

TRAM Westtangente Projektteil UVR München

4. Juli 2023

Projekt-Nr. 2019009

Bericht-Nr. 2019009-SCBE-074

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

Bewertung verschiedener
Bemessungsbrände
für den
Verrauchungsnachweis

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	2
1.1	Abkürzungsverzeichnis.....	3
2	Ausgangssituation und Ziel.....	3
3	Bemessungsbrände.....	4
3.1	Bemessungsbrand für den Dieselbus.....	4
3.2	Bemessungsbrände für die Tram.....	5
3.2.1	Bemessungsbrand nach Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz.....	5
3.2.2	Spezieller Bemessungsbrand für die Tram.....	6
3.3	Bemessungsbrand für den Elektrobus.....	7
3.4	Vergleich der Brandverlaufskurven.....	9
4	Ergebnisse der Brandsimulationen.....	10
4.1	Allgemeines.....	10
4.2	Simulationsergebnisse mit dem Busbrand.....	10
5	Überlegungen zum Nachweis der Fremdrettungsphase beim Busbrand.....	11
5.1	Allgemeines.....	11
5.2	Randbedingungen für die Bewertung der Fremdrettungsphase.....	11
5.3	Stellungnahme der Feuerwehr.....	13
5.4	Detaillierte Betrachtung der Fremdrettungsphase für den Busbrand.....	13
6	Zusammenfassung und Bewertung.....	14
7	Verwendete Unterlagen.....	16
8	Bildanhang.....	18

1.1 Abkürzungsverzeichnis

MRA Maschinelle Rauchabzugsanlage

NRA Natürliche Rauchabzugsanlage

SWM Stadtwerke München GmbH

UVR Umweltverbundröhre

2 Ausgangssituation und Ziel

Verschiedene Brandsimulationen sind bereits durchgeführt worden, um die Verrauchungssituation in der UVR bestimmen zu können [1]: Folie 4) (Tabelle 1). Eine zusammenfassende Beurteilung erfolgte in [7].

Variante Nr.	Fahrzeug-brand	Rauchabzug
1	Bus	NRA, 2 Schächte und 1 Rauchabzugsöffnung ¹⁾
2	Tram	
3	Bus	MRA, 324.000 m ³ /h und 1 Rauchabzugsöffnung ¹⁾
4	Tram	
5	Bus	MRA, 324.000 m ³ /h und 1 Rauchabzugsöffnung ¹⁾ plus feste Rauchschräge

¹⁾ Rauchabzugsöffnung quer zur Längsrichtungsrichtung der UVR im Bereich „Laim hoch“ / „Laim tief“

Tabelle 1: Varianten der Brandsimulationen [1]

In den Brandsimulationen (Tabelle 1) wurden folgende Bemessungsbrände berücksichtigt [1] [7]:

- (1) Bemessungsbrand für den Dieselbus [1] (Abschnitt 3.1)
- (2) Bemessungsbrand für die Tram [1] (Abschnitt 3.2.1)

Für das in der UVR eingesetzte Tramfahrzeug lagen keine, wie in TRStrab Brandschutz [3] gefordert, verwertbaren Angaben zur Bestimmung einer Brandverlaufskurve (z. B. Brandversuchsergebnisse, Daten aus Materialprüfungen) vor. Daher musste zunächst auf der Grundlage der in der Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz [3] angegebenen Brandverlaufskurven eine Brandverlaufskurve für das 48 m lange Münchner Tramfahrzeug durch Extrapolation festgelegt werden [1].

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 4 von 20

Die mit den beiden oben genannten Bemessungsbrandkurven (Dieselbus, Tram) durchgeführten Brandsimulationen (Tabelle 1) ergaben unter anderem Folgendes [1] [7]:

- (1) Eine natürliche Rauchabzugseinrichtung ist sowohl für den Dieselbus-Bemessungsbrand als auch für den oben genannten Tram-Bemessungsbrand nicht ausreichend, um die Einhaltung der Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] nachweisen zu können (Tabelle 4).
- (2) Ein erfolgreicher Nachweis, dass hinsichtlich der Verrauchung die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] (Tabelle 4) eingehalten werden, ist für den Dieselbusbrand in der Selbstrettungsphase nur mit einer maschinellen Rauchabzugsanlage in Verbindung mit einer festen Rauchschürze möglich. Ergänzend sind daher für die Nachweisführung in der Fremdrettungsphase zusätzliche detaillierte Betrachtungen erforderlich.
- (3) Eine Nachweisführung für die Fremdrettungsphase des oben genannten Trambrandes war auch bei Verwendung einer maschinellen Rauchabzugsanlage und einer festen Rauchschürze nicht möglich.

Da der Verrauchungsnachweis für die Fremdrettungsphase für den oben genannten Trambrand auf der Grundlage des Bemessungsbrandes nach Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz [3] nicht erfolgreich geführt werden konnte [1], wurde der TÜV Süd beauftragt einen speziellen Bemessungsbrand für die Tram der Baureihe TZ4 und vergleichbarere Fahrzeuge der SWM zu erarbeiten.

Es wurde erwartet, dass dieser vom TÜV Süd erarbeitete spezielle Trambemessungsbrand einen deutlich günstigeren Verlauf der Wärmefreisetzungsrate besitzt als der bisher in den Brandsimulationen verwendete [1]. Darüber hinaus konnte angenommen werden, dass dieser spezielle Tram-Bemessungsbrand auch eine niedrigere Wärme- und Rauchfreisetzungsrates besitzt als der Bemessungsbrand für den Dieselbus. In diesem Fall ist für den Verrauchungsnachweis in der UVR allein der Dieselbus-Bemessungsbrand maßgebend.

Ziel ist es nachzuweisen, dass der Dieselbus-Bemessungsbrand, mit dem die Brandsimulationen bereits durchgeführt wurden [1], hinsichtlich der in der UVR zu erwartenden Verrauchungssituation auch den Bemessungsbrand eines/einer im Fuhrpark der SWM verfügbaren Elektrobusses/Tram mit abdeckt [11] [12].

3 Bemessungsbrände

3.1 Bemessungsbrand für den Dieselbus

Die verwendete Brandverlaufskurve für den Dieselbus wurde aus verschiedenen Literaturquellen ermittelt [1]. Die maximale Wärmefreisetzungsrate beträgt danach 30 MW. Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrate über die Branddauer bis maximal zur 30. Minute nach Brandbeginn ist aus (Bild 1) ersichtlich.

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 5 von 20

Die Branddirektion München hat bestätigt, dass dieser Bemessungsbrand geeignet ist, um die Verrauchung in der UVR bei einem Dieselbusbrand mithilfe von Brandsimulationen bestimmen zu können. Ein spezieller Bemessungsbrand für den Bus würde keine signifikant anderen Beurteilungsgrundlagen ergeben [10].

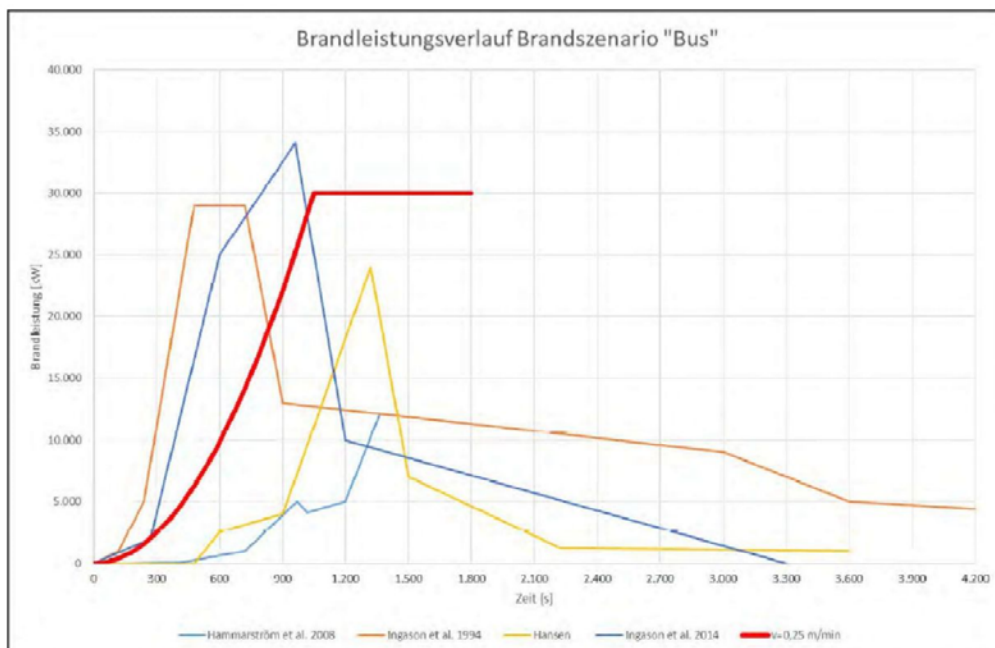


Bild 1: Verlauf der Wärmefreisetzungsrate des Dieselbusbrandes nach [1]

3.2 Bemessungsbrände für die Tram

3.2.1 Bemessungsbrand nach Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz

Die genannten Brandsimulationen für den Trambrand [1] wurden auf der Grundlage des Bemessungsbrandes nach Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz [3] durchgeführt ([1]:Folie 12), um die Verrauchungssituation in der UVR zu bestimmen. Da die Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz [3] nur Angaben für Fahrzeuglängen bis zu 40 m enthält, wurden für ein in der UVR zu berücksichtigendes 48 m langes Münchner Tramfahrzeug die Werte der Abbildung 2 extrapoliert. Die maximale Wärmefreisetzungsrate konnte damit zu 67 MW bestimmt werden [1]. Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrate über die Branddauer bis maximal zur 30. Minute nach Brandbeginn ist aus Bild 2 ersichtlich. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass in den Brandsimulationen mit der Tram auf der sicheren Seite liegend die Brandverlaufskurve nicht wie in Bild 2 dargestellt nach 1720 s abfällt, sondern konstant mit 67 MW bis zum Simulationsende von 1.800 s (30 Minuten) verläuft [1].

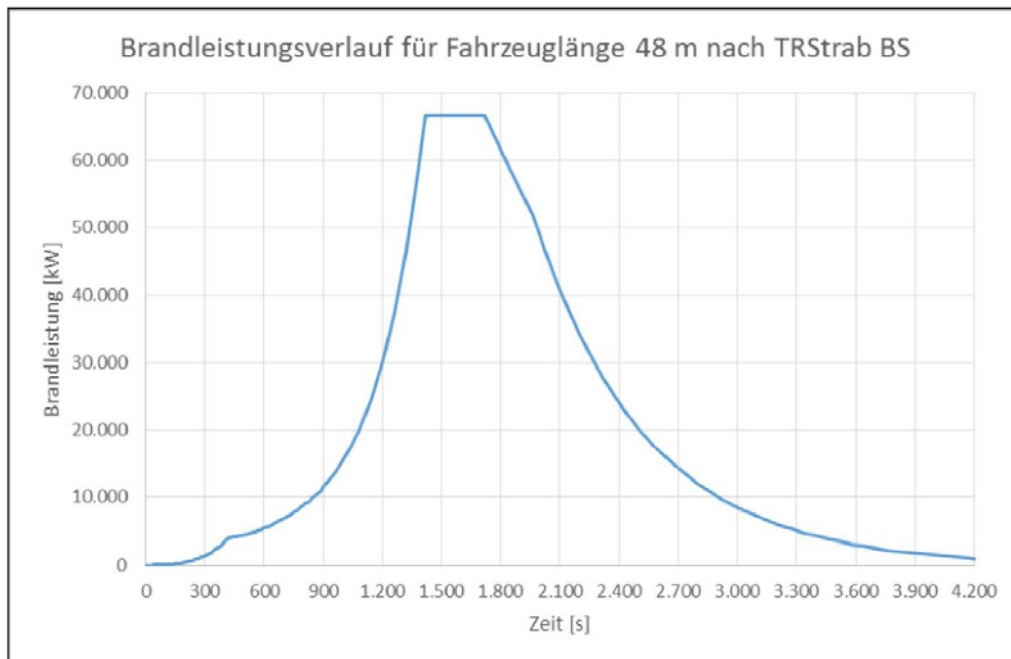


Bild 2:–Verlauf der Wärmefreisetzungsrate des Trambrandes (extrapoliert nach Abbildung 2 der TRStrab Brandschutz [3])

Die in der TRStrab Brandschutz [3] angegebenen und entsprechend der dort hinterlegten Regeln extrapolierte Brandverlaufskurve für das Tramfahrzeug liegt auf der sicheren Seite, da es sich um einhüllende Kurven handelt, die hinsichtlich des Brandverhaltens ein größeres Spektrum von verschiedenen Fahrzeugen abdecken. Wenn jedoch für das maßgebende Straßenbahnfahrzeug ein spezieller Bemessungsbrand vorliegt, der z. B. das Brandverhalten des tatsächlich verbauten Materials berücksichtigt, dann kann davon ausgegangen werden, dass diese spezielle Brandverlaufskurve einen deutlich langsameren Anstieg und ein wesentlich kleineres Maximum der Wärmefreisetzungsrate aufweist. Hierdurch werden bei einem Brandereignis auch entsprechend geringere Rauchgas Mengen freigesetzt und dadurch die Verrauchungssituation verbessert.

Da mit der Brandverlaufskurve nach TRStrab Brandschutz [3] die Schutzziele in der Fremdrettungsphase nicht erreicht werden konnten, wurde der TÜV Süd beauftragt, eine spezielle Brandverlaufskurve für das in der UVR eingesetzte Tramfahrzeug (Avenio) zu erarbeiten (Abschnitt 3.2.2).

3.2.2 Spezieller Bemessungsbrand für die Tram

Zur Bestimmung des Bemessungsbrandes des Tramfahrzeuges Avenio wurden vom TÜV Süd Brandsimulationen an einem Fahrzeugmodell durchgeführt [14]. Hierzu wurden Materialprüfungen nach ISO 5660-1 (Cone Calorimeter) mit den großflächig exponierten Materialien aus dem Innenraum des Tramfahrzeugtyps Avenio vorgenommen. Die thermischen Materialeigenschaften und Zündkriterien für diese Materialien wurden anhand der Cone-Calorimeter-Versuche und der Simulationen der Cone-Calorimeter-

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 7 von 20

Versuche bestimmt, um diesen Materialien (z. B: Seitenwand, Decke, Sitz) im Fahrzeugmodell die relevanten Brandeigenschaften zuweisen zu können [14].

Es wurde vom TÜV Süd für das in der UVR eingesetzte Tramfahrzeug vom Typ Avenio TZ der Verlauf der Wärmefreisetzungsrates über die Branddauer bis zu 30. Minute nach Brandbeginn bestimmt (Bild 3). Zur Definition des Bemessungsbrandverlaufs des Worst-Credible-Cases wurde eine umhüllende Kurve gewählt, die die Brandverläufe aller vier untersuchten Szenarien einschließt. Dieser umhüllenden Verlaufskurve wurde ein Sicherheitsfaktor von 36 %, der sich aus der kombinierten Unsicherheit der Laborprüfungen und der Modellierung ergibt, aufgeschlagen [14]. Die maximale Wärmefreisetzungsrates beträgt danach nur ca. 566 kW nach etwa 630 Sekunden Branddauer (Bild 3).

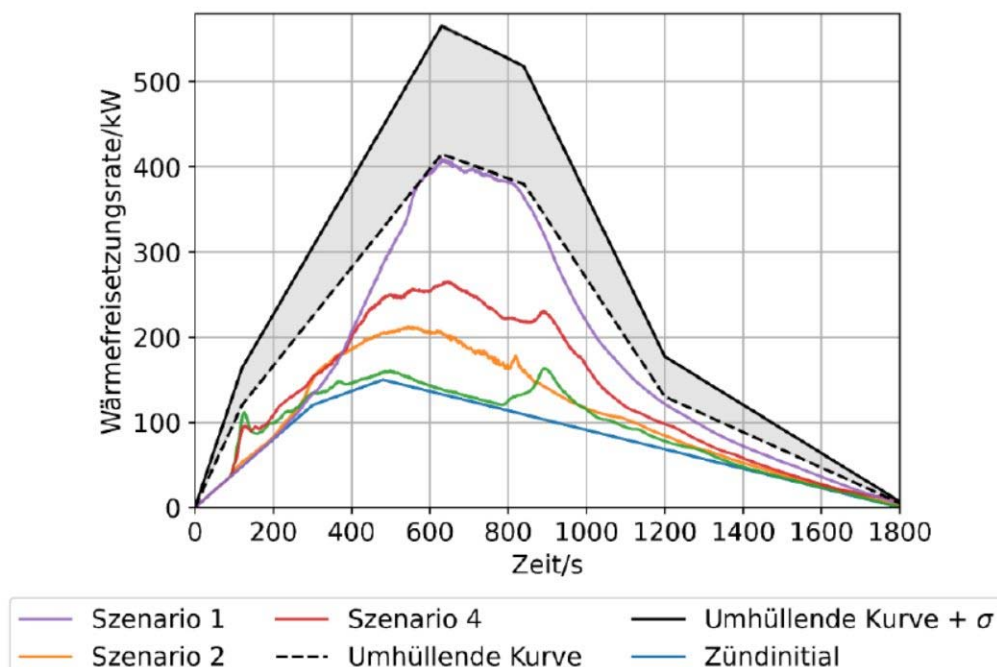


Bild 3: Verlauf der Wärmefreisetzungsrates der Avenio-Tram [14]

3.3 Bemessungsbrand für den Elektrobus

Da in der UVR zukünftig unter anderem auch Elektrobusse verkehren sollen [16], wurde der TÜV SÜD Rail für eine brandschutztechnische Bewertung eingeschaltet. Ziel dieses TÜV-Gutachtens war es, für den Betrieb in der UVR eine einhüllende Bemessungsbrandkurve für die Elektro- und Hybridbusbestandfahrzeuge der SWM festzulegen [15]. Dabei erfolgt eine Bewertung der Anwendbarkeit der Bemessungsbrandkurve von den Dieselmussen auf die Hybrid- und Elektrobusse, speziell die Einflussnahme der alternativen Antriebstechnologie mit Traktionsbatterien bei elektrifizierten Bussen (Tabelle 2) [15].

Lfd. Nr.	Fahrzeugbezeichnung	Batteriezelltyp	Energiespeicher [kWh]
1	EBUSCO 2.2	Lithium-Eisen-Phosphat LiFePO4	30
2	EBUSCO 2.3	Lithium-Eisen-Phosphat LiFePO4	35
3	EBUSCO 3.0	Lithium-Eisen-Phosphat LiFePO4	32
4	Lion's City E	NMC 622	80
5	eCITARO G	LMP®-Festkörperelektrolyt	63

Tabelle 2: Untersuchte Batteriezelltypen [15]

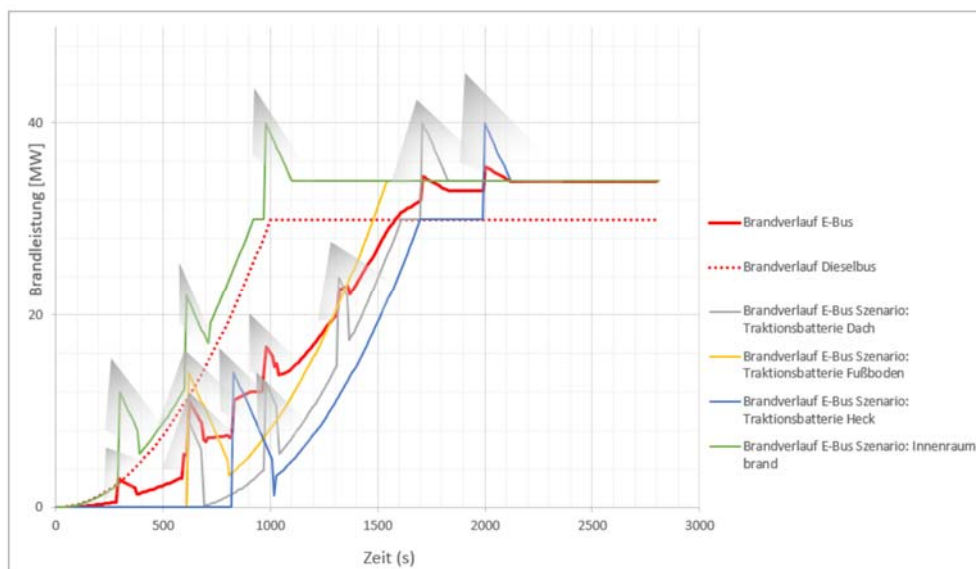


Bild 4: Brandverlaufskurve für Dieselbusse (gestrichelte Kurve) [1] mit zusätzlicher Berücksichtigung einer qualitativen Energiefreisetzung von Elektro-Bussen der SWM bei verschiedenen Brandszenarien [15].

Für die Bewertung sollte die bereits in den Brandsimulationen für die UVR verwendete Bemessungsbrandkurve für Dieselbusse herangezogen werden [1] und eine Einschätzung abgegeben, ob der bisher zugrunde gelegte Bemessungsbrand für Dieselbusse auch für den Betrieb mit Elektro-Bussen verwendet werden kann [15].

Da es bisher durch Feldversuche keinen ausreichend belastbaren Vergleich einer Brandentwicklung zwischen Elektro- und Dieselbus gibt, wurde die Brandentwicklung von einem Bus mit Lithium-Ionen-Hochvolt-Batterie fahrzeugspezifisch und qualitativ herge-

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 9 von 20

leitet. Die Brandverläufe der Elektro-Busse wurden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Brandszenarien (z. B. Brand im Traktionsbatteriebereich, Brand im Innenraum) erarbeitet [15].

Die Brandverläufe wurden auf Basis der definierten Dieseldieselbusbrandkurve qualitativ abgeleitet. Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrates für die untersuchten Elektro-Busse zeigt Peaks zum Zeitpunkt der Beteiligung der Batteriepacks am Brand auf. Grundsätzlich zeigen jedoch die Brandverläufe von den Elektro-Bussen bei einem Ereignis ausgehend von den Traktionsbatterien (Bild 4), dass der Brandverlauf innerhalb der gemittelten und für die SWM definierten Dieseldieselbusbrandverlaufskurve liegt (Bild 4) [15].

3.4 Vergleich der Brandverlaufskurven

Folgende Bemessungsbrandkurven werden miteinander verglichen:

- (1) Dieseldieselbus-Bemessungsbrand (Abschnitt 3.1) [1]
- (2) Tram-Bemessungsbrand nach TRStrab Brandschutz (Abschnitt 3.2.1) [1]
- (3) Spezieller Trambemessungsbrand (Abschnitt 3.2.2) [14]
- (4) Elektrobus-Bemessungsbrand (Abschnitt 3.3) [15]

In der Tabelle 3 werden die Wärmefreisetzungsrates vom Bus (Diesel- und Elektrobus: Tabelle 3: Spalte 2) mit denen von den beiden untersuchten Trams (Tabelle 3: Spalte 3 und 4) gegenübergestellt. Der Bemessungsbrand für die Tram nach TRStrab Brandschutz [3] Abbildung 2 extrapoliert für 48 m Fahrzeuglänge [1] (Tabelle 3: Spalte 3) wird nicht weiter betrachtet, da er durch den speziellen vom TÜV Süd erarbeiteten Tram-Bemessungsbrand [15] (Tabelle 3: Spalte 4) ersetzt wird.

Branddauer	Wärmefreisetzungsrates		
	Bus ¹⁾	Tram ²⁾	Tram ³⁾
1	2	3	4
10 min	10 MW	5 MW	0,6 MW
18 min	30 MW	20 MW	0,4 MW
24 min	30 MW	67 MW	0,1 MW
30 min	30 MW	67 MW	0,0 MW

¹⁾ Dieseldieselbus-Bemessungsbrand [1], nach [15] auch für Elektrobus anzusetzen

²⁾ nach TRStrab Brandschutz Abbildung 2 extrapoliert für 48 m Fahrzeuglänge [1]^[14]

³⁾ Spezieller Trambemessungsbrand für das Avenio-Fahrzeug [14]; Angaben gerundet

Tabelle 3: Wärmefreisetzungsrates: Bus- und Trambrand

Der Vergleich der Bemessungsbrände Bus (Diesel- und Elektrobus: Tabelle 3: Spalte 2) mit dem speziellen vom TÜV Süd erarbeiteten Trambemessungsbrand [15] (Tabelle 3:

Spalte 4) zeigt, dass der Dieselbus-Bemessungsbrand [1] die größte Wärmefreisetzungsrate besitzt und daher für den Verrauchungsnachweis maßgebend ist.

Bei erfolgreichem Verrauchungsnachweis durch Brandsimulationen mit dem Dieselbus-Bemessungsbrand [1] werden die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] auch bei einem Elektrobus- und Trambrand (Tabelle 6) eingehalten. Weitere Brandsimulationen zur Nachweisführung mit dem in der UVR verkehrenden Elektrobus oder der Tram sind daher nicht erforderlich.

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

4 Ergebnisse der Brandsimulationen

4.1 Allgemeines

Bei den durchgeführten Brandsimulationen zeigte sich insbesondere der Busbrand in der Selbstrettungsphase als äußerst kritisch [1]. Da für den Busbrand die Schutzziele für die Selbstrettungsphase nur mit einer maschinellen Entrauchung und einer festen Rauchschräge erreicht werden konnten (Bild 5), wurde diese Entrauchungsvariante für die Ausführung gewählt. 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 Rauchschräge) die Einhaltung der Schutzziele in der Fremdrettungsphase für den Busbrand in der Selbst- und Fremdrettungsphase nachgewiesen werden muss.

4.2 Simulationsergebnisse mit dem Busbrand

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

- (1) Selbstrettungsphase

Beim Busbrand können für die Selbstrettungsphase die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] für den vorliegenden Anwendungsfall bis zu mindestens 9 Minuten mit der geplanten maschinellen Entrauchungsanlage in Kombination mit fester Rauchschrürze eingehalten werden.

(2) Fremdrettungsphase

Für die Fremdrettungsphase ist generell anzumerken, dass die feste Rauchschrürze 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 Rauchschrürze 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 mit fester Rauchschrürze formal nur bis zur 16. Minute nach Brandbeginn eingehalten werden. 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 raucharmen 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 fester Rauchschrürze ergänzende detaillierte Betrachtungen erforderlich (Abschnitt 5.4).

5 Überlegungen zum Nachweis der Fremdrettungsphase beim Busbrand

5.1 Allgemeines

Der Nachweis für einen Busbrand konnte mit einer maschinellen Entrauchung und einer festen Rauchschrürze bisher nur für die Selbstrettungsphase, nicht aber für die Fremdrettungsphase erfolgreich geführt werden. Es ist daher für die Fremdrettungsphase beim Busbrand eine detailliertere Auswertung der Brandsimulationsergebnisse unter Berücksichtigung der bestehenden Randbedingungen erforderlich.

5.2 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 Geländenniveau. Durch diese sehr einfache

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 12 von 20

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 Notgehwegen 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 der 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.

- (8) 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.
- (9) Über den parallel zur UVR verlaufenden Straßentunnel Wotanstraße können die Einsatzkräfte ohne größere Umwege zwischen beiden Portalen der UVR wechseln.

5.3 Stellungnahme der Feuerwehr

Aufgrund der vorliegenden Randbedingungen der UVR (Abschnitt 5.2) 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 auf Verlangen der zuständigen TAB nicht auf einen Verrauchungsnachweis in der Fremdrettungsphase verzichtet. Sondern, es wird nachfolgend in Abschnitt 5.4 durch eine detaillierte Auswertung 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.

5.4 Detaillierte Betrachtung der Fremdrettungsphase für den Busbrand

Vor dem aufgezeigten Hintergrund (Abschnitte 5.2 und 5.3) 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 Rauchschränke für die Verrauchungssituation in der Fremdrettungsphase anhand der Kriterien der TRStrab Brandschutz [3] (Tabelle 4) 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 6).
- (2) Die Auswertung der Brandsimulationsergebnisse zeigt, dass sich die Verrauchungssituationen etwa von der 20. bis zur 30. Minute nach Brandbeginn nur unwesentlich unterscheiden [1]. Deshalb kann auch hier der Verrauchungsnachweis, wie in der TRStrab Brandschutz gefordert, in der 30. Minute nach Brandbeginn (Ende der Fremdrettungsphase) geführt werden:
 - a) In der Nähe des Südportals treten Bereiche auf, in denen der zulässige Grenzwert überschritten wird (Bild 7).
 - 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 7).
 - 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 7).

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 Anforderungen an die Mindestsichtweite in der raucharmen Schicht nach TRStrab Brandschutz [3] für die Fremdrettungsphase bis zur 30. Minute nach Brandbeginn uneingeschränkt eingehalten werden (Bild 8).

6 Zusammenfassung und Bewertung

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

- (1) Wie der Vergleich der Bemessungsbrandkurven zeigt, ist der Dieselsebmesungsbrand ~~für den Busbrand~~ für die Beurteilung der Verrauchungssituation in der UVR maßgebend, da die Wärmefreisetzungsraten und damit auch die Rauchfreisetzungsraten des speziellen Trambemessungsbrandes und auch des Elektrobusbrandes geringer sind.
- (2) Die Schutzziele nach TRStrab Brandschutz [3] für die Selbstrettungsphase beim maßgeblichen Busbrand konnten nur in den Brandsimulationen mit maschineller Entrauchung und fester Rauchschräge eingehalten werden (Bild 9).

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 15 von 20

- (3) Die UVR soll daher eine maschinelle Entrauchung mit Rauchabzugskanälen in Verbindung mit einer festen Rauchschrze erhalten (Bild 5). 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) Für die Einhaltung der Schutzziele in der Fremdrettungsphase bei einem Busbrand waren detaillierte Auswertungen der Brandsimulationsergebnisse erforderlich (Abschnitt 5.4). Diese Auswertungen zeigen unter Berücksichtigung der verfügbaren Rauchschutzmaßnahmen (MRA mit fester Rauchschrze), der örtlichen Verhältnisse und der Verhältnismäßigkeit, dass die Verrauchungssituation auch beim Busbrand (Diesel- und Elektrobus) in der Fremdrettungsphase akzeptabel ist.

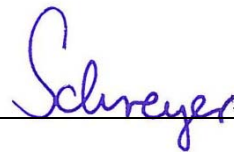
Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen können die in der UVR geplanten Rauchschutzmaßnahmen für einen Diesel- und Elektrobusbrand sowie bei einem Trambrand für die Selbst- und Fremdrettungsphase als ausreichend bewertet werden.

STUDIENGESELLSCHAFT
für Tunnel und Verkehrsanlagen mbH
Köln, den 04. Juli 2023



Dipl.-Ing. Daniel Hahne

zertifizierter Sachverständiger
für den vorbeugenden
baulichen Brandschutz



Dr.-Ing. Jörg Schreyer

7 Verwendete Unterlagen

- [1] UVR CFD-Ergebnispräsentation Stand_210831 von Kersken & Kirchner; Stand 31.08.2021
- [2] TRAM Westtangente, Projektteil UVR München: Brandschutzkonzept Stufe 2; STUVAtec Bericht Nr. 2019009-SCBE-068 vom 20. Juni 2023
- [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: Zusammenfassende Bewertung der Brandsimulationsergebnisse; STUVAtec 2019009-SCBE-062, 23.08.2022
- [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
- [14] Trettin C., Jost M. TÜV SÜD Rail GmbH: Kurzbericht Bemessungsbrandsimulation Avenio-TRAM, SM100576T vom 24.03.2023

Tram Westtangente Projektteil UVR

Bewertung der Brandsimulationsergebnisse mit speziellem Trambemessungsbrand

Seite 17 von 20

- [15] Trettin C., Jost M. TÜV SÜD Rail GmbH: Umweltverbundröhre München-Laim, Qualitative Bemessungsbrandbewertung für die E-Busse basierend auf der festgelegten Dieselbus Brandleistungskurve der Stadtwerke München GmbH, Berichts-Nr.: SM98471G, Version: 4.0 vom 28.02.2023
- [16] E-Mail von Herrn Pfützner, SWM zur BSK-Erweiterung für die Nutzung der UVR durch akkubetriebene Fahrzeuge vom 04.10.2022

8 Bildanhang

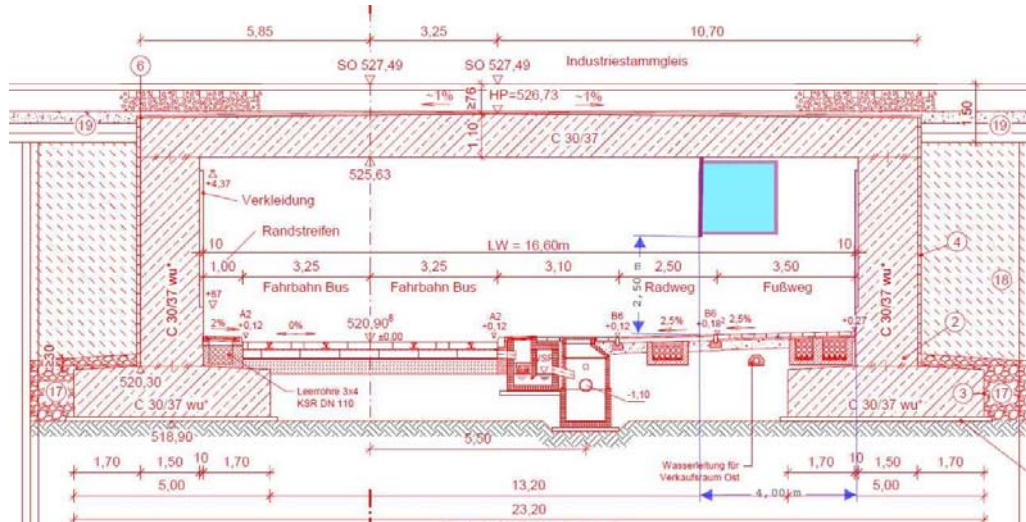
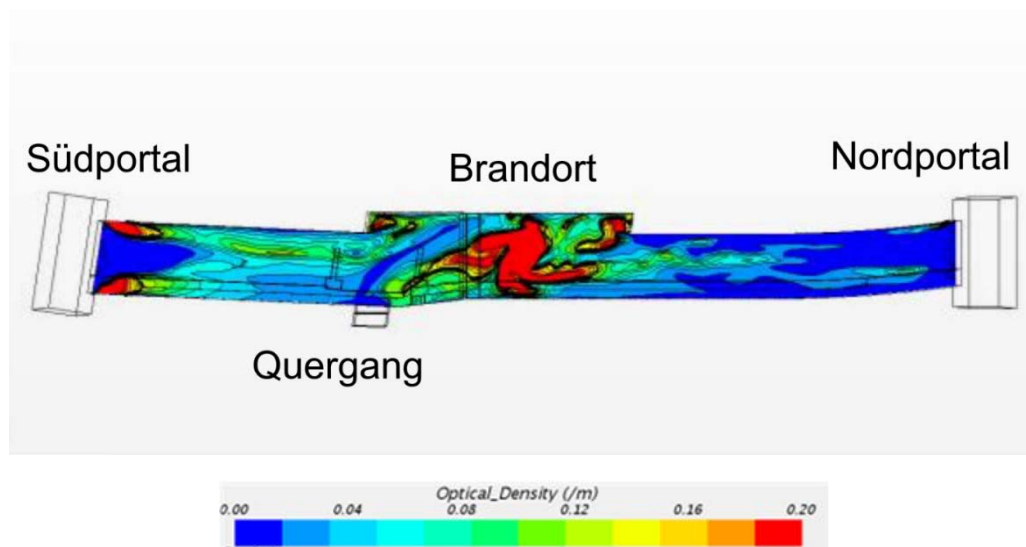
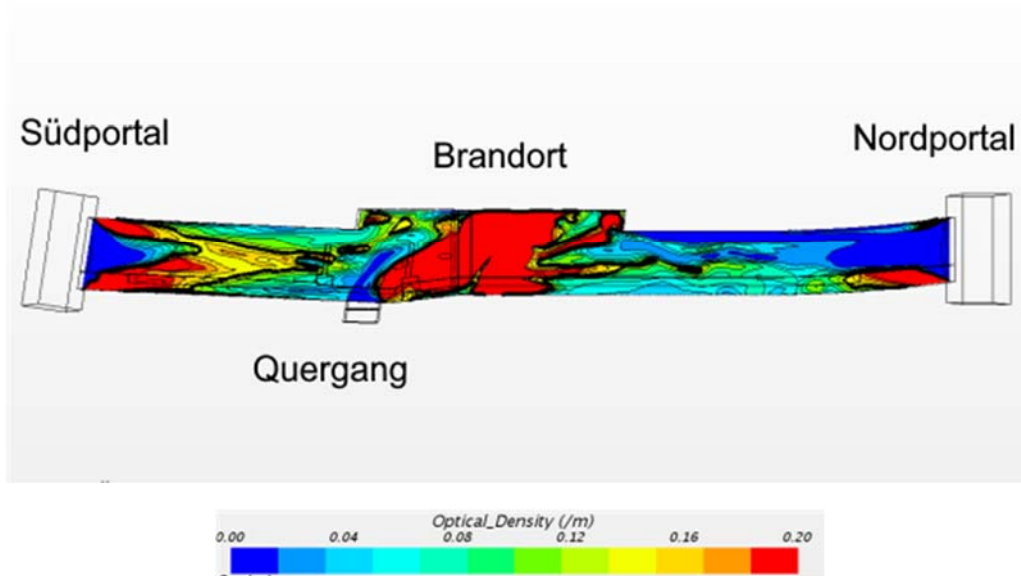


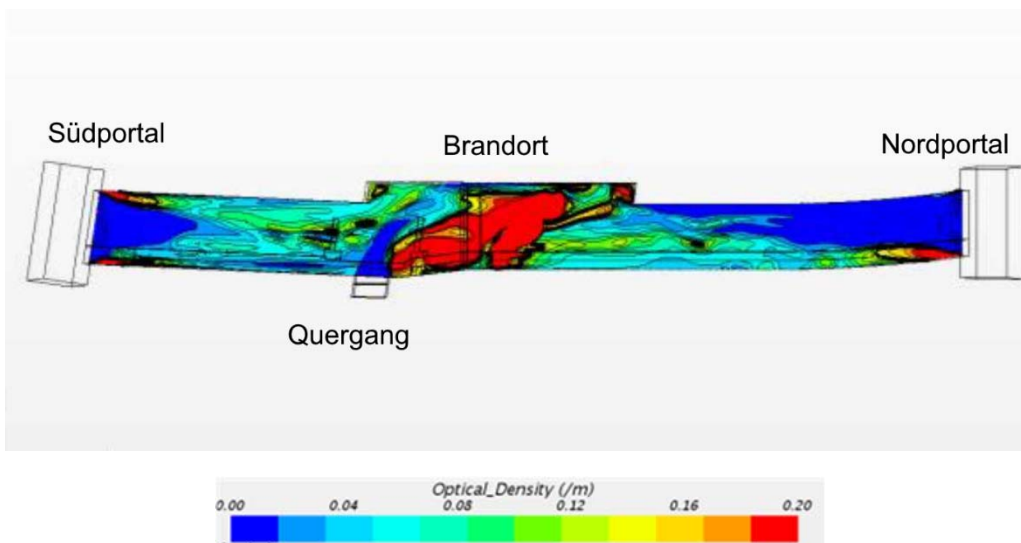
Bild 5: Rauchabzugskanal im östlichen Bereich der UVR (Querschnitt) [9]



**Bild 6: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
16. Minute nach Brandbeginn, h = 1,5 m ([1]: Folie 28)**



**Bild 7: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
30. Minute nach Brandbeginn, h = 1,5 m ([1]: Folie 73)**



**Bild 8: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
30. Minute nach Brandbeginn, h = 1,0 m ([1]: Folie 73)**

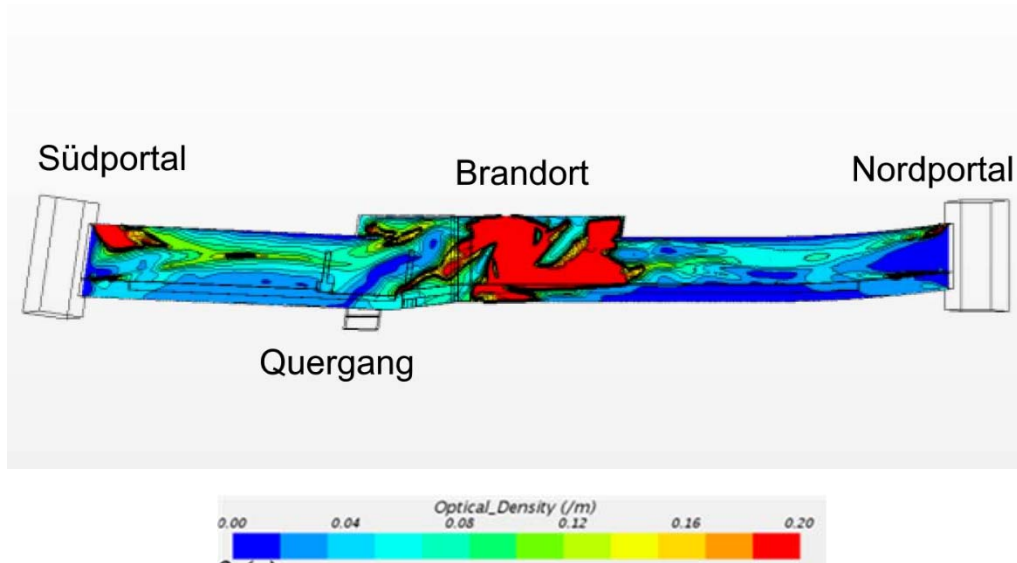


Bild 9: Busbrand MRA mit Rauchschürze (Grundriss):
13. Minute nach Brandbeginn, h = 2,5 m ([1]: Folie 26)

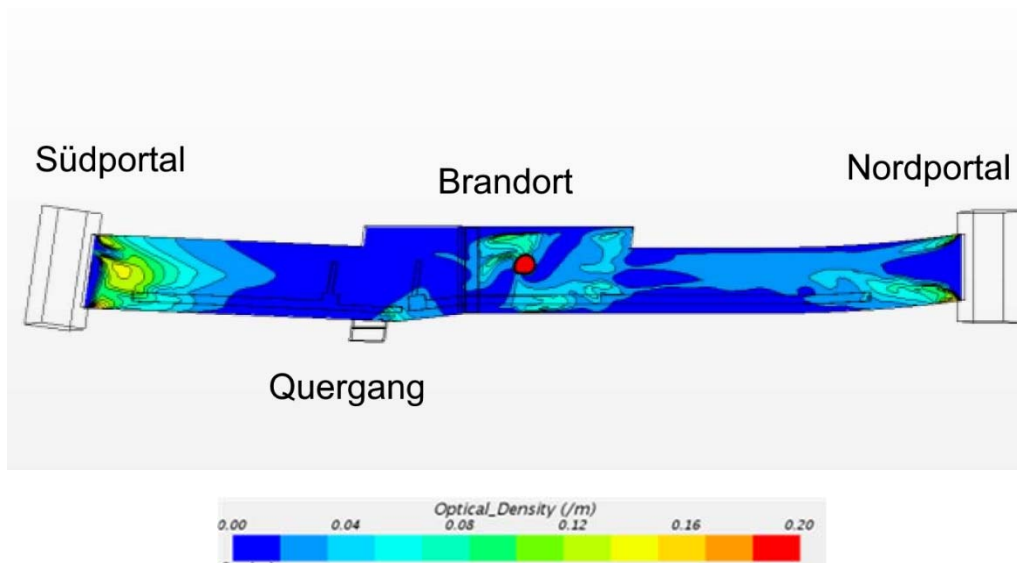


Bild 10: Trambrand MRA ohne Rauchschürze (Grundriss):
10. Minute nach Brandbeginn, h = 2,5 m ([1]: Folie 17)