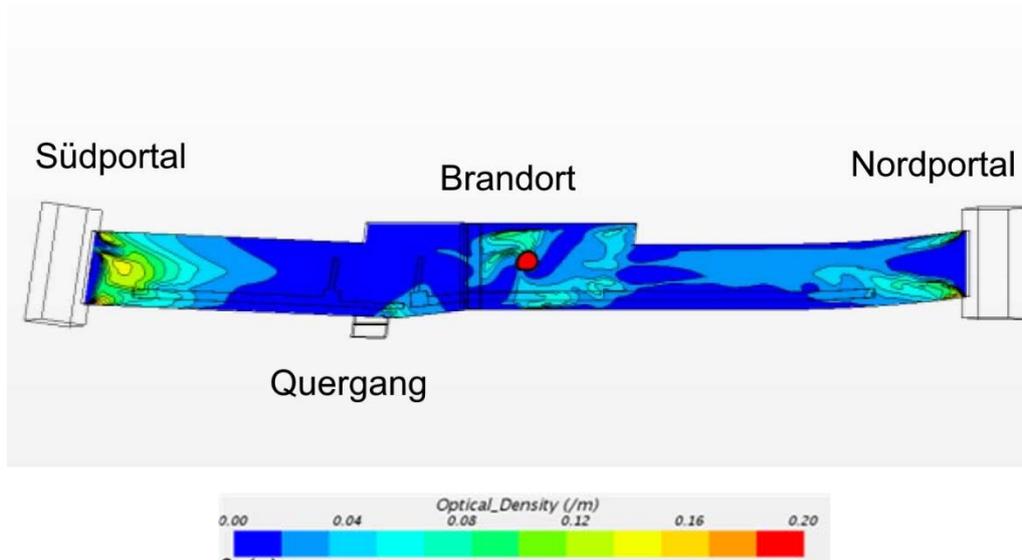


Bild 6: Trambrand MRA ohne Rauchschürze (Grundriss):
10. Minute nach Brandbeginn, h = 2,5 m ([1]: Folie 17)