

SIMULATIONS-GUTACHTEN

nach Kapitel 5 der TRStrab Brandschutz



brandwerk
traffic

PROJEKT

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

ADRESSE	Am Juliusturm / Zitadellenweg 13353 Berlin
DATUM	02.12.2021
VERSION	2.0
BAUHERR	Berliner Verkehrsbetriebe – BVG Holzmarkt 15-17 10179 Berlin
PLANUNG	Berliner Verkehrsbetriebe – BVG Holzmarkt 15-17 10179 Berlin

brandwerk traffic
Sachverständige |
Ingenieurgesellschaft GmbH

Veronikastraße 32
45131 Essen

Fon 0201 9599 75-00
Fax 0201 9599 75-11

www.brandwerk.expert
mail@brandwerk.team



Staatlich anerkannter
Sachverständiger für die
Prüfung des Brandschutzes

Persönliches Mitglied im
VBI - Verein der beratenden
Ingenieure

Mitglied in der Ingenieur-
kammer Bau NRW

Projektnummer	T-00109
Sachverständiger	MKR-PSC
Version	Version 2.0 2. Dezember 2021 PSC

Hinweis

Dieser Schriftsatz darf nur mit
Zustimmung der brandwerk traffic
GmbH
vervielfältigt werden.

Eine Veröffentlichung, auch
auszugsweise, bedarf einer schriftlichen
Genehmigung.

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Inhaltsverzeichnis

A.	Anlass des Brandsimulationsgutachtens.....	4
A.1	Erläuterungen zu Anpassungen / Fortschreibungen.....	4
B.	Beschreibung des Objektes.....	5
C.	Dokumentation zu den Simulationen Definition von Schutzzielen und Grenzwerten.....	9
1	Beschreibung der Szenarien für die Brand- und Räumungssimulation.....	12
1.1	Definition der Brandszenarien und Bemessungsbrände	12
1.1.1	Allgemeine Randbedingungen.....	12
1.1.2	Positionierung der Brandquelle.....	16
1.1.3	Zeitabhängige Energiefreisetzungskurve – Fahrzeugbrand.....	17
1.2	Definition der Randbedingungen für die Räumungsberechnung	19
2	Modellbildung FDS.....	22
2.1	Geometrie.....	22
2.2	<i>Brandschutztechnischer Maßnahmen zur Reduzierung der Rauchverschleppung.....</i>	26
2.3	Modellierung der Zu- und Abluft.....	26
2.4	Aufteilung der Rechengitter	28
2.5	Modellierung der brandschutztechnischen Infrastruktur.....	29
3	Ergebnisse der Simulationen	30
3.1	Ergebnisse der Brandsimulationen	30
3.2	Ergebnisse der Räumungsberechnung (NFPA 130) der BVG.....	34
3.3	<i>Auswertung Szenario 1 – Fahrzeug in Bahnsteigmitte.....</i>	35
3.3.1	<i>Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 2,8 Minuten.....</i>	35
3.3.2	<i>Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,1 Minuten.....</i>	38
3.3.3	<i>Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,8 Minuten.....</i>	41
3.3.4	<i>Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 8,9 Minuten.....</i>	44
3.3.5	<i>Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 9,4 Minuten.....</i>	47
3.3.6	<i>Szenario 1 – Temperatur- und Strömungszustand.....</i>	50
3.4	<i>Auswertung Szenario 2 – Fahrzeug am Drittelpunkt der Bahnsteigebene.....</i>	51
3.4.1	<i>Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 2,8 Minuten.....</i>	51
3.4.2	<i>Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,1 Minuten.....</i>	54

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4.3	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,8 Minuten.....	57
3.4.4	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 8,9 Minuten.....	60
3.4.5	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 9,4 Minuten.....	63
3.4.6	Szenario 2 – Temperatur- und Strömungszustand.....	66
4	Bewertung der Ergebnisse.....	67
D.	Zusammenfassung.....	69
E.	Beurteilungsgrundlagen.....	70
E.1	Rechtliche Grundlagen.....	70
E.2	Unterlagen.....	71
E.3	Besprechungen / Abstimmungen.....	71
F.	Anhänge.....	72
F.1	FDS - fire dynamic simulator	72
F.2	Standardwerte.....	74
F.3	Kennwerte der brandschutztechnischen Infrastruktur	74
F.4	Stoffspezifische Kennwerte.....	75
F.5	Simulationsspezifische Kennwerte	75

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

A. Anlass des Brandsimulationsgutachtens

Im Rahmen der Auflagen der BOStrab Brandschutz muss für die U-Bahnstation Zitadelle in Berlin, zur Erarbeitung eines Brandschutzkonzeptes gemäß Kap. 5 der Technischen Regel zur BOStrab (TRStrab Brandschutz), grundsätzlich Nachweise mithilfe von Ingenieurmethoden des vorbeugenden Brandschutzes geführt werden. Im Rahmen dieser Erarbeitung sind Maßnahmen hinsichtlich des baulichen, anlagentechnischen, betrieblichen und abwehrenden Brandschutzes zu berücksichtigen.

Für eine Überprüfung der Auswirkungen eines Brandes bezogen auf den Verrauchungszustand, wurde für die Station eine computerunterstützte Brandsimulation durchgeführt.

Der zur Prüfung des baulichen Brandschutzes staatlich anerkannte Sachverständige der brandwerk traffic GmbH ist von der

Berliner Verkehrsbetriebe – BVG

mit der Erstellung einer Brand- und einer Räumungssimulation als brandschutztechnischen Nachweis im Genehmigungsverfahren beauftragt worden.

A.1 Erläuterungen zu Anpassungen / Fortschreibungen

Version	Datum	Sachverhalt	Bemerkung
<i>Version 1.1</i>	<i>16.11.2021</i>	<i>Fortschreibung Simulationsgutachten (brandwerk traffic GmbH)</i>	<i>Neubetrachtung aufgrund der Neuplanung des Treppenaufgangs sowie des in 2021 als neue Grundlage festgesetzten Bemessungsbrandes für das H-Fahrzeug</i>

Änderungen zur Version 1.0 sind durch kursive Schrift und Markierungen am rechten Rand kenntlich gemacht worden.

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

B. Beschreibung des Objektes

Bei dem hier untersuchten Objekt handelt es sich um die im genehmigten Bestand vorhandene U-Bahnstation „Zitadelle“ in Berlin. Das nördliche Gleis führt in Richtung „Rathaus Spandau“ und das südlich gelegene Gleis führt in Richtung „Rudow“. In nachfolgenden Abbildung (Abbildung 1) kann die räumliche Lage der Station entnommen werden.

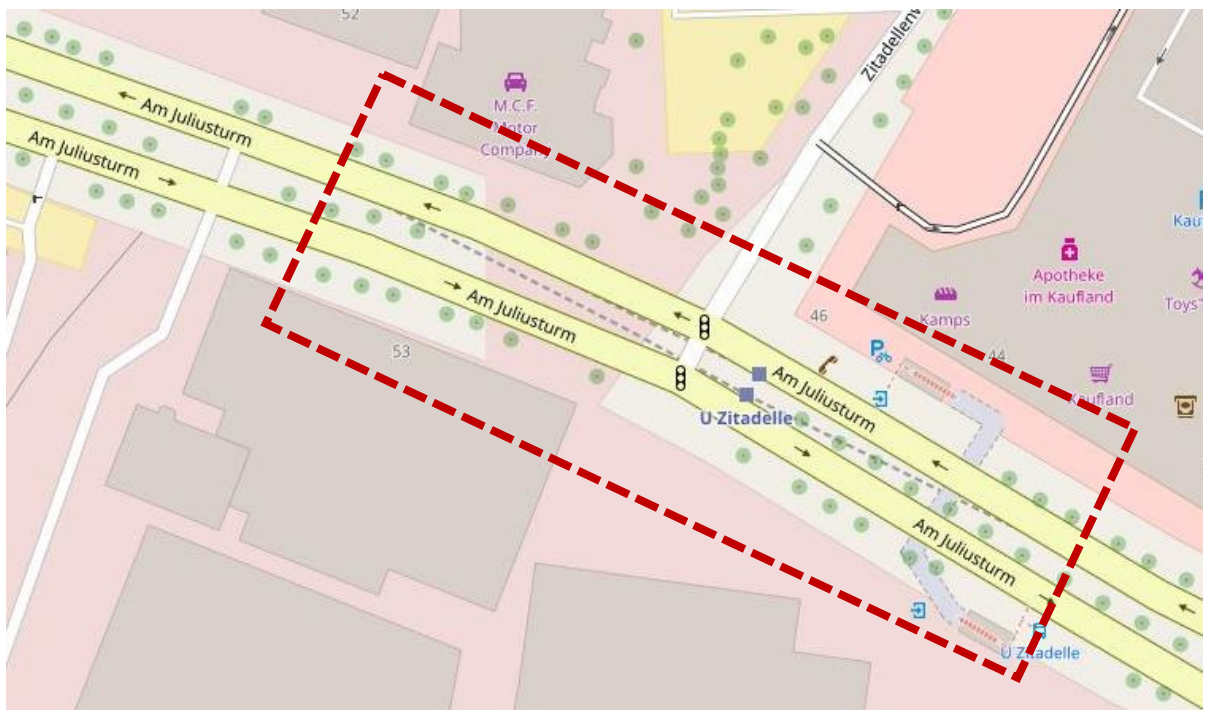


Abbildung 1: Lageplan zur Übersicht (Quelle: openstreetmap.org.de)

Die Station Zitadelle verfügt über zwei Seitenbahnsteige. Von jedem Bahnsteig werden zukünftig jeweils zwei unabhängige Treppenaufgänge in unterschiedliche Verteilerebenen (Schalterhallen) führen. Die Treppenaufgänge liegen dabei jeweils parallel zueinander. Am östlichen Ende beider Bahnsteige befinden sich Betriebs- und Nebenräume. Ebenfalls befinden sich Betriebs- und Nebenräume in der Schalterhalle 2. Die am westlichen Ende gelegene Schalterhalle 1 verfügt über einen Aufgang ins Freie und die Schalterhalle 2 am östlichen Ende verfügt über zwei unabhängige Aufgänge ins Freie. Fahrtreppen sind nicht vorhanden. Von den Bahnsteigen führt jeweils ein Aufzug in die Schalterhalle 2 und von dort aus führt ein Aufzug am nördlich gelegenen Ausgang (Ausgang II/2) ins Freie.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Folgende Flächen werden in der Räumung- und Brandsimulation berücksichtigt:

Bezeichnung	Größe des Bereiches	Deckenhöhe
Bahnsteigebene	ca. 990 m ²	ca. 3,0 m - 4,10 m
Verteilerebene Norden (Schalterhalle 1)	ca. 105m ²	ca. 2,50 m
Verteilerebene Süden (Schalterhalle 2)	ca. 680 m ²	ca. 2,40 m

Die Beschreibung des Objektes beschränkt sich auf die für die Brand- und Räumungssimulation relevanten Aspekte. Für weiterführende Angaben wird an dieser Stelle auf das Brandschutzkonzept Nr. T-00109 von brandwerk traffic GmbH verwiesen.

Die Station verfügt insgesamt über drei Zugänge. Dabei wird die Station über zwei Verteilerebenen erschlossen. Die zwei im Bestand vorhandenen Zugänge befinden sich in unmittelbarer Nähe zu der Straße „Am Juliusturm“. Sie sind jeweils auf der gegenüberliegenden Straßenseite aufzufinden. Der geplante dritte Zugang wird sich in unmittelbarer Nähe der Kreuzung „Am Juliusturm / Zitadellenweg“ befinden.

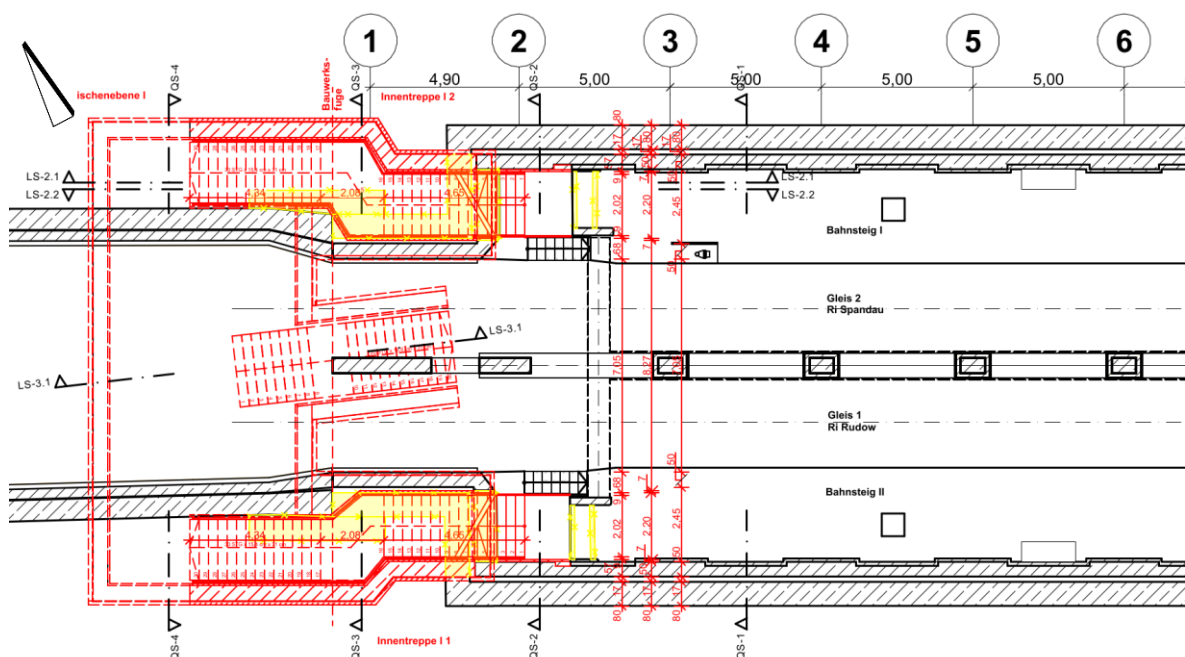


Abbildung 2: Auszug aus der Plangenehmigung – Darstellung der Schalterhalle 1 (Quelle: Architekten am Kaiserdamm)

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

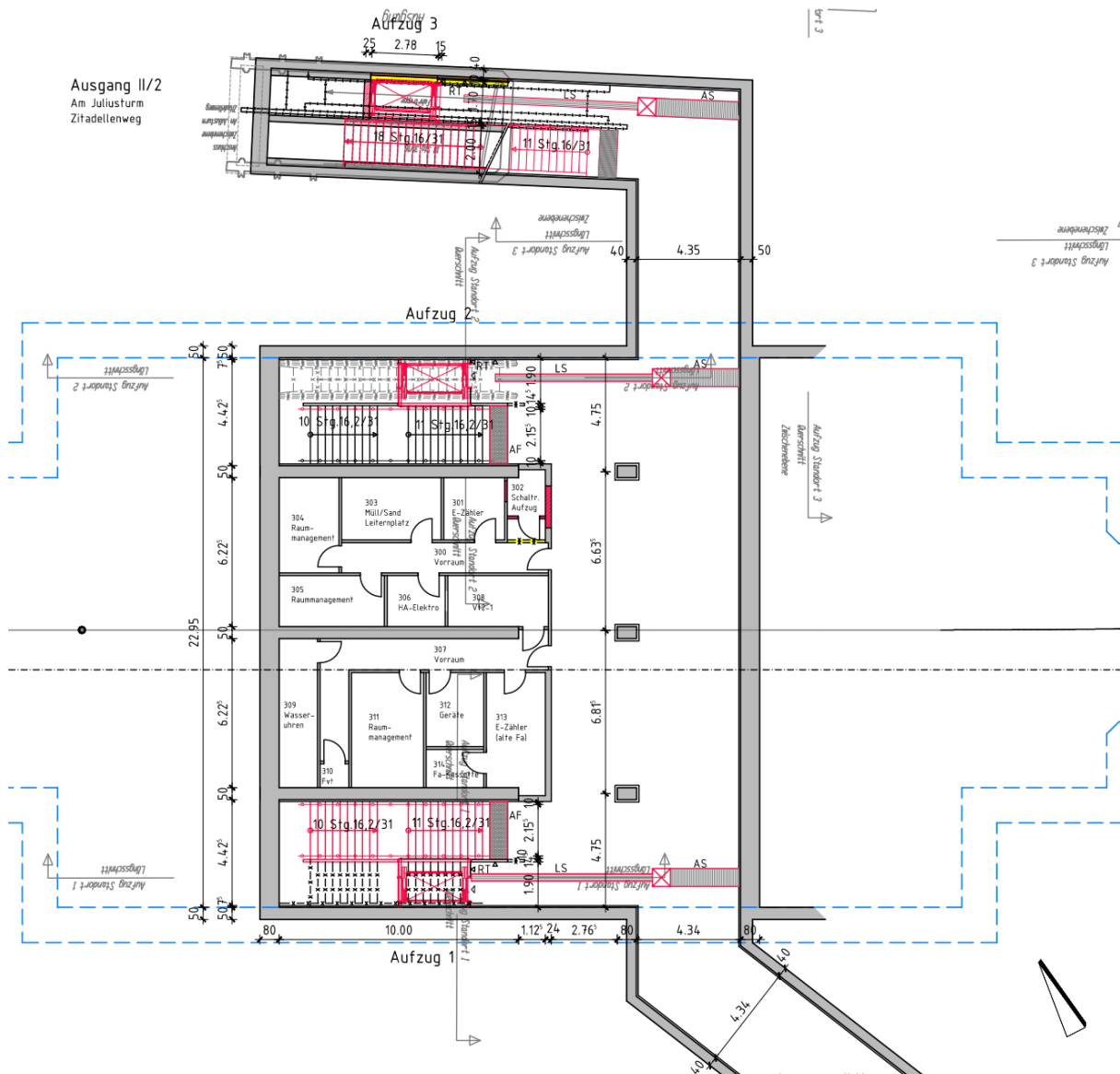


Abbildung 3: Auszug aus der Plangenehmigung – Darstellung der Schalterhalle 2 (Quelle: Architekten am Kaiserdamm)

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

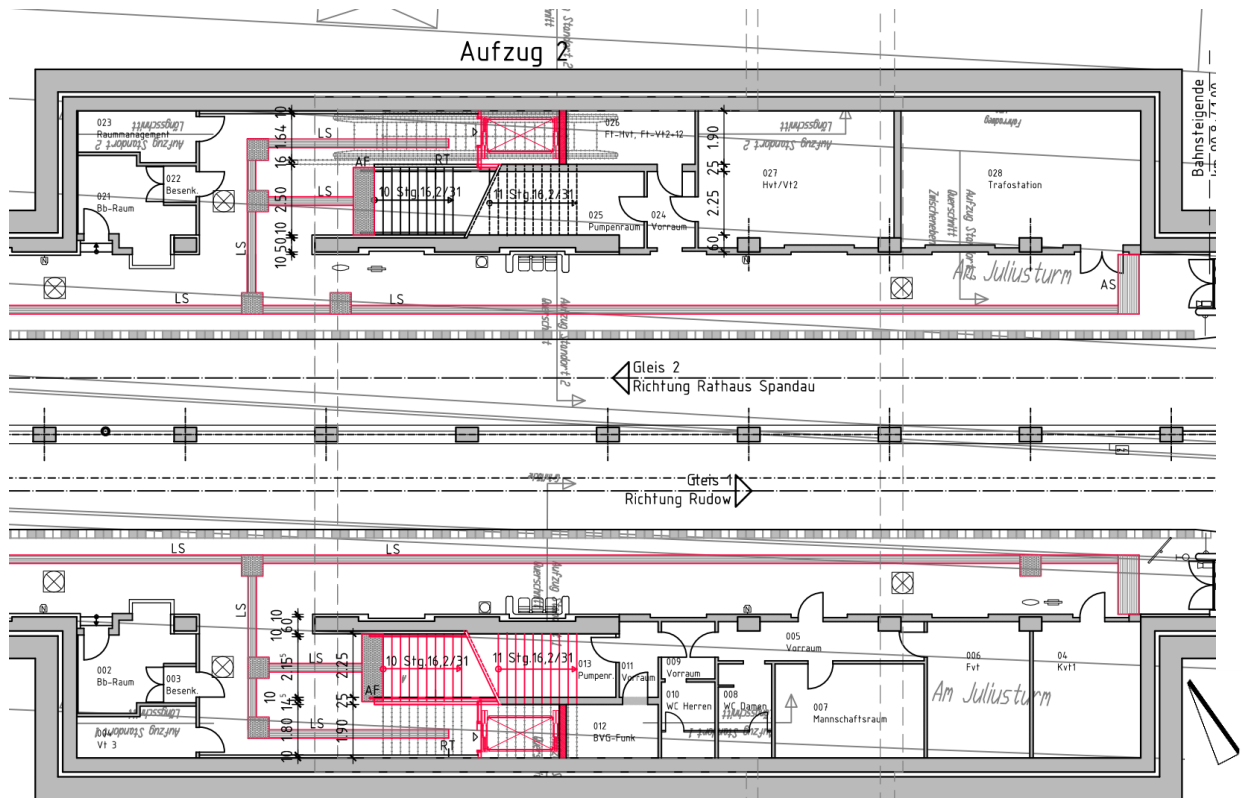


Abbildung 4: Abbildung 5: Auszug aus der Plangenehmigung – Darstellung Betriebsräume unter der Schalterhalle 2 (Quelle: Architekten am Kaiserdamm)

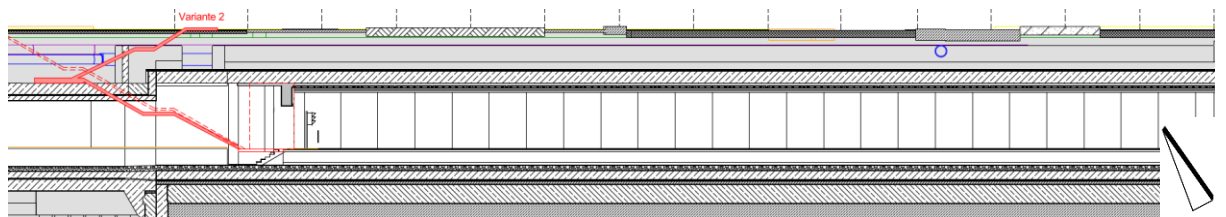


Abbildung 6: Abbildung 7: Auszug aus der Plangenehmigung – Darstellung der Bahnsteigebene - Vertikalschnitt (Quelle: Architekten am Kaiserdamm)

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

C. Dokumentation zu den Simulationen Definition von Schutzzielen und Grenzwerten

Um die Schutzziele auf Grundlage von Technischer Regeln, Verordnungen und Richtlinien nachweisen zu können, wird für das beschriebene Objekt eine rechnerische Brandsimulation durchgeführt. Hierfür werden die folgenden Schutzziele und Grenzwerte definiert und in der folgenden Simulationsdokumentation ausgewertet:

Schutzziel	Schutzziel-beschreibung	Grenzwert	Bemerkung zum Objekt
Selbstrettung bzw. Fremdrettung aus neuen U-Bahnstationen	Kein kritischer Raucheintrag auf den Verkehrsflächen der U-Bahnstation während der Selbstrettungsphase.	Durch die Vorgaben aus der TR STRAB BS ist der Nachweis einer raucharmen Schicht von 2,5 m Höhe über dem Boden während der Selbstrettungsphase + 10 % der Räumungsdauer (mind. 1 Minute) zu erbringen. Anschließend muss für die Fremdrettungsphase bis zur 30. Minute eine raucharme Schicht von 1,5 m nachgewiesen werden. Erkennungsweite im Brandfall mind. 10-20 m Rauchdichte D_L 0,1-0,15 m^{-1} Extinktionskoeffizient 0,3 m^{-1} Max. Gastemperatur 50 °C (vgl. Abschnitt 1.1) t Verrauchung > t Räumung (+10% bzw. min +1 Minute)	Bestandsstation: kein Nachweis erforderlich
Selbstrettung aus bestehenden oder zu ändernden U-Bahnstationen	Kein kritischer Raucheintrag auf den Verkehrsflächen der U-Bahnstation während der Selbstrettungsphase.	Bei bestehenden oder zu ändernden U-Bahnstationen können von den oben genannten Grenzwerten abgewichen werden. Jedoch ist auch hier sicherzustellen, dass eine raucharme Schicht im Mittel von 2,0 m Höhe über der jeweiligen Ebene bis zur Beendigung der ermittelten Selbstrettungszeit vorhanden ist. Erkennungsweite im Brandfall mind. 10-20 m Rauchdichte D_L 0,1-0,15 m^{-1} Extinktionskoeffizient 0,3 m^{-1} Max. Gastemperatur 50 °C (vgl. Abschnitt 1.1) t Verrauchung > t Räumung	Nachweis erforderlich Im Rahmen der Nachweisführung soll untersucht werden, ob ein kritischer Raucheintrag auf den Verkehrsflächen während der Selbstrettungsphase zu erwarten ist.
Löschangriff der Feuerwehr	Keine kritischen Temperaturen auf einer Höhe von 1,5m	Rauchgastemperatur < 100 °C	Bestandsstation: kein Nachweis erforderlich

Tabelle 1: Definition der Schutzziele und Grenzwerte

Datum 02.12.2021 Projektnummer T-00109 Status Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Die beschriebenen Grenzwerte sind aus folgenden Grundlagen festgelegt worden:

Die Umrechnung von der optischen Dichte pro Weglänge (D_L) in den Extinktionskoeffizienten (K) erfolgt näherungsweise mit der Gleichung $D_L = 0,43 K$. Da in der Simulation der Extinktionskoeffizient ausgewertet wird und in der Beurteilungstabelle die optische Dichte pro Weglänge vorgegeben ist, muss diese Umrechnung zur Festlegung des Grenzwertes erfolgen.

Es wurde eine Aufenthaltsdauer von ca. 9,4 Minuten durch die Räumungssimulation ermittelt. Aus der Tabelle nach dem vdfb-Leitfaden ergibt sich für die mittlere Aufenthaltsdauer ein Maximalwert für die Rauchdichte von $D_L = 0,15 \text{ m}^{-1}$. Umgerechnet in den Extinktionskoeffizienten ($K = 0,15 \text{ m}^{-1} / 0,43$) ergibt sich hieraus der Grenzwert für $K = 0,34 \text{ m}^{-1}$. Konservativ wurde der Wert für den Extinktionskoeffizient auf $K = 0,3 \text{ m}^{-1}$ herabgesetzt, diese entspricht einer optischen Dichte von $D_L = 0,13 \text{ m}^{-1}$.

Tabelle 8.3 Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration ⁽¹⁾	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m ²	2,0 kW/m ²	< 2,5 kW/m ²
Gastemperatur ⁽²⁾	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D_L ⁽³⁾	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ / 0,15 m ⁻¹ ⁽⁴⁾	0,1 m ⁻¹ / 0,2 m ⁻¹ ⁽⁴⁾
Erkennungsweite ^{(5), (6)}	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

⁽¹⁾ Die HCN-Konzentrationen sind starken Streuungen unterworfen. Für typische Brände besteht eine Korrelation mit den CO-/CO₂-Konzentrationen, wobei hier konservativ ein Verhältnis CO:HCN von 12,5:1 vorausgesetzt wird.

⁽²⁾ Die Gastemperatur bezieht sich auf Luft mit einem Gehalt an Wasserdampf von weniger als 10 Volumenprozent. Die Gastemperatur darf nicht isoliert, ohne gleichzeitige Bewertung der Rauchausbreitung (insbesondere der Rauchdichte) als Beurteilungsgröße für die Personensicherheit herangezogen werden.

⁽³⁾ Unter Zugrundelegung eines massenspezifischen Extinktionskoeffizienten $K_m = 8,7 \text{ m}^2/\text{g}$ ergibt sich (gerundet) für $D_L = 0,1 \text{ m}^{-1}$ eine Rußkonzentration von 25 mg/m³ bzw. für $D_L = 0,2 \text{ m}^{-1}$ von 50 mg/m³ (siehe Abschnitt 8.2).

⁽⁴⁾ Der jeweils höhere Anhaltswert kann zur Beurteilung angesetzt werden, wenn der betreffende Bereich übersichtlich strukturiert ist oder die Personen mit den Räumlichkeiten vertraut sind.

⁽⁵⁾ Die Erkennungsweite ist starken Streuungen unterworfen. Für typische Brände besteht eine Korrelation mit der Rauchdichte D_L . Näheres dazu siehe Abschnitt 8.3.

⁽⁶⁾ Das Kriterium Erkennungsweite wird in der Regel durch den Nachweis der Rauchdichte D_L i. V. m. der Erkennung von Sicherheitszeichen nachgewiesen (siehe Abschnitt 8.3). Es wird daher vorausgesetzt, dass auf Ausgänge hinweisende Sicherheitszeichen (beleuchtet oder hinterleuchtet) innerhalb der raucharmen Schicht angebracht werden.

Abbildung 8: Auszug aus dem vdfb-Leitfaden 2020– Tabelle 8.

Datum	Projektnummer	Status
02.12.2021	T-00109	Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

In der Veröffentlichung (vfdb Heft 04/2014) von Wiezorek, Böttger und Franke wird beschrieben, dass der Wert $0,1 \text{ m}^{-1}$ für die Rauchdichte im Hinblick auf die Beurteilung toxischer Brandprodukte als ausreichend angesehen werden kann. Bei Berücksichtigung dieser Werte ist nicht mit toxischen Brandprodukten zu rechnen.

Die Erkenntnisse aus den o.g. Untersuchungen weisen darauf hin, dass die optische Sichtweite als kritischstes Kriterium zur Bestimmung der Personensicherheit auch weiterhin angesetzt werden kann. Die Versuche und die Berechnungen zeigten, dass bei Einhaltung dieses Grenzwertes insbesondere bei Flammenbränden keine kritischen Konzentrationen von Rauchgasen zu erwarten sind.

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

1 Beschreibung der Szenarien für die Brand- und Räumungssimulation

1.1 Definition der Brandszenarien und Bemessungsbrände

Innerhalb dieses brandschutztechnischen Nachweises werden Brandszenarien definiert, welche die Risiken der objekttypischen Nutzung abdecken sollen. Das Ziel ist, ein konservatives Brandszenario festzulegen, um zu untersuchen, ob über einen festgelegten Zeitraum die oben genannten Schutzziele erreicht werden. Brandszenarien dienen der quantitativen Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der wesentlichen Brandparameter.

Bestimmende Randparameter für die Brandszenarien sind:

- Brandort und geometrische Randbedingungen;
- Art und Menge von Brandlast im betrachteten Bereich;
- Energiefreisetzungsrate
(Brandausbreitung in Abhängigkeit von der Zeit; Spezifische flächenbezogene Brandlast);
- Ventilationsbedingungen;
- Chemische Zusammensetzung der Brandprodukte;
- Einfluss von Einrichtungen der brandschutztechnischen Infrastruktur auf den Brandverlauf.

1.1.1 Allgemeine Randbedingungen

Die folgenden Randbedingungen werden bei der Definition der Brandszenarien berücksichtigt:

Randparameter	<i>Szenario 1 – [00109-0102_neu] Brand einer Bahn (H-Baureihe) auf der Bahnsteigebene (Bahnsteigmitte) Maximale Brandleistung ca. 63,6 MW</i>	<i>Szenario 2 – [00109-0202_neu] Brand einer Bahn (H-Baureihe) auf der Bahnsteigebene (westliches Bahnsteigende) Maximale Brandleistung ca. 63,6 MW</i>
Bemessungsbrand		
Lage Brandort	<i>Die Brandquelle befindet sich mittig des Bahnsteiges auf dem Gleis 2.</i>	<i>Die Brandquelle befindet sich am westlichen Ende (öffentliche Bereich) des Mittelbahnsteiges auf dem Gleis 2.</i>
Max. Energiefrei- setzung	<i>ca. 63,6 MW (IFAB, Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG, 2020/00198 rev01)</i>	
Spez. Energiefreisetzung)	<i>31,8 MW/m²</i>	
Max. Brandfläche	<i>Die Brandfläche wird gemäß Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG (IFAB) mit 2,0 m² angenommen.</i>	
Brandausbreitungs- geschwindigkeit	<i>Die Ausbreitung des Brandes wurde mit Hilfe einer Ramp so berücksichtigt, dass die vorgegebene Brandleistung aus der Energiefreisetzungskurve nach dem Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG (IFAB) erreicht wird.</i>	
Branddetektion		
Vorbrandzeit **)	vgl. Erläuterung	

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Randparameter	<i>Szenario 1 – [00109-0102_neu] Brand einer Bahn (H-Baureihe) auf der Bahnsteigebene (Bahnsteigmitte) Maximale Brandleistung ca. 63,6 MW</i>	<i>Szenario 2 – [00109-0202_neu] Brand einer Bahn (H-Baureihe) auf der Bahnsteigebene (westliches Bahnsteigende) Maximale Brandleistung ca. 63,6 MW</i>
Brandbekämpfung		
Beginn der Löschmaßnahmen	Löschmaßnahmen sind in der Simulation nicht berücksichtigt worden.	
Ventilationsbedingungen		
Zuluftöffnungen	Natürliche Ventilation über den Tunnelmund und die Treppenaufgänge.	
NRWA	Es sind keine natürlichen Rauch-Wärme-Abzugsanlagen zur Rauchabfuhr berücksichtigt worden. Die Rauchabfuhr wird über die vorhandenen Ausgänge ins Freie und die Tunnelmünder sichergestellt.	
Mechanische Abluft	Im Modell sind keine mechanischen Entrauchungsmaßnahmen berücksichtigt worden.	
Öffnungs- / Aktivierungszeiten **)	<i>Der Zug der H-Baureihe besteht aus sechs zusammenhängenden und durchgängig begehbaren Waggonen. Somit besteht ein durchgängiger Luftraum mit einer Gesamtzuglänge von ca. 98 m. Bahnmodell nach Vorgaben des Arbeitsblattes zur Brandsimulationsrechnung (Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG (IFAB): Bei Brandbeginn sind die dem Bahnsteig zugewandten Türen offen.</i>	
Strömungseinflüsse, aus Bereichen außerhalb des Simulationsvolumens (z. B. Außenwind)	Es wurden keine äußeren Einflüsse berücksichtigt (Windstille).	

Bei der ganzheitlichen Betrachtung wurde ebenfalls eine Positionierung des Brandortes in unmittelbarer Nähe zu dem Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle I berücksichtigt. Aufgrund der Kubatur und der kleineren Durchgangsfläche wurde in der vorangegangenen Auswertung festgestellt, dass die Positionierung des Brandortes vor dem Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle II das konservativste Szenario darstellt.

***) Spezifische Energiefreisetzung:**

Die Brandszenarien sind auf Grundlage der vorliegenden Informationen über das Objekt und seine individuelle Nutzung gewählt worden. Bei der Auswahl der Szenarien sind Überlegungen aus dem SFPE-Handbuch, der TRStrab Brandschutz und dem vdfb-Leitfaden für Ingenieurmethoden im Brandschutz (Stand 2013) eingeflossen.

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

*****) Erläuterung zur Vorbrandzeit:**

Als Ereignis wurde ein Fahrzeugbrand erachtet. Sofern das Brandereignis zu einem Zeitpunkt auftritt, zu dem sich das Fahrzeug zwischen zwei Stationen befindet, ist zwangsläufig eine Vorbranddauer bis zur Einfahrt in die nächste Station vorhanden. Während dieser Vorbranddauer wird eine gewisse Menge an Rauchgasen freigesetzt. Grundsätzlich muss hierbei unterschieden werden, ob das Brandereignis außerhalb des Fahrzeugs (z.B. durch einen Kabelbrand unter der Bahn), oder im Fahrzeuginneren beginnt. Bei einem Brand, der außerhalb des Fahrzeugs eintritt, ist davon auszugehen, dass die freigesetzten Rauchgase zum Großteil im Bereich der Tunnelröhre verbleiben. Beginnt ein Brand hingegen im Inneren des Fahrzeugs werden sich die Rauchgase im Fahrzeug bis zum Öffnen der Türen sammeln und am Bahnsteig austreten. Die Fahrzeit zu den benachbarten Stationen beträgt nach Fahrplan ca. 100 Sekunden. Es ist nicht davon auszugehen, dass das Fahrzeug bei einem Brandereignis in der Tunnelröhre zum Stehen kommt, da eine Notbremsenüberbrückung vorhanden ist. Die Bahn wird zunächst die Station anfahren um dort, nach dem Öffnen der Türen, die Räumung einleiten zu können. Aufgrund der geringen Vorbrandzeit und den beschriebenen Annahmen, wird davon ausgegangen, dass die bis zur Einfahrt produzierte Rauchgasmenge nicht in dem Umfang relevant ist, dass sie zu grundlegend anderen Verrauchungszuständen führt. Daher wird im Modell vereinfachend das Brandereignis für ein Fahrzeug angenommen, das bereits in der Station steht. Die Vorbranddauer bleibt in der vorliegenden Betrachtung unberücksichtigt.

*****)) Öffnungs- und Aktivierungszeiten:**

Angelehnt an das Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung (IFAB), bezogen auf das Fahrzeug der H-Baureihe der BVG, sind die dem Bahnsteig zugewandten Türen bei Brandbeginn offen, da für die Evakuierung der Personen nach Einfahrt in die Haltestelle alle Türen in Bahnsteigrichtung geöffnet werden.

BVG | U-Bahnstation Zitadelle



Abbildung 9: Ausschnitte aus dem Simulationsbericht Bemessungsbrandverlaufskurven der H und HK Baureihe der BVG (IFAB)

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

1.1.2 Positionierung der Brandquelle

Im Rahmen der Untersuchungen wurden für die Station die folgenden Brandorte gewählt um das Brandrisiko möglichst umfangreich abbilden zu können. Für das erste Bemessungsszenario wurde der Brandort mittig des Seitenbahnsteigs auf dem Gleis 2 positioniert. Für das zweite Brandszenario wurde der Brandort unmittelbar im Bereich des Treppenaufgangs in Richtung Schalterhalle 1 auf dem Gleis 2 positioniert. Innerhalb des Fahrzeugs liegt die Brandquelle bei beiden Szenarien auf dem Boden.

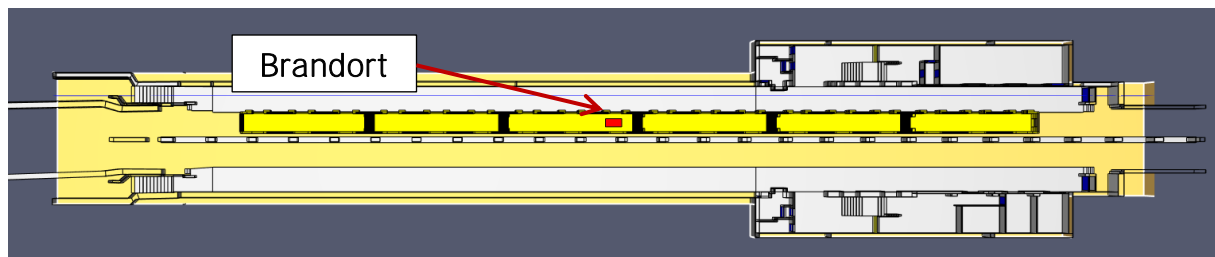


Abbildung 10: Brandquelle Fahrzeug Szenario 1 – Brandort mittig auf der Bahnsteigebene

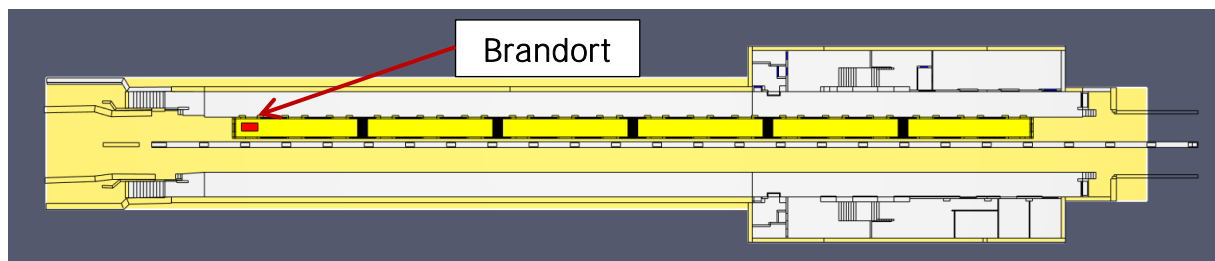


Abbildung 11: Brandquelle Fahrzeug Szenario 2 – Brandort am Treppenaufgang zur Schalterhalle 1

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

1.1.3 Zeitabhängige Energiefreisetzungskurve – Fahrzeugbrand

Gemäß Abschnitt 4.1.1 TRStrab Brandschutz endet der Nachweis für die Fremdrettungsphase nach 30 Minuten, sodass die Simulation nur bis zu diesem Zeitpunkt berechnet werden muss. Konkrete Werte für den Wärmefreisetzungszeitverlauf des Fahrzeugbemessungsbrandes wurden dem Simulationsbericht Bemessungsbrandverlaufskurven der H und HK Baureihe der BVG (IFAB Stand 23.12.2020) entnommen. Die Fahrzeuge zur Personenbeförderung bei der Berliner U-Bahn unterteilen sich in Fahrzeugserien für das Klein- und das Großprofil. Auf den Linien U5-U9 kommt das Großprofil zum Einsatz. Im Großprofil werden die Fahrzeugserien F74E, F 76E, F84, F87, F90, F92 und H eingesetzt. Gemäß seitens der BVG durchgeführten Untersuchungen besitzt die H-Baureihe die höchste maximale Energiefreisetzung und soll im Weiteren für die Berechnung der vom Großprofil angefahrenen Bahnhöfe verwendet werden. Die durch IFAB für die H-Baureihe ermittelte Energiefreisetzungskurve kann aus der Abbildung 12 entnommen werden.

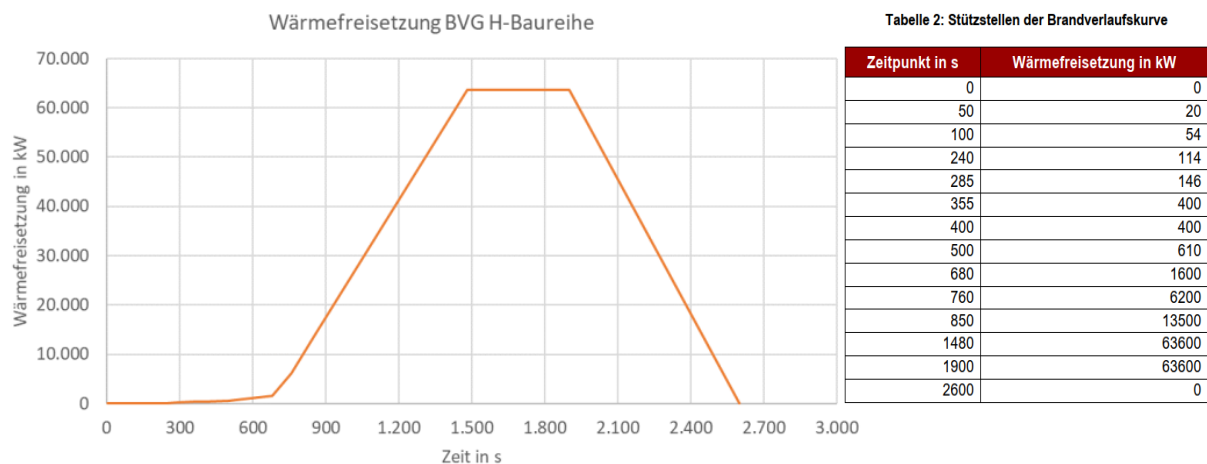


Abbildung 12: Ermittelte Energiefreisetzungskurve BVG H-Baureihe (Quelle: IFAB, Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG)

Die Brandrauchanteile für Ruß, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid werden entsprechend der Abbildung 13 zugrunde gelegt.

CO Ausstoß in g/g	CO ₂ Ausstoß in g/g	Rußproduktion in g/g	Heizwert [MJ/kg]
0,058	1,23	0,079	18,462

Abbildung 13: Brandparameter (Quelle: Tabelle 3, IFAB, Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG)

Der Heizwert bleibt während des gesamten Zeitraums konstant und wurde entsprechend den Angaben aus der Abbildung 13 mit 18,462 MJ/kg in der Simulation berücksichtigt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen detaillierten Ausschnitt der der Simulation zu Grunde gelegten Energiefreisetzungskurve bis 600 Sekunden.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

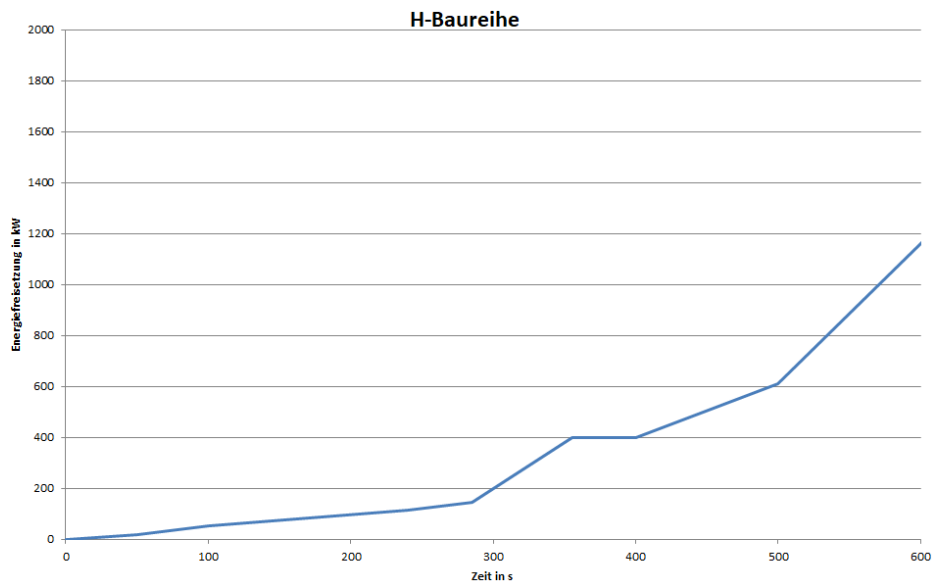


Abbildung 14: Zu Grunde gelegte Energiefreisetzungskurve

Die in der Simulation ausgeschriebene Brandverlaufskurve kann aus der nachfolgenden Abbildung eingesehen werden.

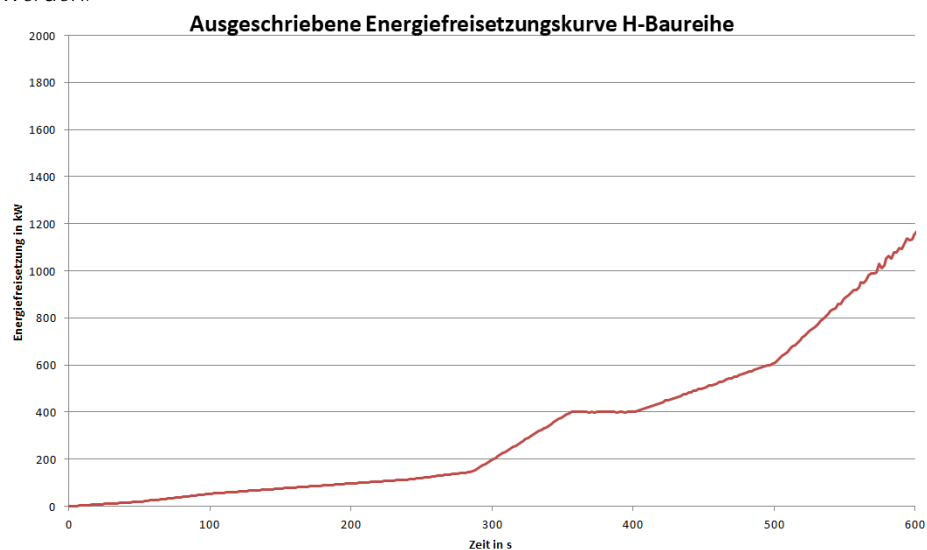


Abbildung 15 Simulierter ausgeschriebener Verlauf der Energiefreisetzung

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

1.2 Definition der Randbedingungen für die Räumungsberechnung

Die Berechnung der Räumungsdauer erfolgte seitens der BVG mithilfe eines hydraulischen Handrechenverfahrens auf Grundlage der amerikanischen Norm NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, Ausgabe 2010, National Fire Protection Association, Quincy, USA. Dieses Berechnungsverfahren basiert auf der Kalkulation von Durchflusskapazitäten und Bewegungsgeschwindigkeiten, welche miteinander verrechnet werden. Dabei wurden Einflussfaktoren wie die temporäre Personenanzahl, die Beschaffenheit des Weges (Treppe, Rampe, etc.), Weglängen und -breiten und Weitere berücksichtigt.

Randparameter	Räumung der Station über die Schalterhalle I über den Ausgang I bzw. über die Schalterhalle II über die beide zur Verfügung stehenden Ausgänge (Ausgang II/1 und Ausgang II/2).
Fahrzeit	100 Sekunden
Pre-Movement	4,4 Minuten (Stauungszeit) Stauungszeit vor den Treppenaufgängen ist nach Angaben der BVG maßgebend gegenüber der Reaktionszeit Für den U-Bahnhof ist die Stauungszeit vor den Treppen gegenüber der Reaktionszeit aus der TRStrab Brandschutz Kap. 5.2.1 (2,0 Minuten plus längste Gehzeit auf Bahnsteigebene) maßgebend, da die Summe aus der Reaktionszeit und der Gehzeit kleiner ist als die Stauungszeit vor dem Treppenaufgängen (3,5 Minuten < 4,4 Minuten).
Personenbelegung	$\Sigma = 1.750$ Pers. (nach Angaben der BVG)
Bahnsteigebene	$\Sigma = 1.750$ Pers. Die Personen in der Bahnsteigebene verteilen sich wie folgt: <ul style="list-style-type: none"> - Auf jedem Gleis befindet sich ein vollbesetzter Zug mit jeweils 750 Personen. - Nach Angaben der BVG befinden sich auf den Bahnsteigen insgesamt 225 Personen (30 % eines vollbesetzten Zuges - nach EBA-Verfahren). Diese werden gleichmäßig auf die Bahnsteige verteilt.
Lichte Breite der geöffneten Aufgänge bzw. Ausgänge	
Ausgänge aus den Bahnen	Jeweils 1,30 m (pro Bahn 3 Ausgänge)
Aufgänge von der Bahnsteigebene zur Schalterhalle 1 bzw. Schalterhalle 2	Treppenaufgang in Richtung der westlichen Verteilerebene (Schalterhalle 1): 2,00 m effektive Treppenbreite Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle 2): 2,15 m effektive Treppenbreite
Ausgänge aus der Schalterhalle1	Ausgang I/1: Feste Treppe mit 2,40 m

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Randparameter	Räumung der Station über die Schalterhalle I über den Ausgang I bzw. über die Schalterhalle II über die beide zur Verfügung stehenden Ausgänge (Ausgang II/1 und Ausgang II/2).
Ausgänge aus der Schalterhalle 2	Ausgang II/1: Feste Treppe mit 3,84 m Ausgang II/2: Feste Treppe mit 1,80 m
Kapazitäten Effektive Breite der Aufgänge	
Aufgänge von der Bahnsteigebene zur Schalterhalle 1	Feste Treppen in Richtung Schalterhalle 1: 2,00 m / 0,6 m → 3 Fluchtspur Kapazität: 3 Fluchtsuren (feste Treppe) → 99 Personen/Minuten
Aufgänge von der Bahnsteigebene zur Schalterhalle 2	<i>2 Feste Treppen in Richtung Schalterhalle 2: je Treppe 2,15 m / 0,6 m → 3 Fluchtspur</i> <i>Kapazität je Treppe: 3 Fahrspuren → 99 Personen/Minuten</i>
Ausgänge von der Schalterhalle 1 ins Freie	Ausgang I: Feste Treppe mit 2,40 m 2,40 m / 0,6 m → 4 Fluchtsuren Kapazität: 4 Fluchtsuren → 132 Personen/Minuten
Ausgänge von der Schalterhalle 2 ins Freie	Ausgang II/1: Feste Treppe mit 3,84 m 3,84 m / 0,6 m → 6 Fluchtsuren Kapazität: 6 Fahrspuren → 198 Personen/Minuten Ausgang II/2: Feste Treppe mit 1,80 m 1,80 m / 0,6 m → 3 Fluchtsuren Kapazität: 2 Fahrspuren → 124 Personen/Minuten

Tabelle 2: Randbedingungen für die Räumungssimulation

Die folgenden Vorgaben wurden seitens der BVG aus der amerikanischen Richtlinie NFPA 130 entnommen:

Gehgeschwindigkeiten:

Maximale durchschnittliche Gehgeschwindigkeit entlang von Ebenen, Korridore und Rampen beträgt 0,6 m/s.

Maximale durchschnittliche Gehgeschwindigkeit für Bahnhofshallen und andere Örtlichkeiten mit geringer Fußgängerdichte beträgt 1,0 m/s.

Maximale durchschnittliche Gehgeschwindigkeit auf festen Treppen und stehenden (abgeschalteten) Fahrtreppen beträgt 0,25 m/s.

Treppenkapazitäten:

Die NFPA 130 gibt für die Kapazität einen Wert für Durchlässe von 0,0555 p/(mm x min) an. Für eine Fluchtsurbreite von 0,60 m ergibt sich somit eine Kapazität von 33 Personen pro Minute. Die Fluchtsurbreite (feste Gehspurbreite) von 0,60 m wird allgemein zur Räumungsberechnung herangezogen. Die Fluchtsurbreite bezieht sich auf den Flächenbedarf einer einzelnen Person. Nach der

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Körperellipse von Fruin¹ (Darstellung des Flächenbedarfs einer Person) beträgt die anzusetzende Schulterbreite 0,61 m. Somit deckt sich die nach STUVATec herangezogene Spurbreite mit einer realitätsnahen Darstellung einer Person.

Die genaue Berechnung der Räumungszeiten seitens der BVG liegt im Anhang bei.

Grundlegend gilt die Räumung einer Station als abgeschlossen, wenn alle Personen ins Freie gelangt sind. Aufgrund der offenen Gestaltung der Treppenaufgänge ist mit einer vollständigen Räumung der Station bereits vor Verlassen der letzten Treppenstufe zu rechnen. Hier betreten die Personen auf den Treppenaufgängen bereits einen rauchfreien Bereich wenn sie die Hälfte der Treppe hinauf gegangen sind, da größtenteils keine Überdachung der Aufgänge vorhanden ist. Bei der Auswertung der Räumungssimulationen wird konservativ davon ausgegangen, dass die Räumung erst nach Überwindung des gesamten Treppenaufgangs abgeschlossen ist. Zudem müssen sich die Personen in einem Umkreis von 10 m um die Ausgänge befinden.

¹ Fruin, J.J.: Designing for Pedestrians. A Level of Service Concept. Polytechnical Institute of Brooklyn.Ph.D., 1970

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

2 Modellbildung FDS

2.1 Geometrie

Die Erstellung des geometrischen Modells erfolgte auf Grundlage der vorliegenden Pläne und Unterlagen für die U-Bahnstation Zitadelle. Das gesamte Objekt wurde in ein dreidimensionales Simulationsmodell übersetzt. Die relevanten Wände, Türen, Nischen und Öffnungen wurden berücksichtigt.

Farbe	Art des Bauteils / Material
Grau	Beton
Gelb	Glas
Blau	Stahl
Türkis	Gipskarton
Rot	Brandquelle

Tabelle 3: Farbcode geometrisches Simulationsmodell

Die Randbereiche des Simulationsvolumens (an den Eingängen, ins Freie und am Tunnel) sind mit einer als „open“ definierten Vent modelliert worden (magentafarben umrahmte Flächen). An diesen Flächen findet ein offener Strömungsaustausch statt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind zur Veranschaulichung des Modells verschiedene Ansichten der modellierten Geometrie zu sehen. Zur Darstellung der Rauchschürzen wurde diese ebenfalls mit einer gelben Farbe kenntlich gemacht.

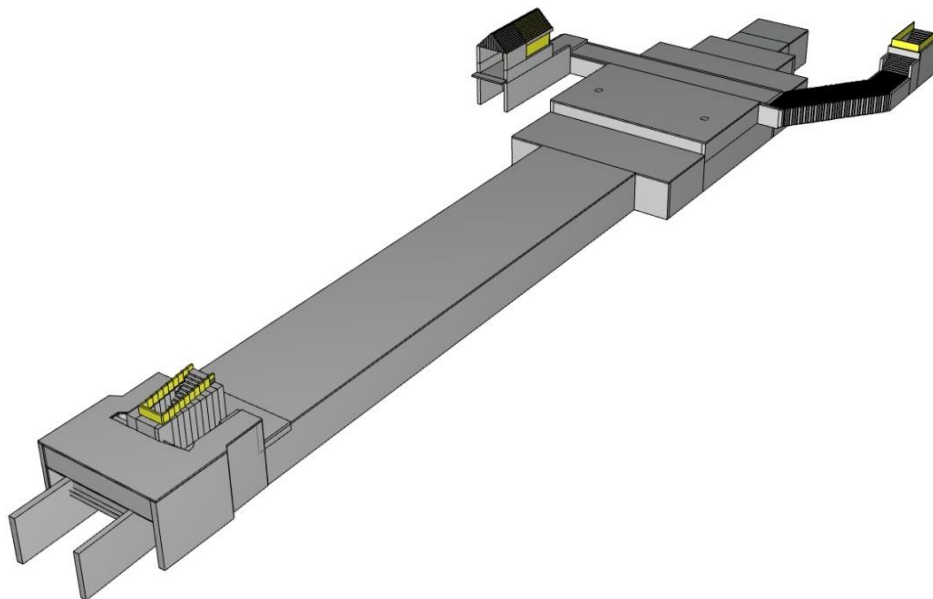
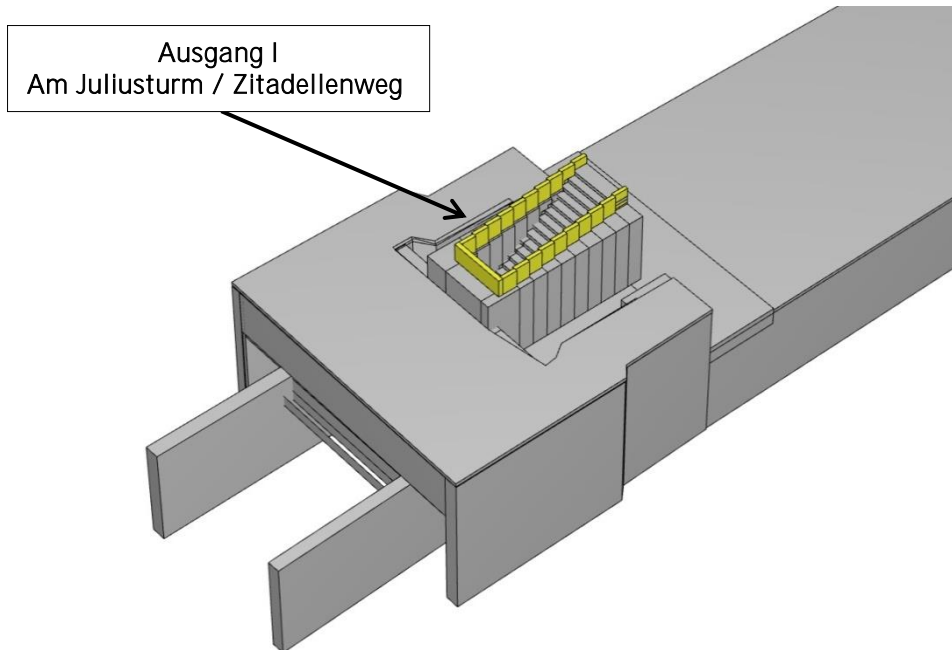
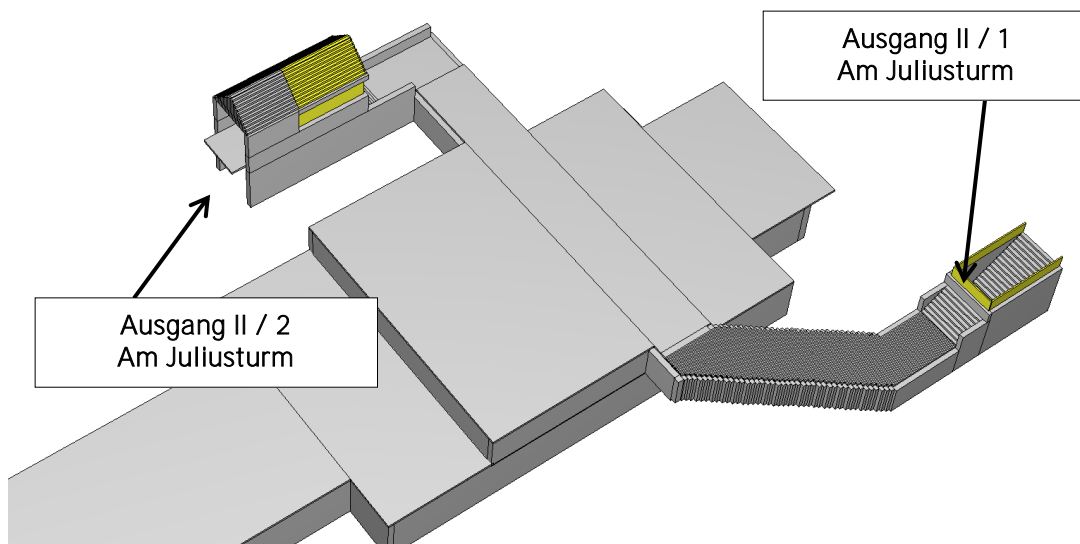


Abbildung 16: Ansicht des Simulationsmodells (PyroSim) – Gesamtübersicht

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

*Abbildung 17: Ansicht des Simulationsmodells (PyroSim) – Schalterhalle I**Abbildung 18: Ansicht des Simulationsmodells (PyroSim) – Schalterhalle II*

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

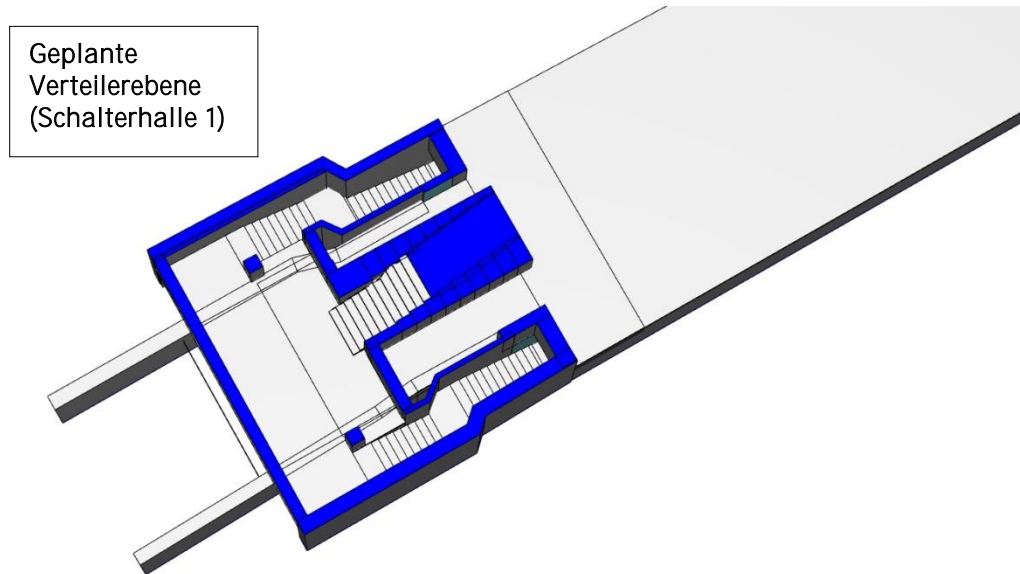


Abbildung 19: Ansicht ins Simulationsmodells – Horizontalschnitt: westliche Verteilerebene (Schalterhalle I)

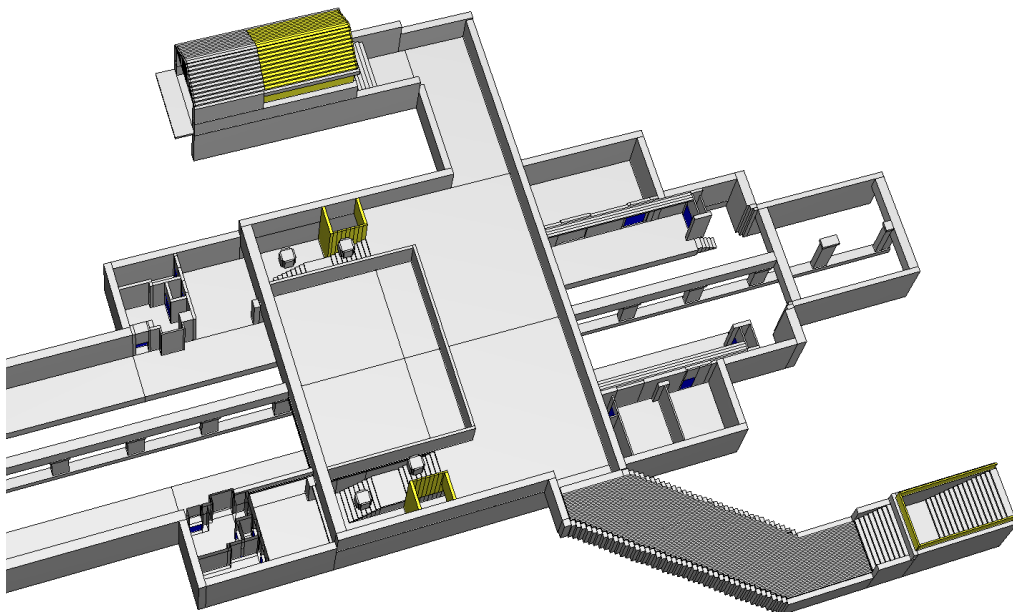


Abbildung 20: Ansicht ins Simulationsmodells – Horizontalschnitt: östliche Verteilerebene (Schalterhalle II)

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

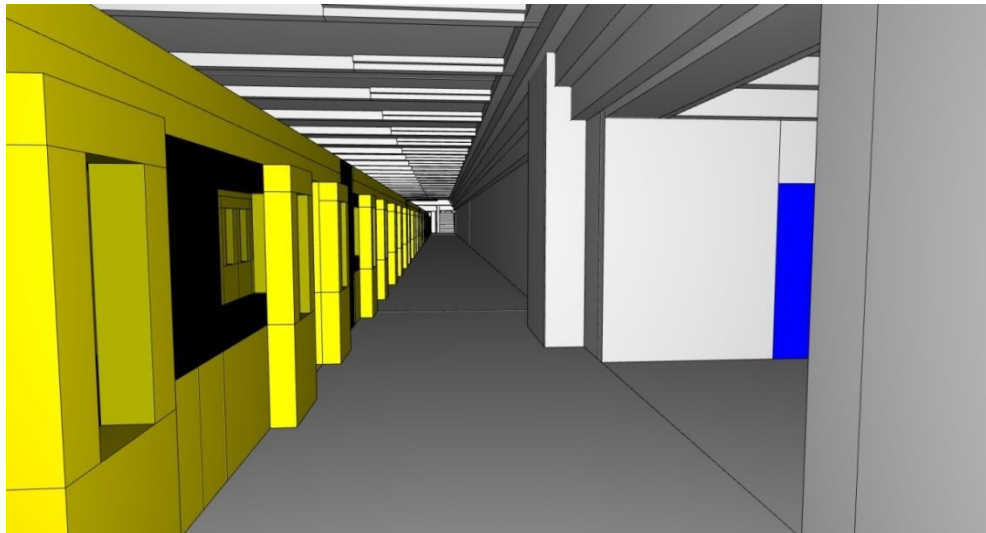


Abbildung 21: Innenansicht ins Simulationsmodell – Blick in Richtung Schalterhalle 1

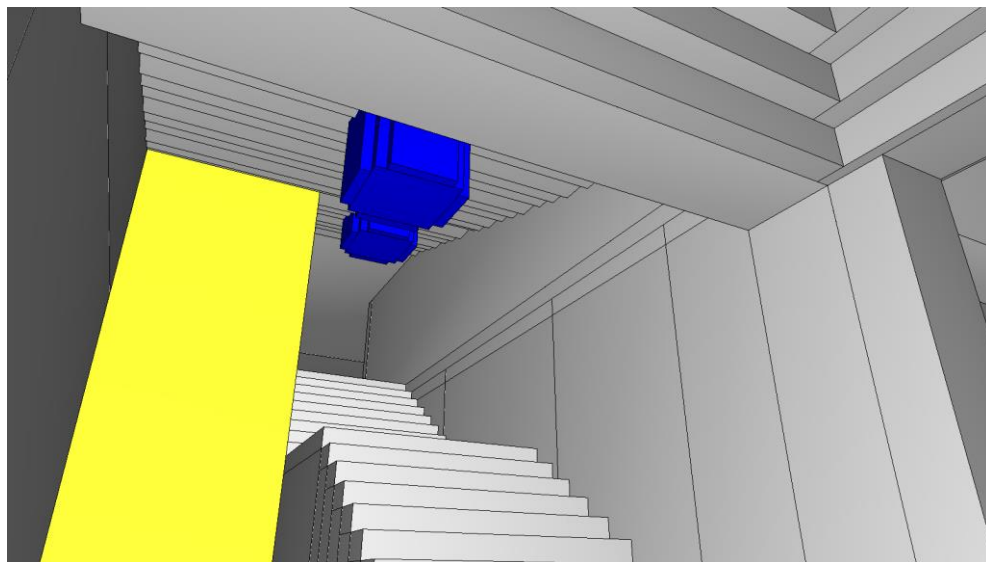


Abbildung 22: Innenansicht ins Simulationsmodell – Blick am Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle 2

Randbedingungen bzw. Vereinfachungen:

Für die Berechnung mithilfe des Simulationsprogramms FDS mussten alle Objekte an das orthogonale Rechengitter angepasst werden, sodass geringfügige Abweichung auftreten können. Diese Abweichungen werden sich in einem vertretbaren Rahmen bewegen, sodass keine signifikanten Auswirkungen auf die Ergebnisse der Simulationsberechnungen zu erwarten sind.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

2.2 Brandschutztechnischer Maßnahmen zur Reduzierung der Rauchverschleppung

Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass zur Sicherstellung des Schutzziels Selbstrettung keine brandschutztechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Rauchverschleppung notwendig werden. Dabei wurden die Ergebnisse der Räumungszeiten mit den Ergebnissen der Brandsimulation verglichen.

2.3 Modellierung der Zu- und Abluft

Die Ventilation des Brandes erfolgt im Modell in natürlicher Weise über die Zugänge und die Tunnelmünder. Im Bereich des Tunnels kann die Zuluft frei in das Objekt nachströmen. Die Rauchgase können ebenso über die offen definierten Ränder frei abströmen. Die angesetzte Fläche am Tunnel ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

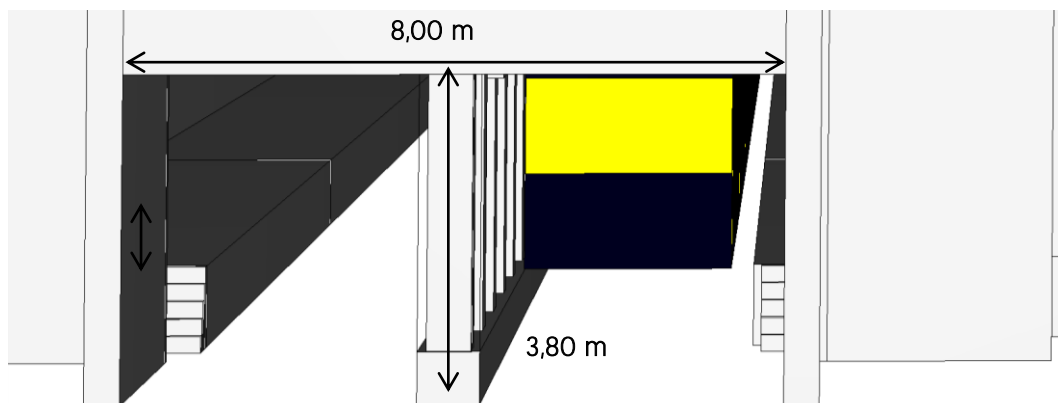


Abbildung 23: Zuluftflächen im Bereich des Tunnels (Osten)

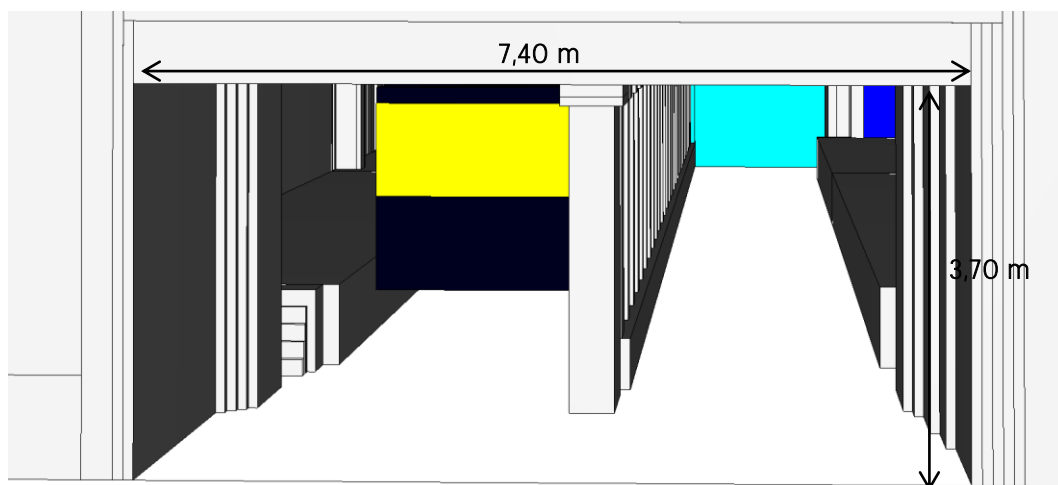


Abbildung 24: Zuluftflächen im Bereich des Tunnels (Westen)

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

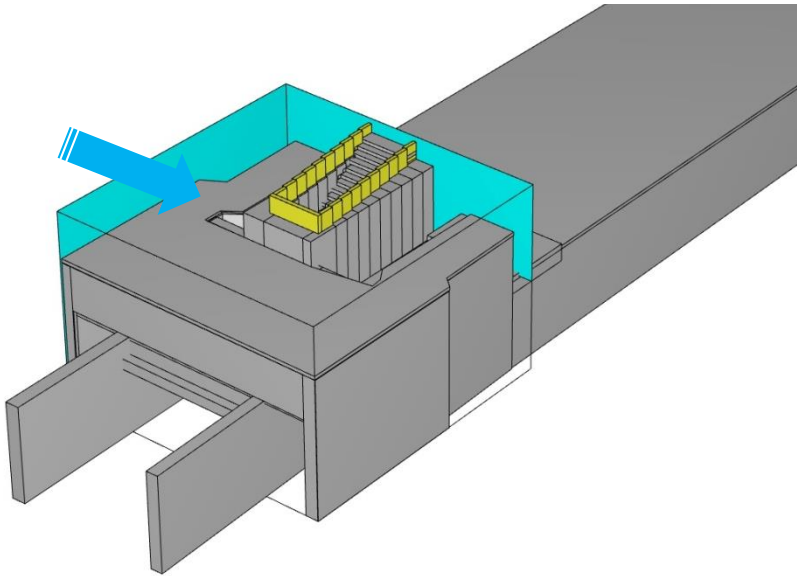


Abbildung 25: Nach- bzw. Abströmflächen über den Ausgang zur Oberfläche (Schalterhalle 1)

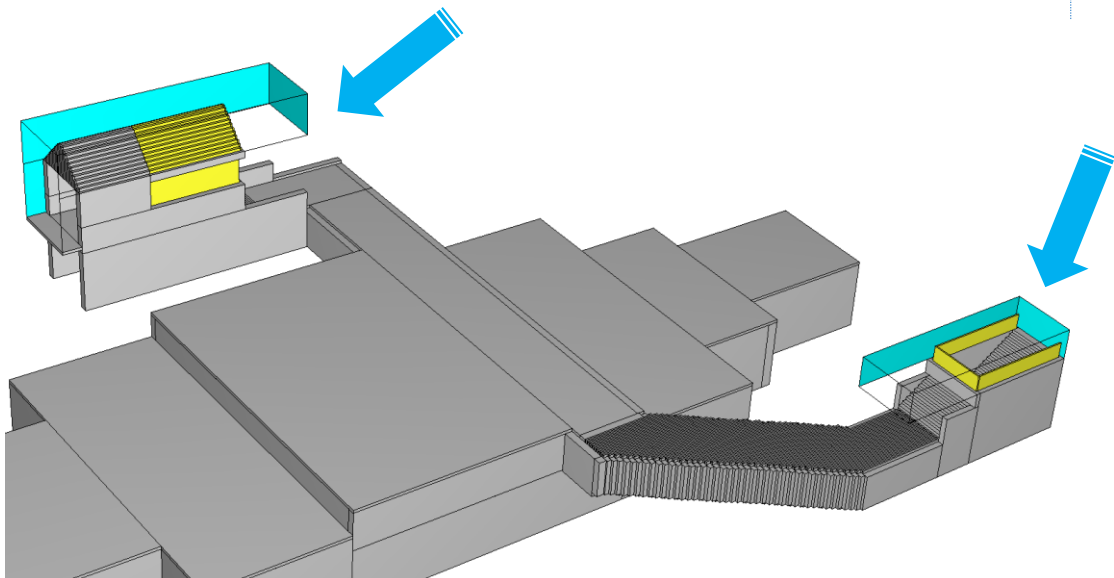


Abbildung 26: Nach- bzw. Abströmflächen über die Ausgänge zur Oberfläche (Schalterhalle 2)

Es sind keine Rauchabzugsanlagen im Rahmen einer Entrauchung der öffentlichen Bereiche (natürlich oder maschinell) geplant.

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

2.4 Aufteilung der Rechengitter

Bei den vorliegenden Simulationsberechnungen wurde mit mehreren Rechengittern gearbeitet (Multimesh-Berechnung). Die Gitterweite beträgt *20 cm*. Im Folgenden sind die Rechengitter (Meshes) dargestellt, in die das Modell unterteilt wurde.

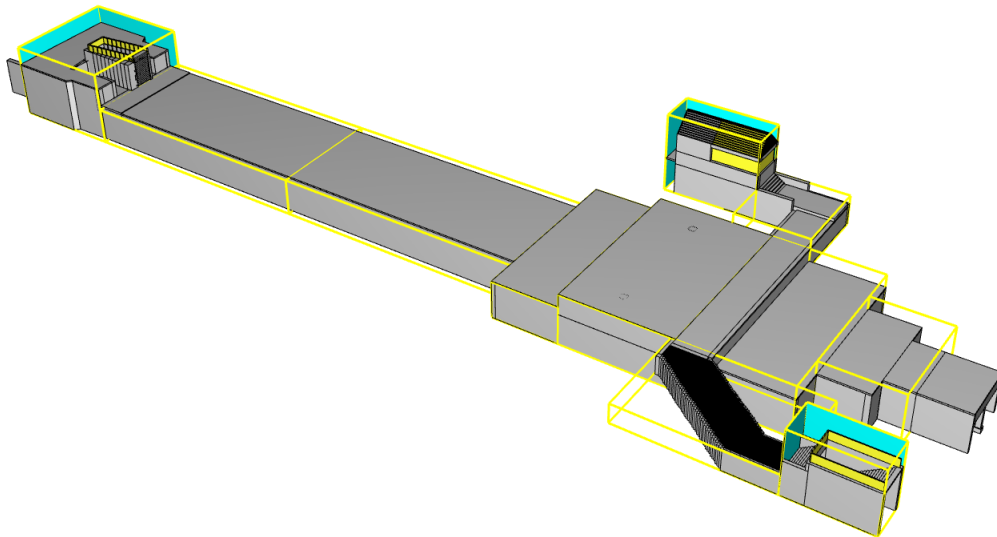


Abbildung 27: Darstellung der Aufteilung Rechengitter – Ansicht von oben

Mesh	Gitterweite	Anzahl der Zellen	Liegt im Mesh
1	20 cm x 20 cm x 20cm	341.280	--
2	20 cm x 20 cm x 20cm	364.000	Brandquelle (Szenario 1)
3	20 cm x 20 cm x 20cm	357.760	Brandquelle (Szenario 2)
4	20 cm x 20 cm x 20cm	142.324	--
5	20 cm x 20 cm x 20cm	295.715	--
6	20 cm x 20 cm x 20cm	312.375	--
7	20 cm x 20 cm x 20cm	120.750	--
8	20 cm x 20 cm x 20cm	51.480	--
9	20 cm x 20 cm x 20cm	82.368	--
10	20 cm x 20 cm x 20cm	58.800	--
11	20 cm x 20 cm x 20cm	86.625	--
Summe		$\Sigma = 2.213.405$	

Tabelle 4: Tabellarische Aufstellung der Meshes

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

2.5 Modellierung der brandschutztechnischen Infrastruktur

Im Rahmen dieser Untersuchung sind im Objekt die im Folgenden beschriebenen Einrichtungen der brandschutztechnischen Infrastruktur vorhanden, die Einfluss auf die Brandsimulation nehmen.

Einrichtung	Relevant	Nicht relevant
Brandmeldeanlage	In dem Objekt wird in den Technikbereichen eine flächendeckende Brandmeldeanlage vorgesehen.	--
Alarmierungsanlage	In den öffentlichen Bereichen wird die Alarmierung durch die Lautsprecher (Durchsageanlagen) sichergestellt.	--
Fluchtwegpiktogramme	In den Technikfluren werden Piktogramme vorgesehen. In den öffentlichen Bereichen sind Ausgangshinweise vorhanden.	--
Sprinkleranlage	--	Im Objekt ist keine Sprinkleranlage vorgesehen.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3 Ergebnisse der Simulationen

3.1 Ergebnisse der Brandsimulationen

Die Rechenergebnisse der numerischen Feldmodellberechnungen lassen sich anschaulich in Form von farbigen Schnitten durch das Simulationsvolumen bzw. durch das Rechengitter darstellen. Die zeitliche Entwicklung der untersuchten Brandphänomene wird in vergleichbaren Zeitschritten für die folgenden Parameter dargestellt:

- Extinktionskoeffizient **[ext]** bzw. optische Dichte unter Einfluss von Brandrauch
- Strömungsgeschwindigkeiten **[vel]** von Ein- und Ausströmvorgängen
- Brandgastemperaturen **[temp]** im Simulationsvolumen
(Keine Auswertung von Flammentemperaturen oder Temperaturen innerhalb der Bauteilquerschnitte)

In der rechten oberen Ecke der Ergebnisschnitte ist die dem dargestellten Parameter zugeordnete Abkürzung dargestellt. Die Darstellung erfolgt differenziert nach den festgelegten Szenarien.

Die relevanten Grenzwerte (z.B. ext_coef_Soot 0.3) sind im Bereich des erläuternden Farbbalkens am rechten Rand durch rote Schrift und eine schwarze Markierung gekennzeichnet. Innerhalb der Schnitte werden die Bereiche der gekennzeichneten Grenzwerte mit schwarzen Konturen kenntlich gemacht.

Die Skalierung des Farbbalkens kann je nach Maximalwert unterschiedlich ausfallen. Daher lässt sich eine bestimmte Färbung nicht zwangsläufig immer demselben Zahlenwert zuordnen.

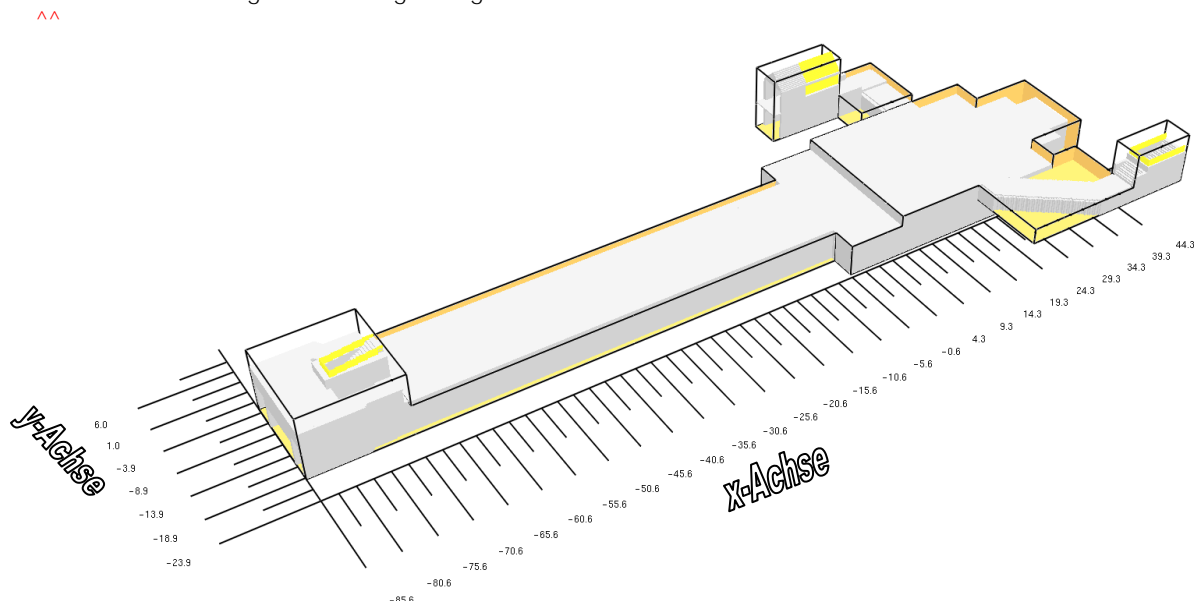


Abbildung 28: Koordinaten (x- und y-Achse) im geometrischen Modell für die U-Bahnstation

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

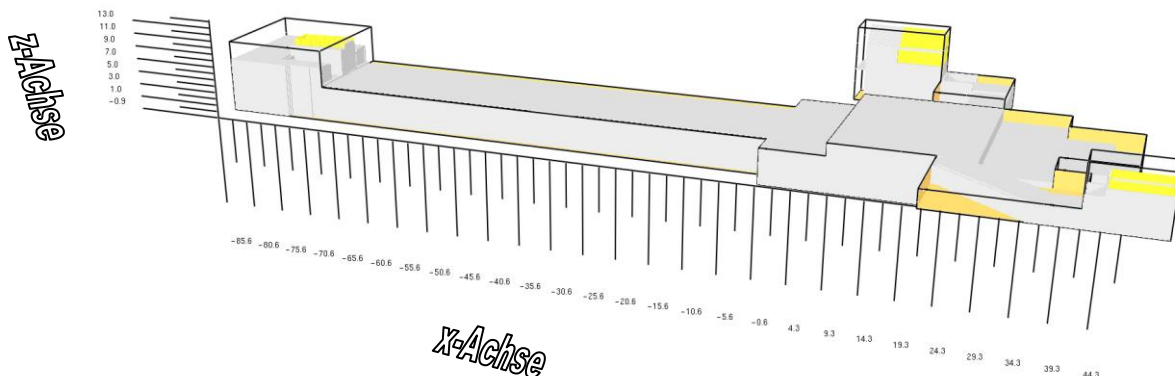
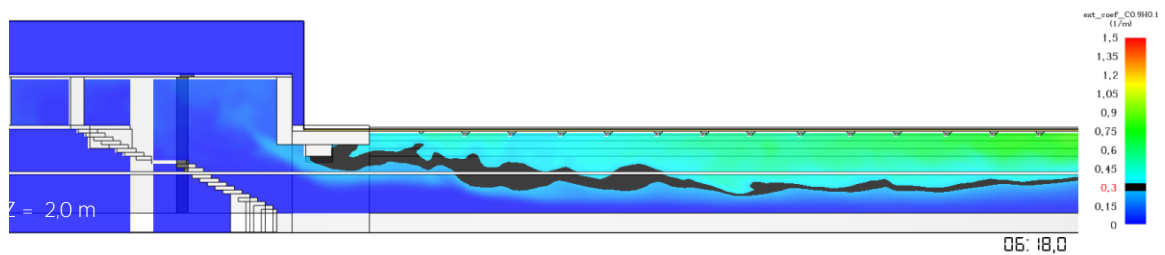


Abbildung 29: Koordinaten (x- und z-Achse) im geometrischen Modell für die U-Bahnstation

Im Beispiel ist eine Schnittebene zur Auswertung des Extinktionskoeffizienten dargestellt. In der rechten, oberen Ecke des Bildes wird kenntlich gemacht, um welche Auswertungsgröße es sich dabei handelt (hier: Slice = Schnitt; ext_coef = Extinktionskoeffizient; $1/m = m^{-1}$). Die Farbskala am rechten Bildrand zeigt die Zuordnung zu dem jeweiligen Extinktionskoeffizienten. Grenzwerte können auf der Skala schwarz markiert werden und zeigen sich dann im Schnitt ebenfalls schwarz (z.B. $0,3 m^{-1}$). Am unteren Bildrand findet sich die Simulationszeit (hier: ca. 6,3 Minuten).

Abbildung 30: Lage des vertikalen Auswerteschnittes im Modell ($y = -6,1 m$)

Aufgrund der Länge des Bahnsteiges wurde für eine einfache und nachvollziehbare Darstellung der Berechnungsergebnisse der vertikale Auswertungsschnitt halbiert und untereinander positioniert. Aufgrund dessen können die Schnittbilder vergrößert werden und demzufolge wird eine bessere Übersicht der Simulationsergebnisse ermöglicht. Eine Erläuterung der Schnitte erfolgt mithilfe einer Bewertungstabelle unterhalb der Darstellungen. Dabei Verläuft der Schnitt von links (obere Abbildung) nach rechts (untere Abbildung).

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

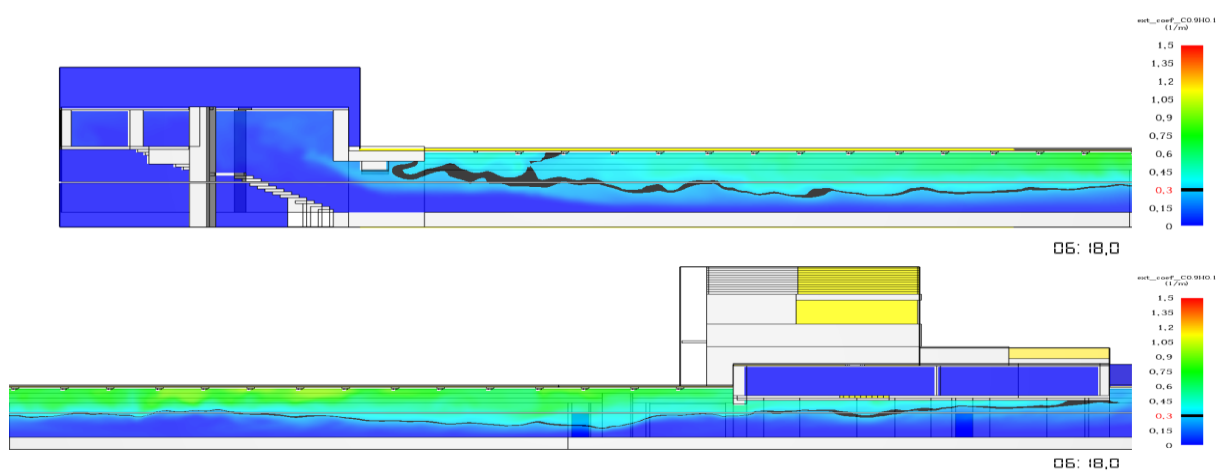


Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Simulationsergebnisse für einen Vertikalschnitt durch den Bahnsteig

Die Bewertungstabelle beinhaltet Kommentierungen und Bewertungen zu den jeweiligen Schnittbildern (Abbildung 32: Beispiel für eine Bewertungstabelle). Diese Tabelle stellt neben dem relevanten Schutzziel und einem Kommentar den aktuellen Status der Schutzzielerfüllung dar. Hierzu wird im rechten Tabellenbereich wie im folgenden Beispiel das Schutzziel in Form eines Ampelsystems in den Farben Grün, Orange und Rot markiert. Für eine detailliertere Auswertung werden zudem die Rauchabschnitte einzeln betrachtet.

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: Es sind keine kritischen Grenzwertüberschreitungen auf einer Höhe von 2,0 m über dem Boden vorhanden	Zeit: 01:00 min Selbstrettung
---	--	---

Abbildung 32: Beispiel für eine Bewertungstabelle

Für die Auswertung der Schutzziele werden die Betrachtungsebenen wie folgt abgekürzt:

- Bahnsteigebene: BE
- Schalterhalle 1 (westliche Verteilerebene): S I
- Schalterhalle 2 (östliche Verteilerebene): S II

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Die Bedeutung der jeweiligen Farbe, die zur Bewertung verwendet wird, ist in der nachfolgenden Tabelle erläutert.

Tabelle: Farbkennzeichnung zur Bewertung des Schutzziels in Abhängigkeit der jeweiligen Ebene

Markierung	Bedeutung	Bereich
Selbstrettung (grün)	Eine grüne Markierung weist darauf hin, dass keine kritischen Grenzwertüberschreitungen vorliegen.	Extinktionskoeffizient $\leq 0,3 \text{ m}^{-1}$
Selbstrettung (orange)	Eine orange Markierung weist darauf hin, dass der Grenzwert in relevanten Teilbereichen überschritten wird. Die Überschreitungen sind jedoch lediglich lokal und/oder zeitlich begrenzt vorhanden und das Schutzziel ist noch gewährleistet.	Extinktionskoeffizient $0,3 \text{ m}^{-1}$ zum Teil überschritten
Selbstrettung (rot)	Eine rote Markierung bedeutet, dass kritische Grenzwertüberschreitungen vorhanden sind, sodass die Erfüllung des Schutzziels nicht mehr gegeben ist.	Extinktionskoeffizient $> 0,3 \text{ m}^{-1}$

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.2 Ergebnisse der Räumungsberechnung (NFPA 130) der BVG

Bei dem Handrechenverfahren nach NFPA 130 ist eine graphische Darstellung und unmittelbare Gegenüberstellung der individuellen Personenverteilung mit den Brandsimulationsergebnissen nicht möglich. Hier können jedoch Zwischenzeiten berechnet werden, an denen bestimmte Räumungsfortschritte erreicht werden. Demnach richtet sich der Zeitpunkt der Auswertung der Brandsimulationsergebnisse an den berechneten Zwischenzeiten der Räumungsberechnung. Bei der Ermittlung der Zwischenzeiten wurde die längste Fahrzeit der Bahn (100 Sekunden) berücksichtigt.

Die folgenden Räumungszeitpunkte sind für eine Beurteilung nach den hier definierten Schutzziele relevant:

- **Zeitpunkt 1: 2,8 Minuten**
 - Nach 2,8 Minuten befindet sich die letzte Person im Stauungsbereich vor einer der Treppenaufgänge von der Bahnsteigebene in Richtung der Schalterhallen.
- **Zeitpunkt 2: 6,1 Minuten**
 - Zu diesem Zeitpunkt betritt die letzte Person auf der Bahnsteigebene den Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle.
- **Zeitpunkt 3: 6,3 Minuten**
 - Die letzte Person betritt die Schalterhalle aus Richtung Bahnsteigebene. Aufgrund der vorangegangenen Kapazitätsanalyse der Treppenaufgänge, welche von der Bahnsteigebene in Richtung der Schalterebenen führen, ist der Zeitpunkt an dem die letzte Person die jeweilige Schalterhalle betritt gleich.
- **Zeitpunkt 4: 6,8 Minuten**
 - Nach 6,8 Minuten befindet sich die letzte Person in der Schalterhalle 2 im Stauungsbereich vor dem Treppenaufgang ins Freie.
 - In der Schalterhalle 1 werden die Personen bereits nach 0,2 Minuten den Treppenaufgang aufgrund der geringeren Wegstrecke erreicht haben. Demzufolge ergibt sich hier eine Zwischenzeit von 6,5 Minuten für die Schalterhalle. Die nachfolgenden Zwischenzeiten verschieben sich analog um ca. 0,3 Minuten nach vorne.
- **Zeitpunkt 5: 8,9 Minuten**
 - Auf der Schalterhalle befinden sich keine Personen mehr. Die letzte Person hat den Treppenaufgang von der Schalterhalle ins Freie betreten.
- **Zeitpunkt 6: 9,4 Minuten**
 - Der U-Bahnhof ist geräumt. Zudem befinden sich die letzten Personen 10 m von den jeweiligen Treppenaufgängen entfernt, da diese Gehzeit in der Berechnung berücksichtigt wurde.

Die Berechnungen der BVG liegen als Anhang dem Gutachten bei.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.3 Auswertung Szenario 1 – Fahrzeug in Bahnsteigmitte

3.3.1 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 2,8 Minuten

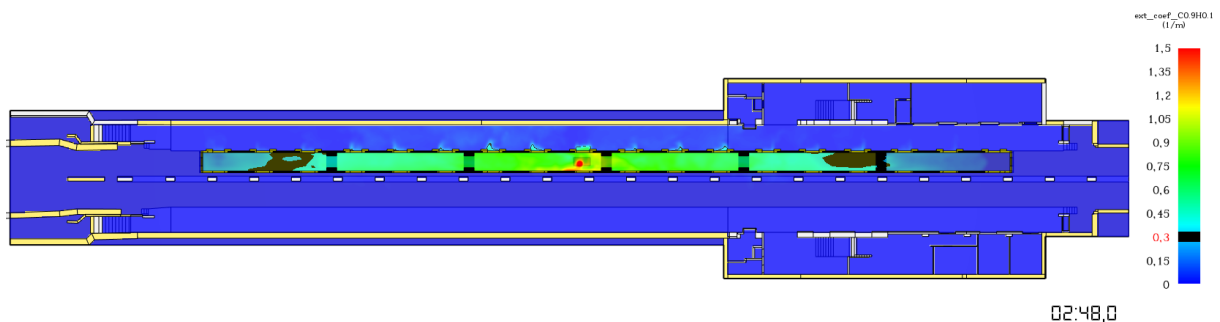


Abbildung 33: Szenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

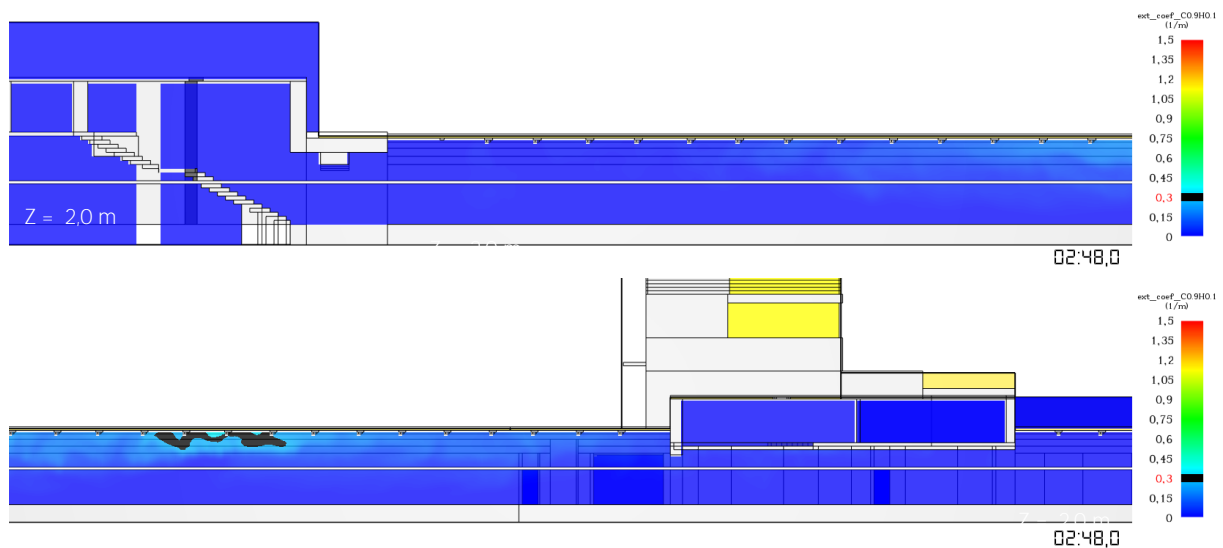


Abbildung 34: Szenario 1 – Vertikalschnitt y = -6,1 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

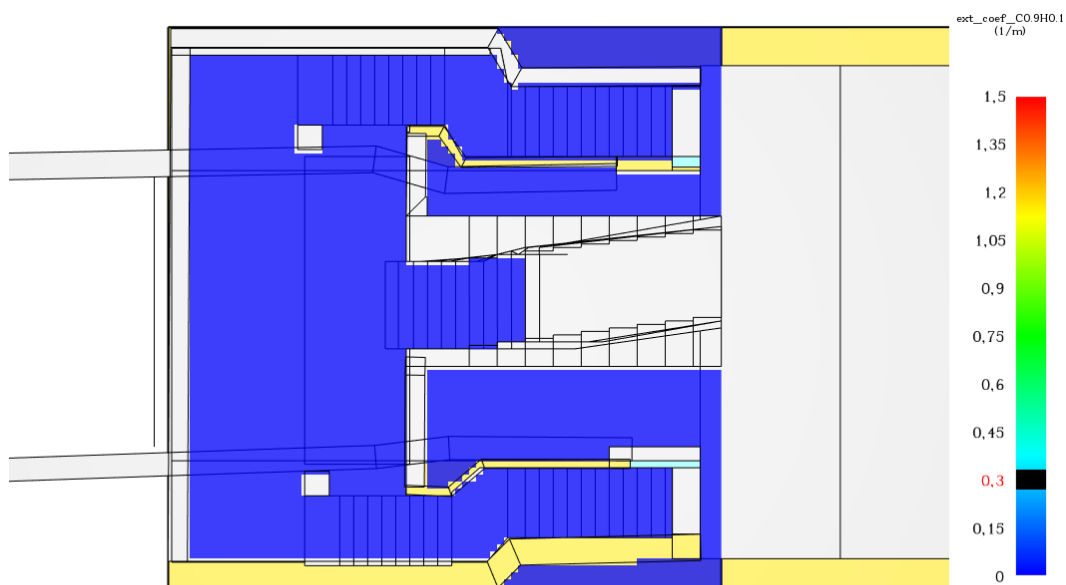
Beurteilung und ggf. Kommentar:

Nach ca. 2,8 Minuten haben bereits alle Personen mit der Räumung begonnen. Die Personen befinden sich alle vor den Stauungsbereichen vor den Treppenaufgängen. Zu diesem Zeitpunkt wird die Schutzzielhöhe der raucharmen Schicht von 2,0 m nicht unterschritten.

**Selbstrettung
Bahnsteig**

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle



02:48,0

Abbildung 35: Szenario 1 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

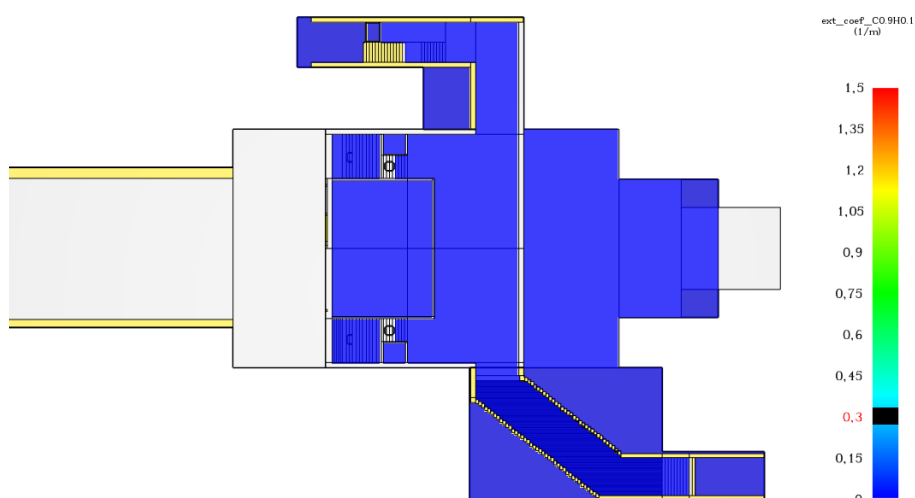
Beurteilung und ggf. Kommentar:

In der Schalterhalle I sind noch keine Rauchgase vorgedrungen.

Selbstrettung
SI

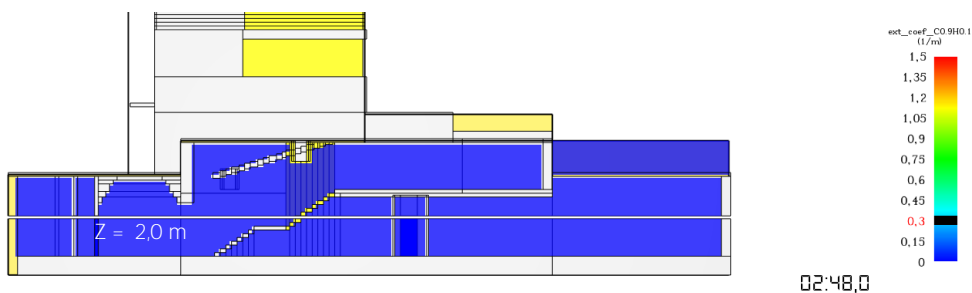
Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle



02:48,0

Abbildung 36: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene



02:48,0

Abbildung 37: Szenario 1 – Schalterhalle II – Vertikalschnitt y = -3,1 m

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Die Schalterhalle II sowie der Treppenaufgang sind zu diesem Zeitpunkt frei von Rauchgasen.

Selbstrettung
S II

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.3.2 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,1 Minuten

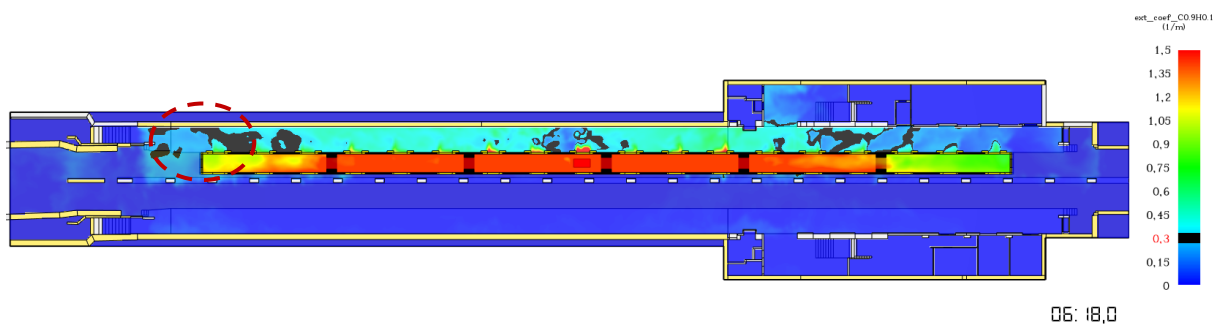


Abbildung 38: Szenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

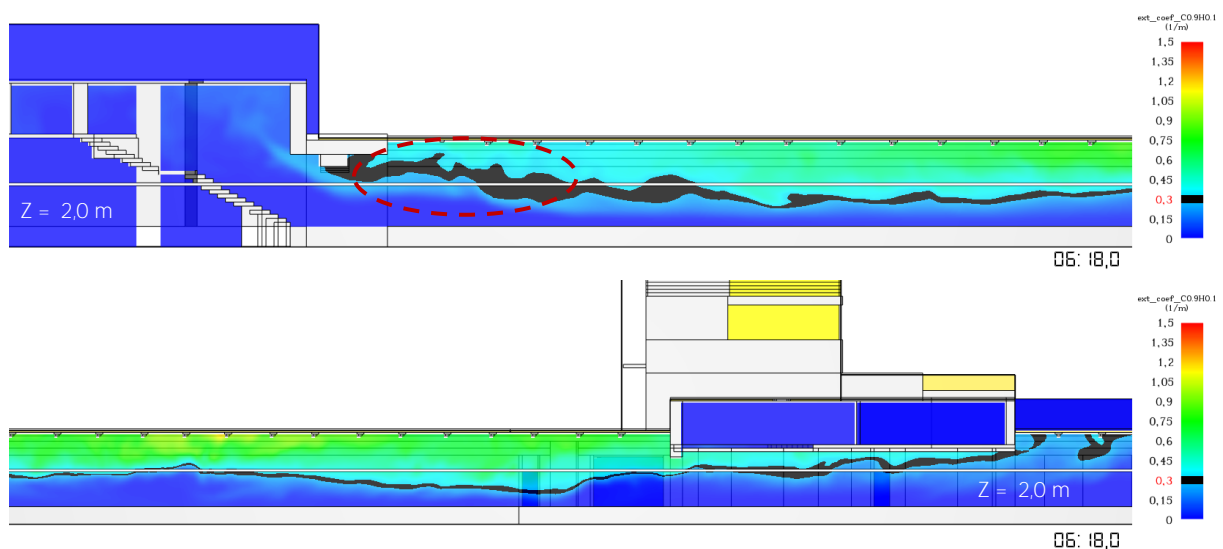


Abbildung 39: Szenario 1 – Vertikalschnitt y = -6,1 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Die letzte Person hat den Treppenaufgang in Richtung der Schalterhallen betreten. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich keine Person mehr auf der Bahnsteigebene. Es ist zu erkennen, dass sich lokal eng begrenzte Rauchgasansammlungen an den Treppenaufgängen angesammelt haben. Diese haben jedoch aufgrund des geringen Umfangs keine Auswirkungen auf das Schutzziel Selbstrettung. Keine Personen mussten während des Simulationszeitraumes durch diese Ansammlungen hindurch laufen.

**Selbstrettung
Bahnsteig**

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

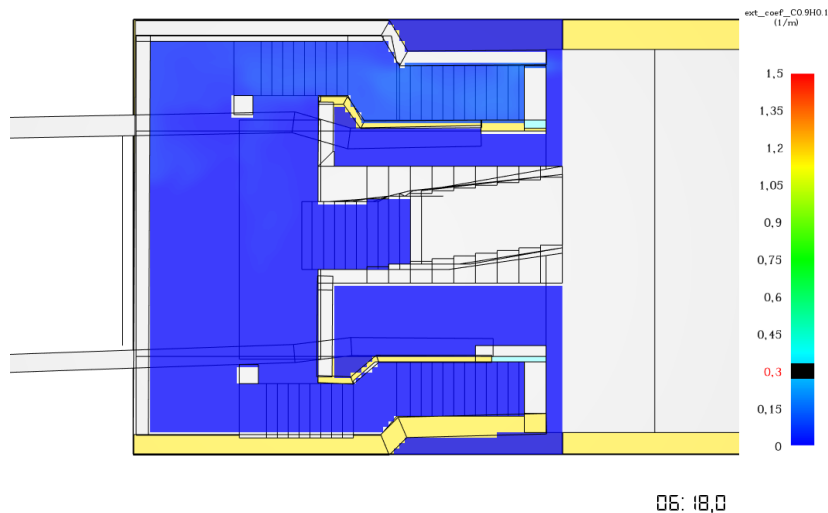


Abbildung 40: Szenario 1 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: Die ersten Rauchgase dringen in die Schalterhalle I vor. Jedoch handelt es sich dabei um Rauchgase in einer unkritischen Konzentration.	Selbstrettung SI
---	---	-----------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

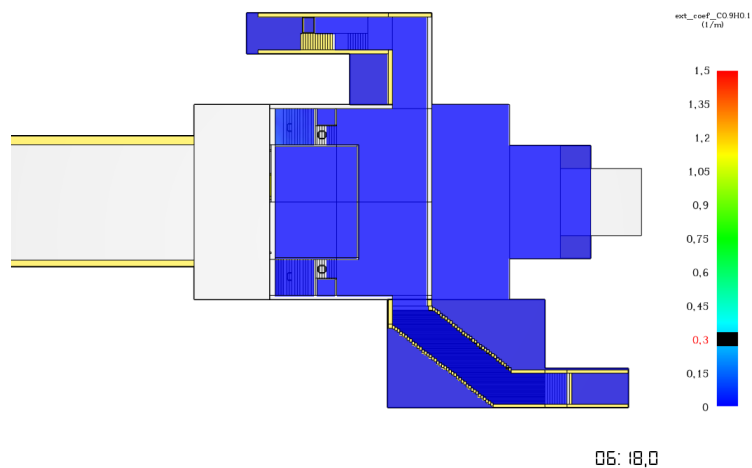


Abbildung 41: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

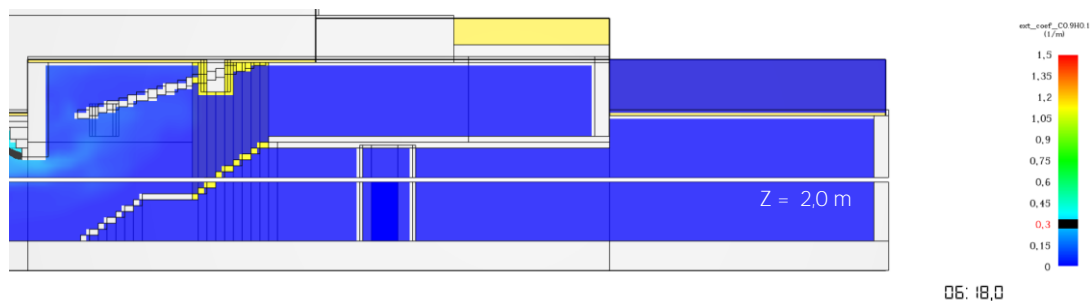


Abbildung 42: Szenario 1 – Schalterhalle II – Vertikalschnitt y = -3,1 m

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

In die Schalterhalle II sind zu diesem Zeitpunkt weiterhin keine Rauchgase eingedrungen.

Selbstrettung
SI

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.3.3 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,8 Minuten

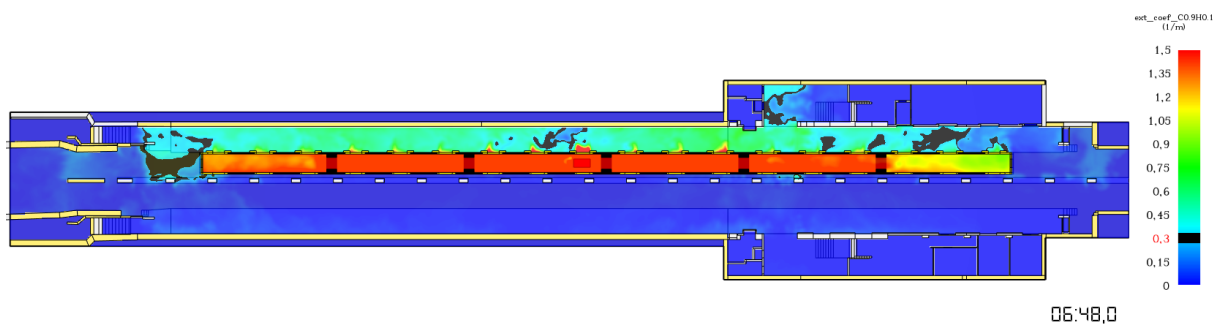


Abbildung 43: Szenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

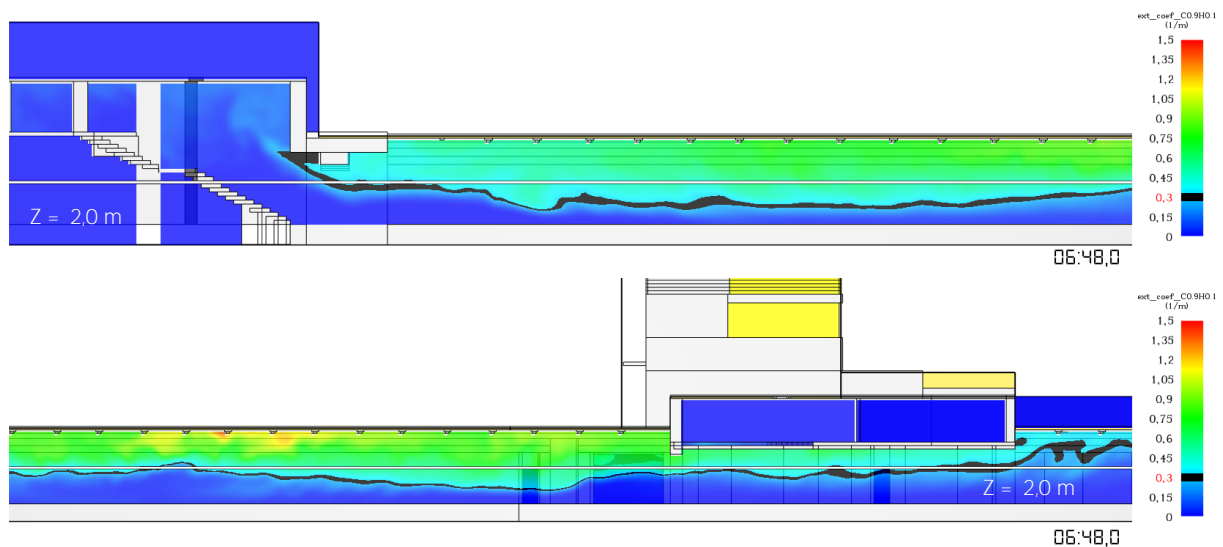


Abbildung 44: Szenario 1 – Vertikalschnitt y = -6,1 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Die Bahnsteigebene gilt zu diesem Zeitpunkt mit Berücksichtigung der Treppenaufgänge in Richtung der Schalterhallen als vollständig geräumt. Die Rauchgasansammlung vor den Treppenaufgängen vergrößern sich zunehmend sinken unter die kritische Höhe von 2,0 m über dem Boden. In den Treppenaufgang zu Schalterhalle I dringend die ersten Rauchgase ein ohne dabei die Grenzwerte zu überschreiten.

**Schutzziel
(Bahnsteig)
eingehalten**

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

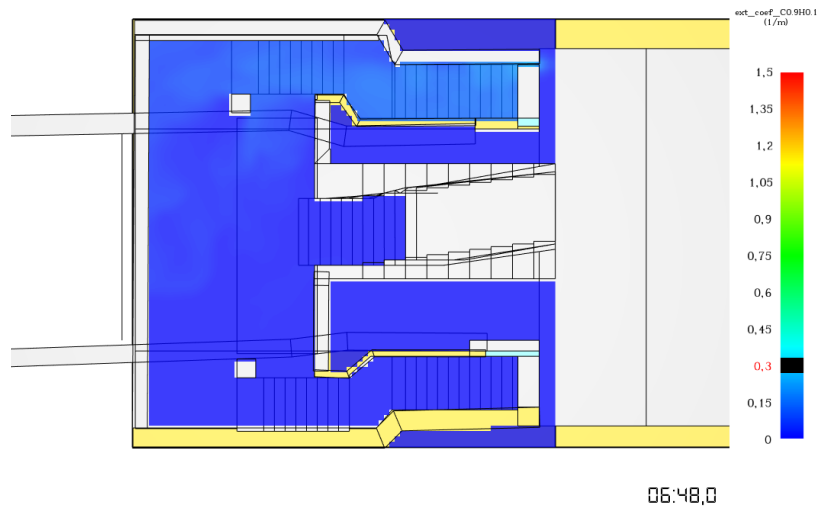


Abbildung 45: Szenario 1 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Weiterhin sind keine erhöhten Rauchgaskonzentrationen zu erkennen.

Selbstrettung
SI

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

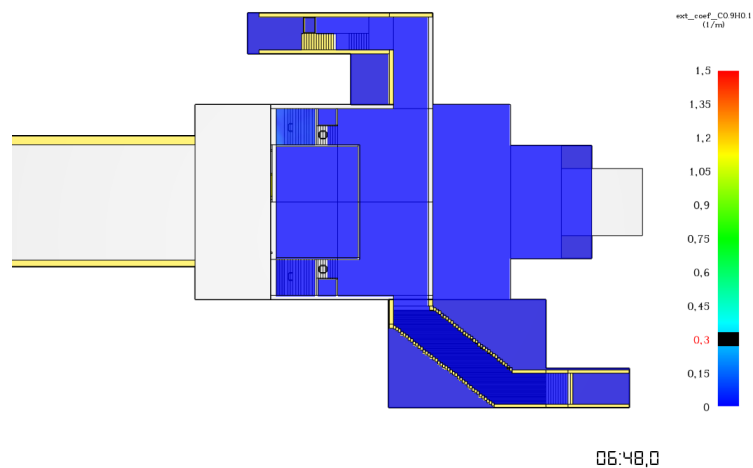


Abbildung 46: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

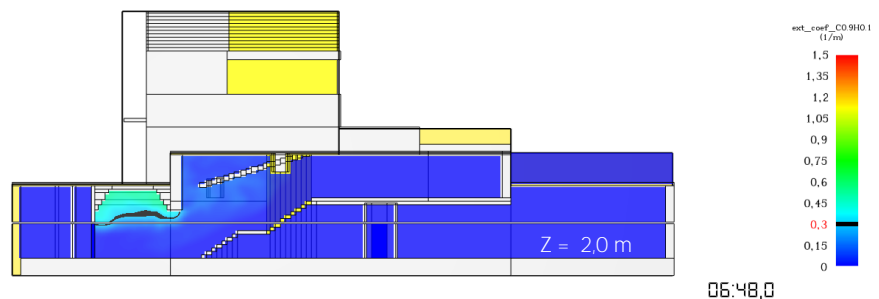


Abbildung 47: Szenario 1 – Schalterhalle II – Vertikalschnitt y = -3,1 m

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach wie vor sind keine Rauchgase bis in die Schalterhalle II vorgedrungen. Es stauen sich Rauchgase mit erhöhter Konzentration im Deckenbereich vor dem Treppenaufgang.	Selbstrettung SI
---	--	-----------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.3.4 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 8,9 Minuten

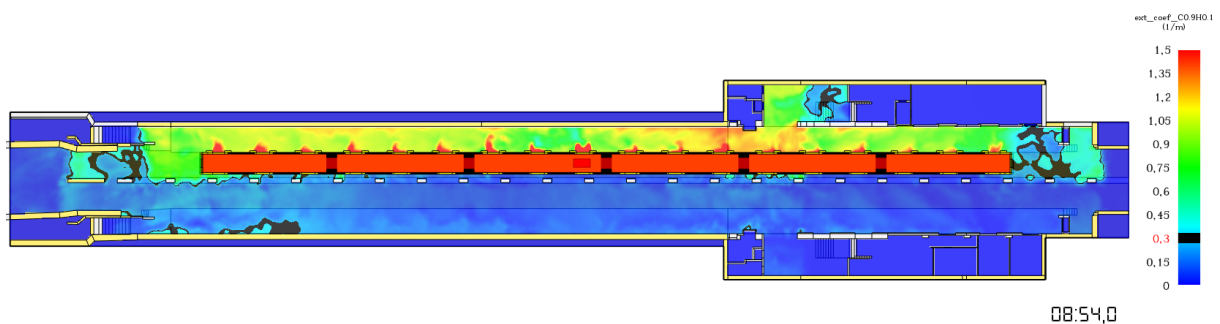


Abbildung 48: Szenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

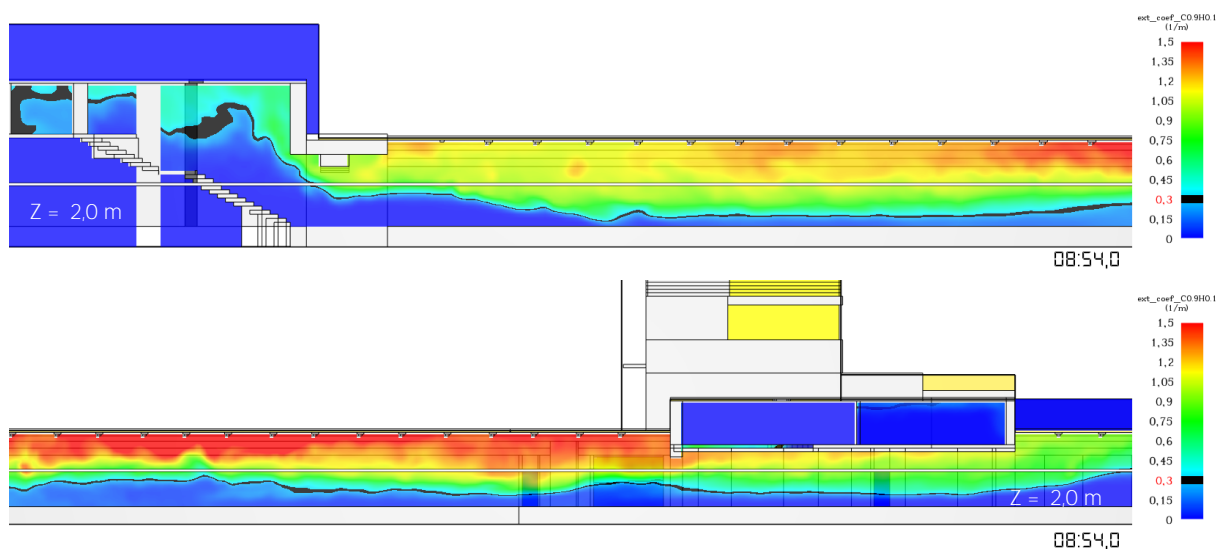


Abbildung 49: Szenario 1 – Vertikalschnitt y = -6,1 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Zu diesem Zeitpunkt haben die letzten Personen die Treppenaufgänge ins Freie betreten. Die Bahnsteigebene weist vollflächig erhöhte Rauchgaskonzentrationen unterhalb der Schutzhöhe von 2,0 m über dem Boden auf. Der Treppenaufgang zur Schalterhalle I ist mittlerweile ebenfalls kritisch verraucht.

**Schutzziel
(Bahnsteig)
eingehalten**

Datum 02.12.2021
Projektnummer T-00109
Status Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

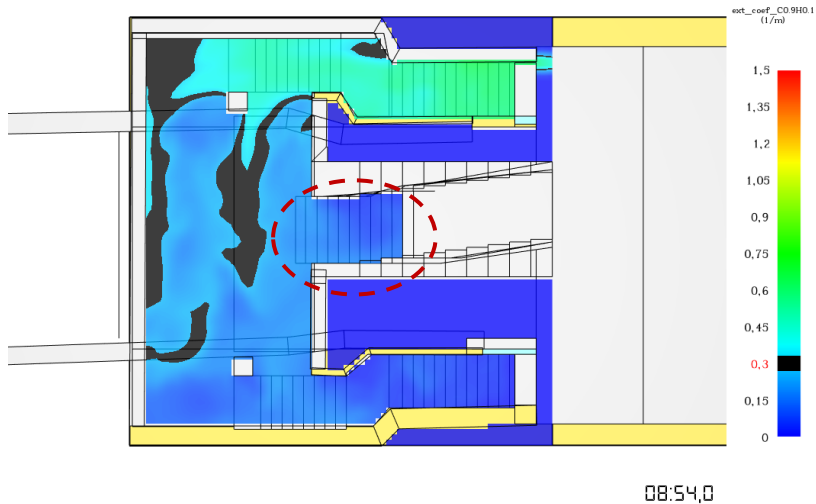


Abbildung 50: Szenario 1 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Beurteilung und ggf. Kommentar: Der nördliche Bereich der Schalterhalle I weist flächendeckend Grenzwertüberschreitungen auf. Im südlichen Bereich hingegen sind keine Grenzwertüberschreitungen auf der Schutzhöhe von 2,0 m vorhanden. Der Treppenaufgang ins Freie ist dabei weiterhin begehbar und weist keine erhöhten Rauchgaskonzentrationen auf.	Selbstrettung SI
--	--	-------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

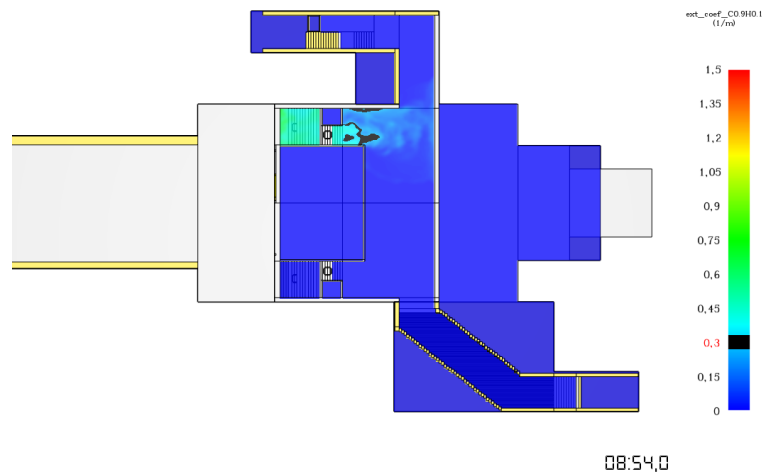


Abbildung 51: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

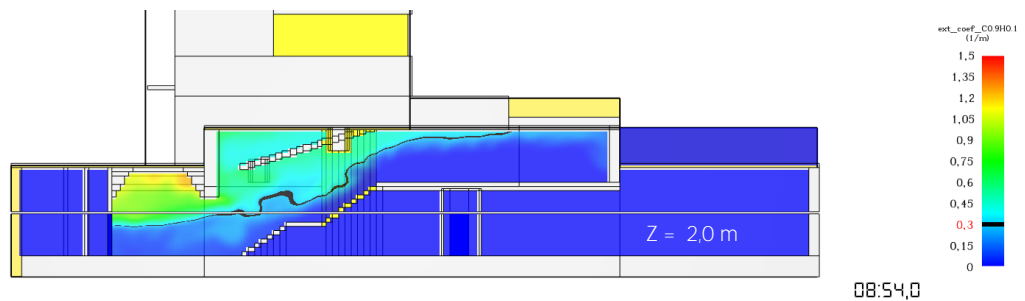


Abbildung 52: Szenario 1 – Schalterhalle II – Vertikalschnitt y = -3,1 m

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Die ersten Rauchgase in einer kritischen Konzentration dringen in die Schalterhalle II vor. Aufgrund der nicht vorhandenen Stauungen vor den Treppenaufgängen ins Freie haben bereits alle Personen aus dieser Schalterhalle das Freie betreten.

**Selbstrettung
S II**

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.3.5 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 9,4 Minuten

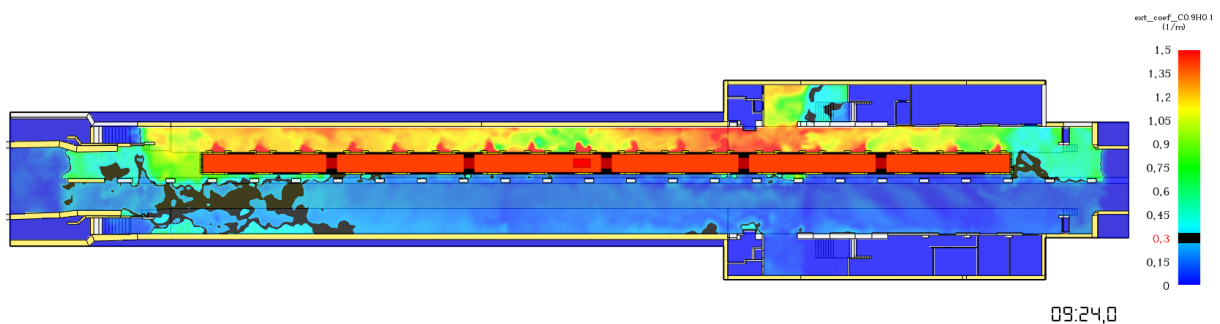


Abbildung 53: Szenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

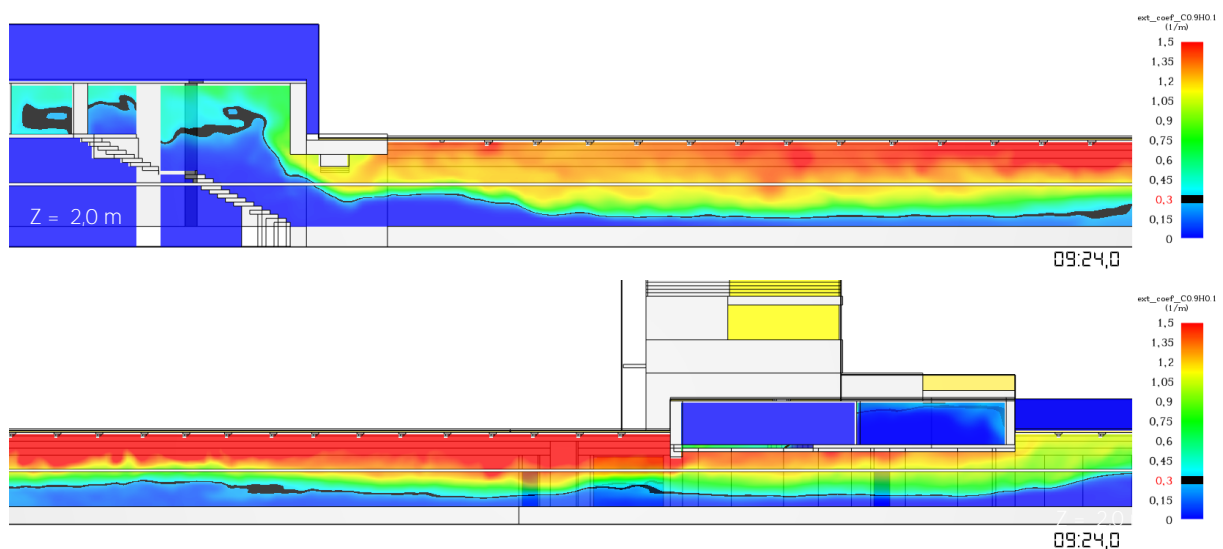


Abbildung 54: Szenario 1 – Vertikalschnitt y = -6,1 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

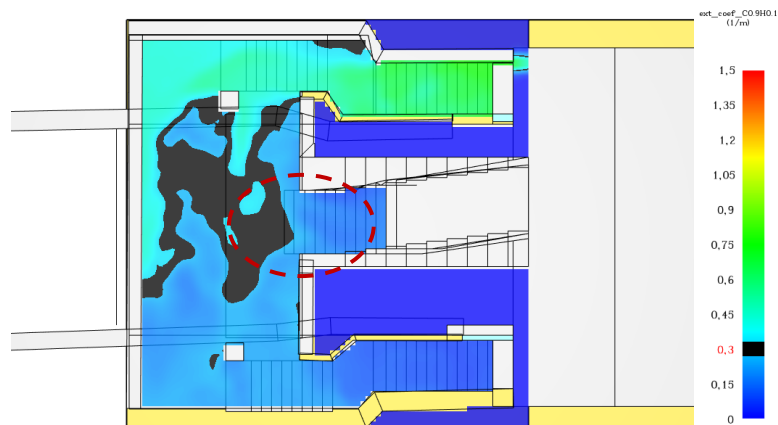
Beurteilung und ggf. Kommentar:

Die Bereiche der Grenzwertüberschreitung weiten sich weiter aus. Die Räumung der U-Bahnstation ist zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen.

**Schutzziel
(Bahnsteig)
eingehalten**

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle



09:24,0

Abbildung 55: Szenario 1 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Die letzte Person befindet sich zu diesem Zeitpunkt nicht nur außerhalb der Station, sondern bereits 10 m von einem Treppenaufgang entfernt. Der Bereich vor dem Treppenaufgang ins Freie weist mittlerweile kritische Rauchgaskonzentrationen in schutzzielrelevanter Höhe auf.

**Schutzziel
(SI)
eingehalten**

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

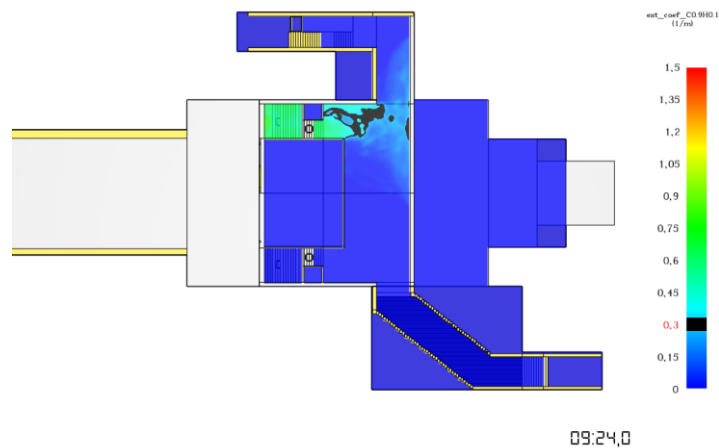


Abbildung 56: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

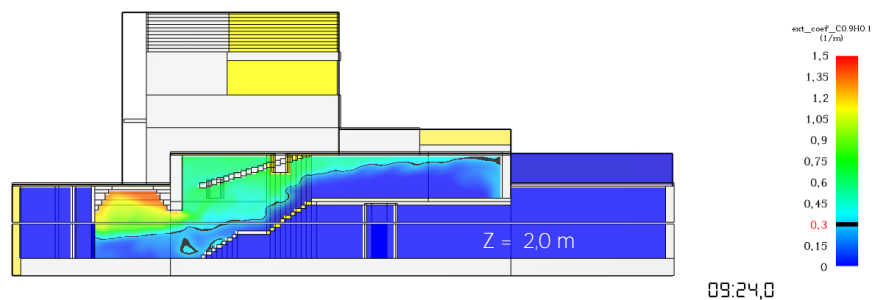


Abbildung 57: Szenario 1 – Schalterhalle II – Vertikalschnitt y = -3,1 m

Schutzziel Selbstrettung:

Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

In den Bereichen des Treppenaufgangs (aus Richtung Bahnsteigebene) vergrößern sich die Bereiche mit einer kritischen Konzentration. Dennoch sind die große Bereiche der Schalterhalle sowie die Treppenaufgänge ins Freie nach wie vor rauchgasfrei.

**Schutzziel
(SID)
eingehalten**

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.3.6 Szenario 1 – Temperatur- und Strömungszustand

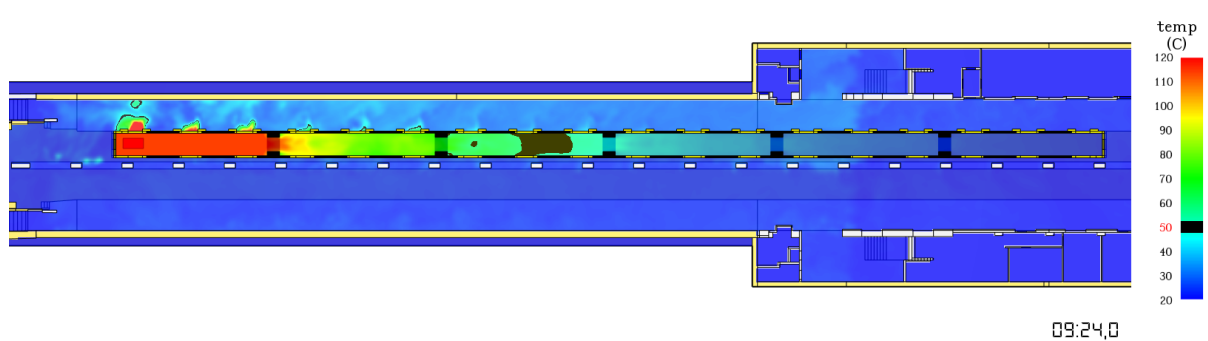


Abbildung 58: Rauchgastemperaturen – Horizontalschnitt z = 2,0 m – nach 9,4 Minuten

Schutzziel: Selbstrettung Rauchgastemperatur < 50 °C	Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach Räumung der U-Bahnstation sind lediglich in einem eng begrenzten Bereich in unmittelbarer Nähe zu der Brandquelle Grenzwertüberschreitungen erkennbar. Demzufolge kann das Schutzziel Selbstrettung, bezogen auf eine kritische Rauchgastemperatur von 50 °C, über den gesamten Zeitraum gewährleistet werden. Auf den Schalterhallen treten ebenfalls keine erhöhten Temperaturen unter der Schutzhöhe von 2,0 m auf.	Schutzziele eingehalten
---	---	--------------------------------

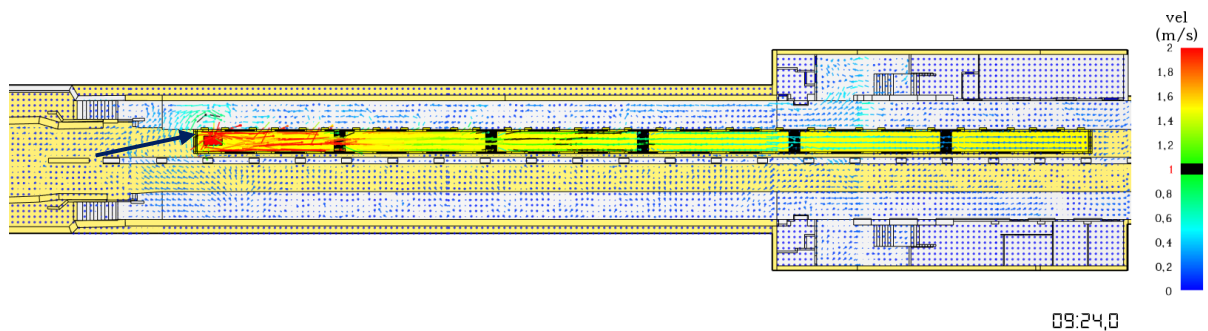


Abbildung 59: Strömungssituation nach 9,4 Minuten – Horizontalschnitt z = 2,0 m

Beurteilung und ggf. Kommentar: In dem Schnittbild sind lediglich moderate Strömungsgeschwindigkeiten (Zuluftströmung) im Brandnahbereich erkennbar.
--

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4 Auswertung Szenario 2 – Fahrzeug am Drittelpunkt der Bahnsteigebene

3.4.1 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 2,8 Minuten

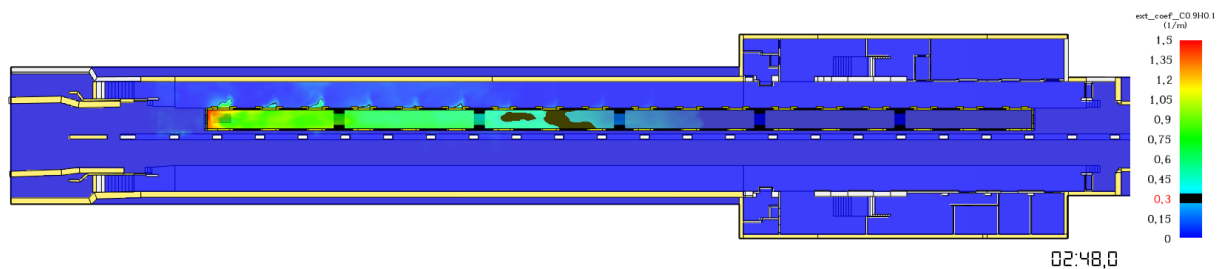


Abbildung 60: Szenario 2 - Horizontalschnitt $z = 2,0 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Bahnsteigebene

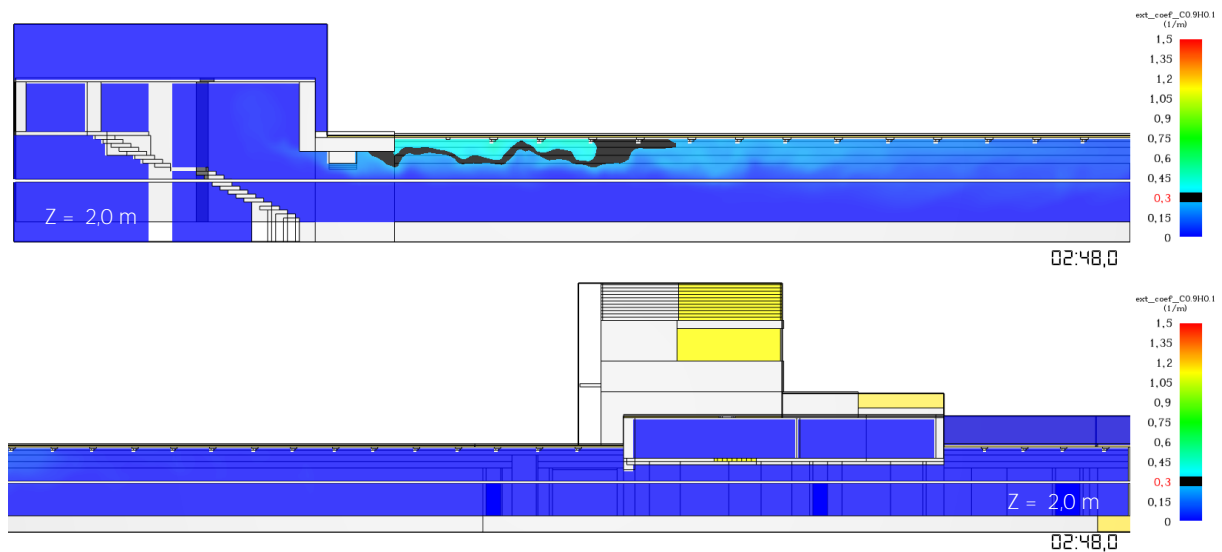


Abbildung 61: Szenario 2 – Vertikalschnitt $y = -6,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:
Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:

Nach ca. 2,8 Minuten haben bereits alle Personen mit der Räumung begonnen. Die Personen befinden sich alle vor den Stauungsbereichen vor den Treppenaufgängen. Zu diesem Zeitpunkt wird die Schutzzielhöhe der raucharmen Schicht von 2,0 m nicht unterschritten.

**Selbstrettung
Bahnsteig**

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

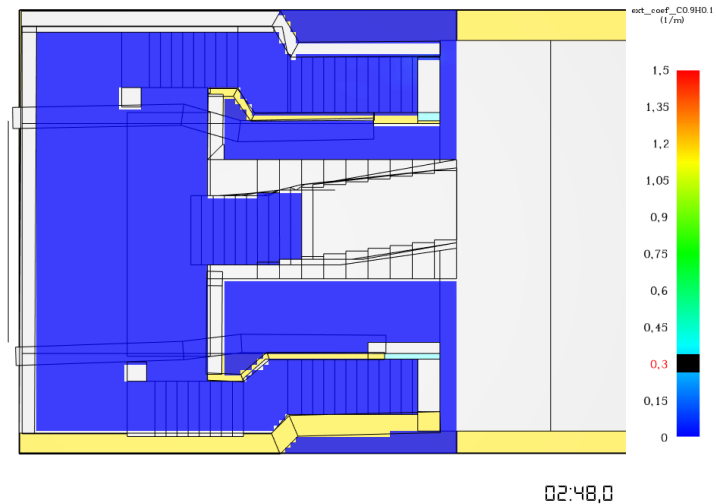


Abbildung 62: Szenario 2 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>In die Schalterhalle I sind noch keine Rauchgase vorgedrungen.</i>	Selbstrettung SI
---	---	-----------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

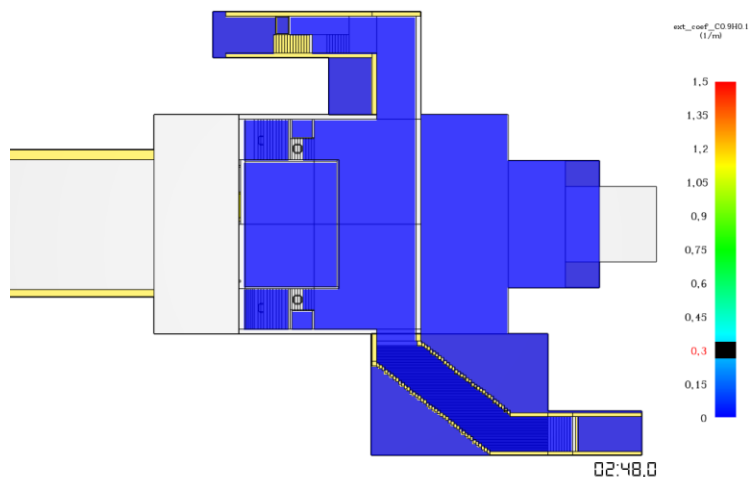


Abbildung 63: Szenario 2 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

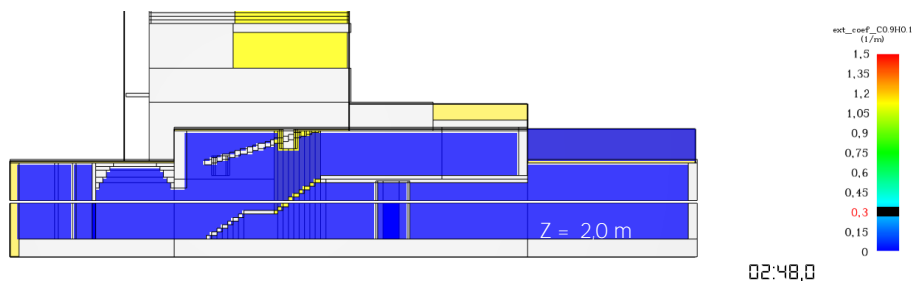


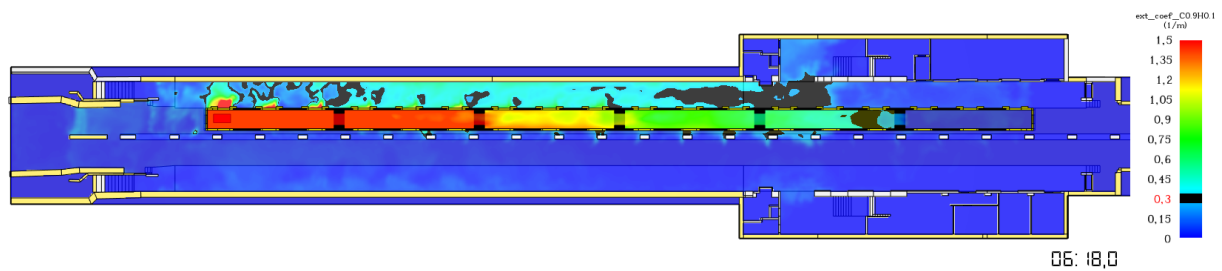
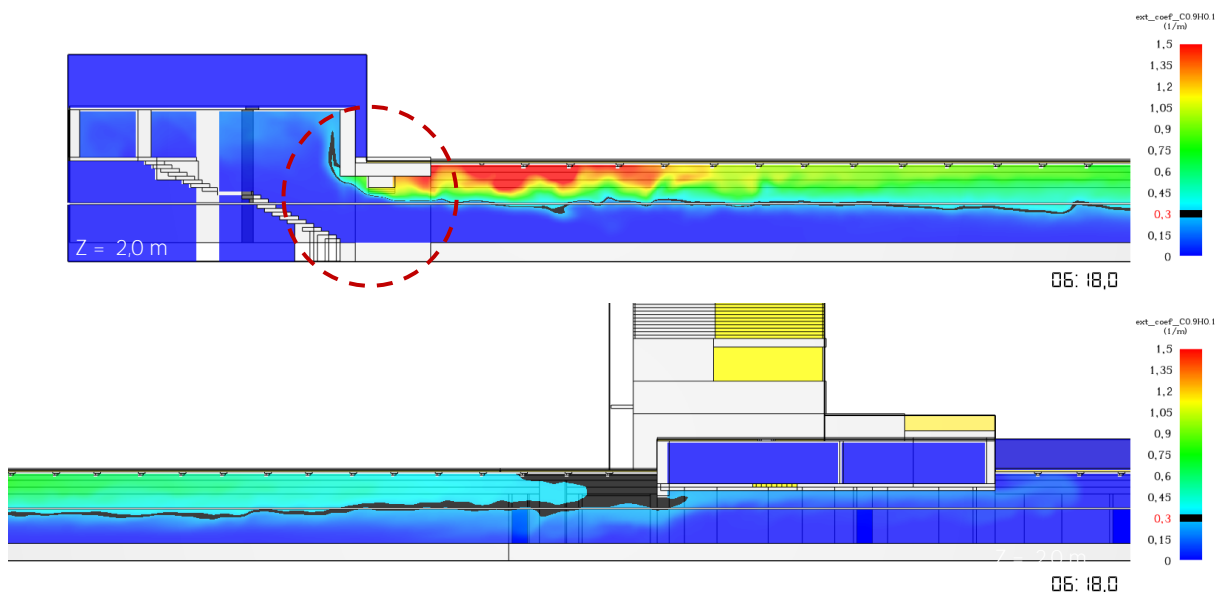
Abbildung 64: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt y = -3,1m – 2,0 m

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Die Schalterhalle II ist zu diesem Zeitpunkt frei von Rauchgasen. Der Treppenaufgang ist ebenfalls rauchfrei.</i>	Selbstrettung S II
---	--	-------------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4.2 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,1 Minuten

Abbildung 65: Szenario 2 - Horizontalschnitt $z = 2,0 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der BahnsteigebeneAbbildung 66: Szenario 2 – Vertikalschnitt $y = -6,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person hat den Treppenaufgang in Richtung der Schalterhallen betreten. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich keine Person mehr auf der Bahnsteigebene. Im Deckenbereich haben sich bereits Rauchgase mit erhöhten Rauchgaskonzentrationen angesammelt, welche lokal knapp die Höhe von 2,0 m über dem Boden unterschreiten. Es strömen erste Rauchgase mit erhöhten Konzentrationen in den Treppenaufgang. Aufgrund der hohen lichten Höhe der Decke, wird jedoch die Schutzhöhe von 2,0 m über dem Boden nicht unterschritten.	Selbstrettung Bahnsteig
---	--	--------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

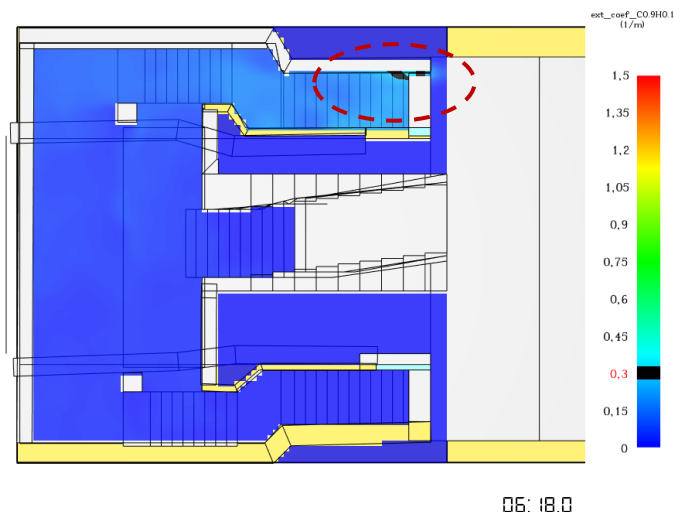


Abbildung 67: Szenario 2 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Zu diesem Zeitpunkt betritt die letzte Person den Treppenaufgang. Die ersten Rauchgase dringen in die Schalterhalle I vor ohne dabei kritische Konzentrationen zu erreichen. Die lokale Überschreitung, welche im Bereich der Treppe zu erkennen ist, befindet sich aufgrund der hohen lichten Deckenhöhe im oberen Deckenbereich, sodass die Selbstrettung nicht gefährdet wird.</i>	Selbstrettung SI
---	--	-----------------------------------

Datum 02.12.2021 Projektnummer T-00109 Status Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

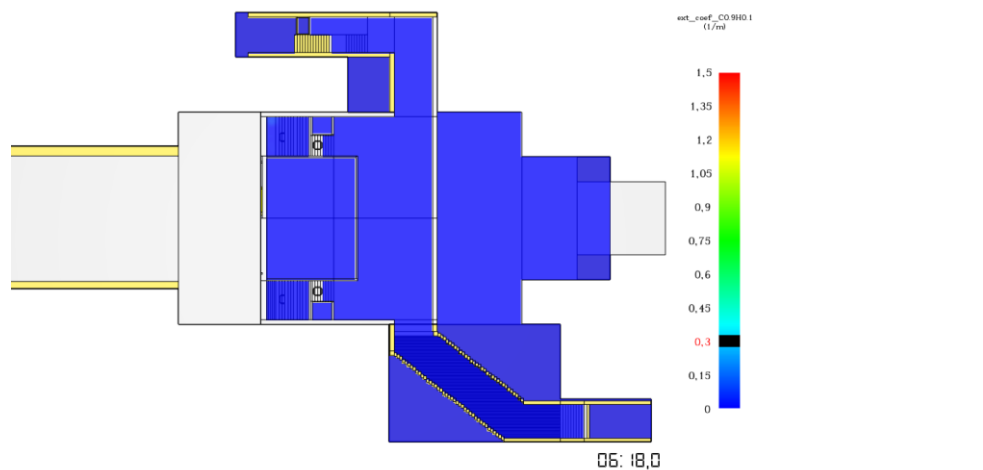


Abbildung 68: Szenario 2 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

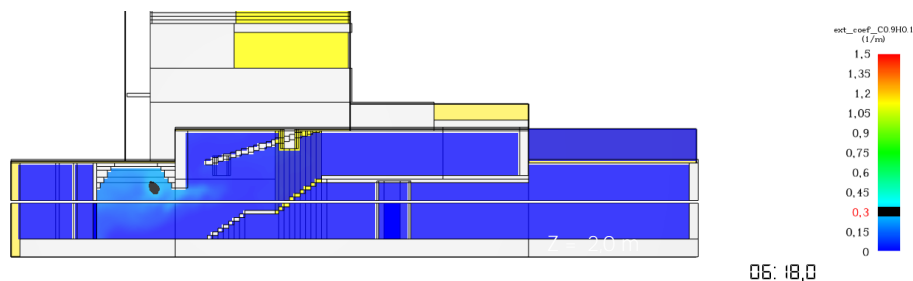


Abbildung 69: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt y = -3,1m – 2,0 m

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Weiterhin dringen keine Rauchgase in die Schalterhalle II vor. Im Bereich des Treppenaufgangs ist lokal eine erhöhte Rauchgaskonzentration zu erkennen, ohne dabei die Schutzhöhe von 2,0 m über dem Boden zu unterschreiten.</i>	Selbstrettung S II
---	--	---------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4.3 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,8 Minuten

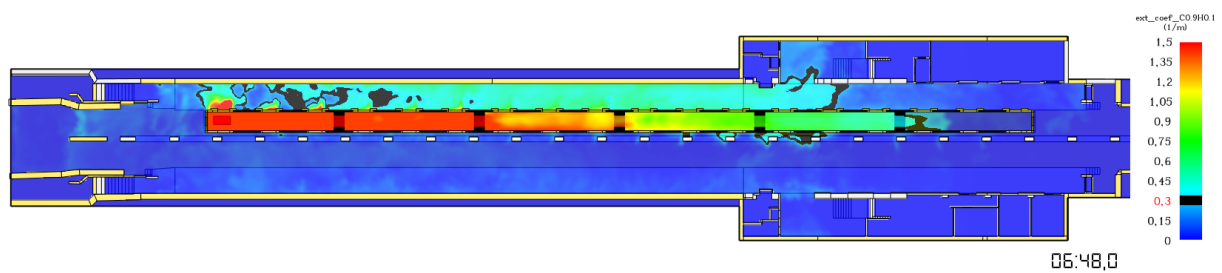


Abbildung 70: Szenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

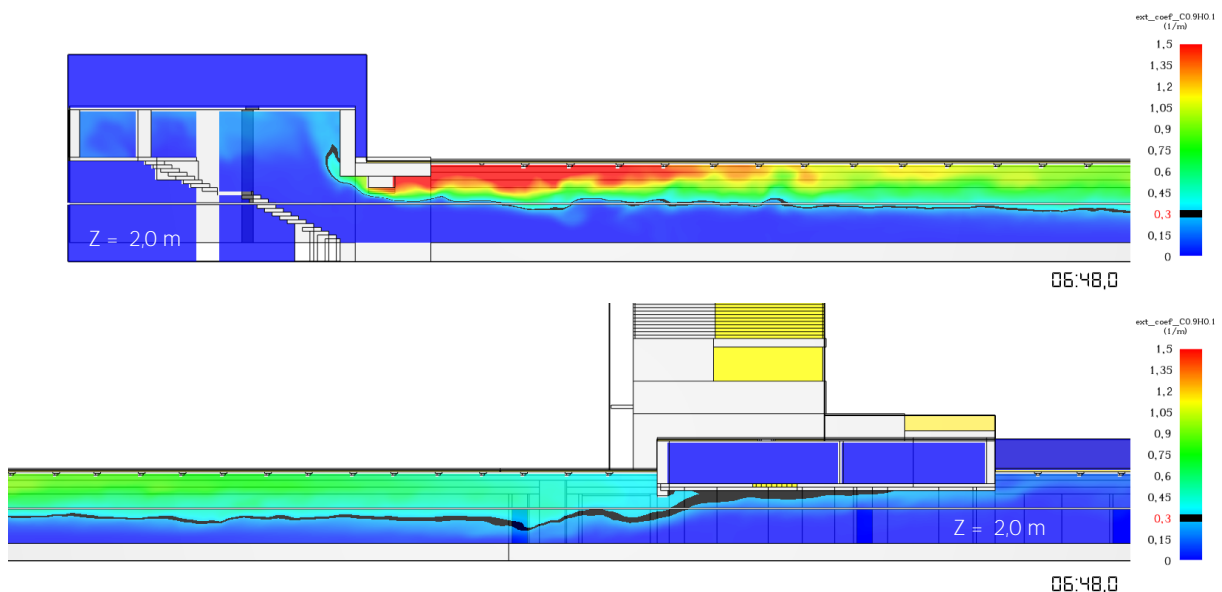


Abbildung 71: Szenario 2 – Vertikalschnitt y = -6,6 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

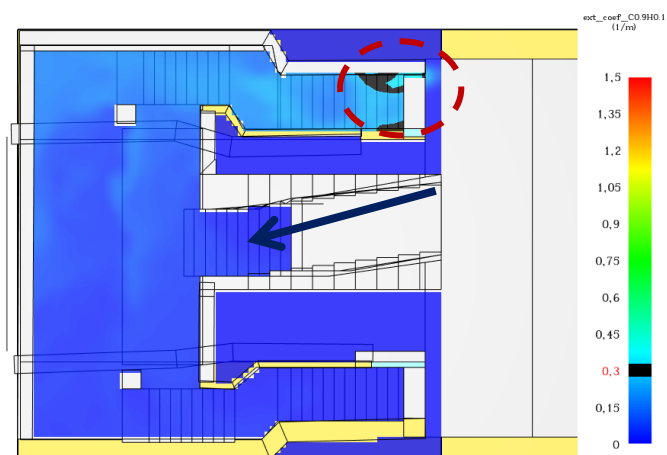
Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Weiterhin kann das Schutzziel gewährleistet werden. Dabei gilt zu diesem Zeitpunkt die Räumung der Bahnsteigebene als abgeschlossen. Bei der Grenzwertüberschreitung vor dem Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle I ist zu erkennen, dass die Rauchgase lediglich geringfügig unter die Schutzzielhöhe sinken. Nach der Definition des Schutzziels, ist im Mittel eine raucharme Schicht von 2,0 m über dem Boden nachzuweisen. Demzufolge kann durch die geringe Ausdehnung und die geringe Unterschreitung das Schutzziel eingehalten werden.</i>	Schutzziel (Bahnsteig) eingehalten
---	--	---

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle



05:48,0

Abbildung 72: Szenario 2 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Die letzten Personen stauen sich vor dem Treppenaufgang der Schalterhalle I ins Freie (schwarzer Pfeil). Die ersten kritischen Rauchgase beginnen in die Schalterhalle vorzudringen (rote Markierung).</i>	Selbstrettung SI
---	---	-----------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

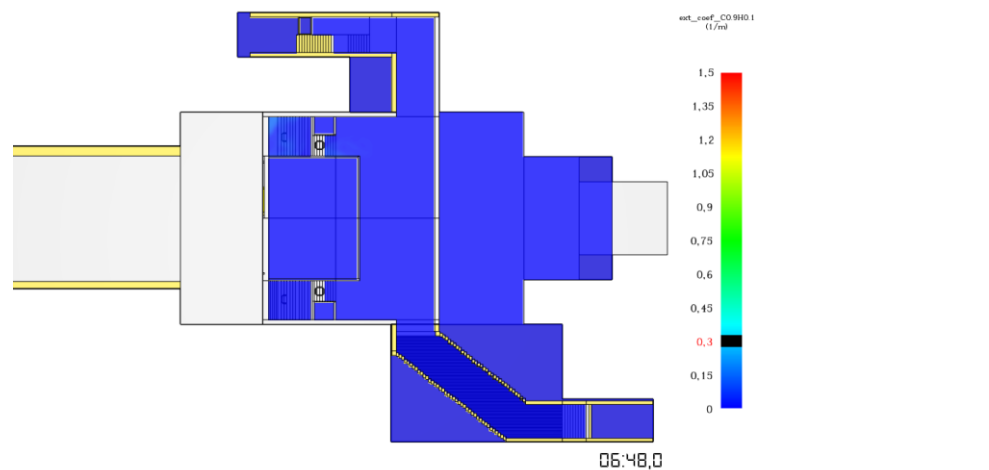


Abbildung 73: Szenario 2 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

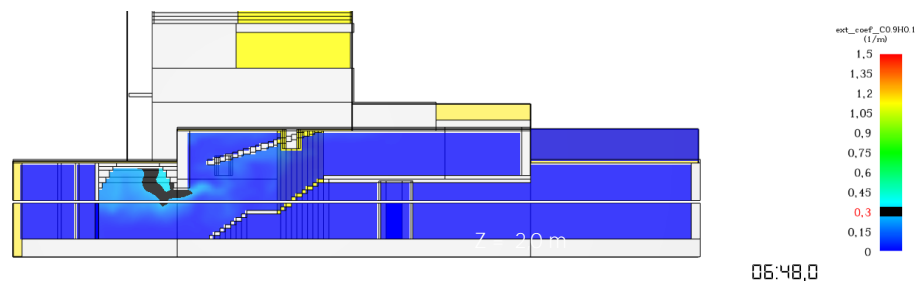


Abbildung 74: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt y = -3,1m – 2,0 m

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>In der Schalterhalle II ist nicht mit einer Stauung vor den Treppenaufgängen zu rechnen, da die Kapazität der Treppenaufgänge aus der Schalterhalle II größer ist als die der Aufgänge aus der Bahnsteigebene. Nach wie vor ist diese rauchgasfrei. Im Bereich des Treppenaufgangs strömen gerade erste Rauchgase mit Konzentrationen im Grenzbereich ein ohne dabei die Schutzhöhe von 2,0 m über dem Boden zu unterschreiten.</i>	Selbstrettung S II
---	--	-------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4.4 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 8,9 Minuten

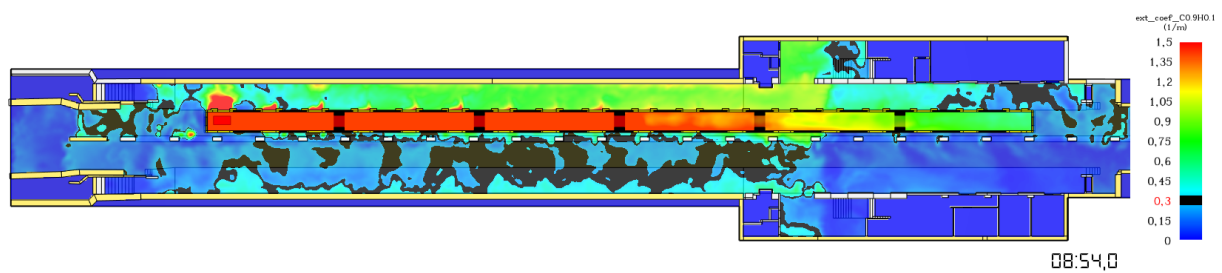


Abbildung 75: Szenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

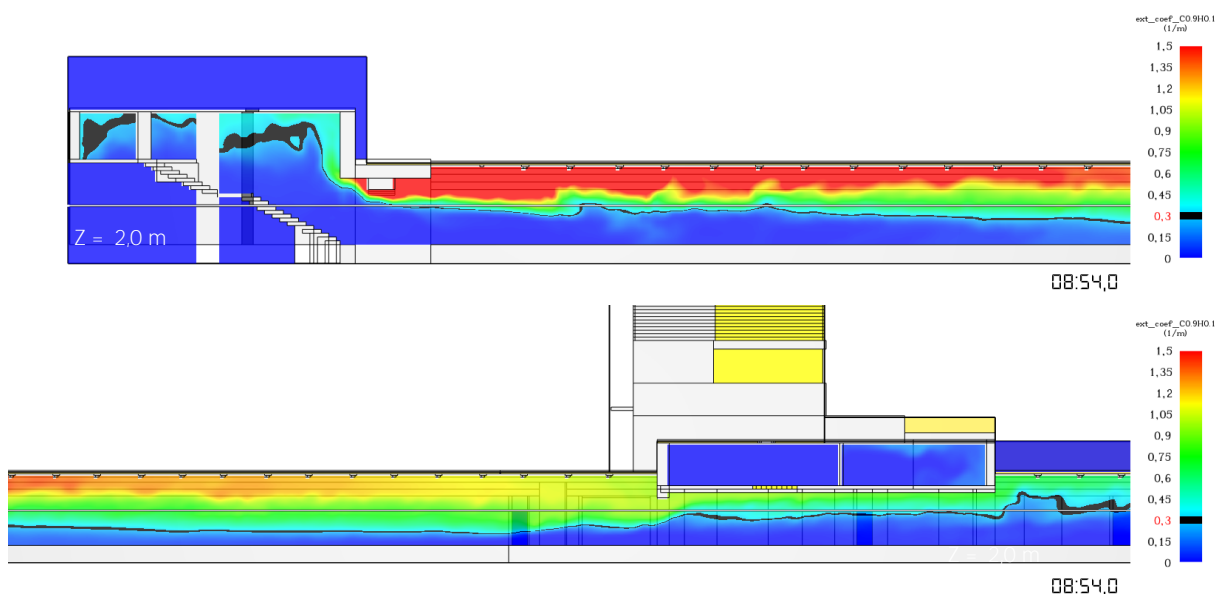


Abbildung 76: Szenario 2 – Vertikalschnitt y = -6,8 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

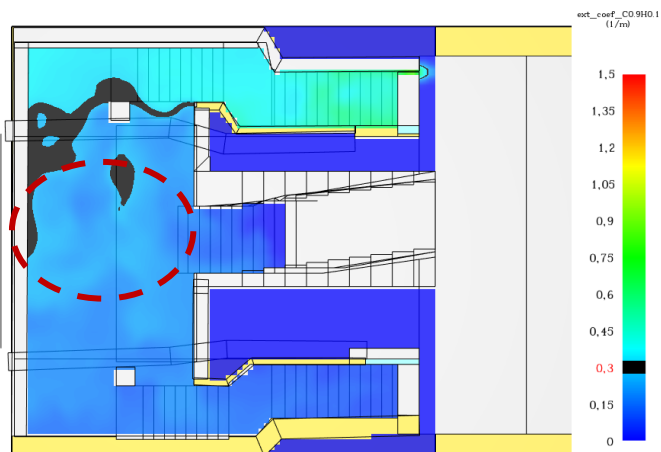
Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: Zu diesem Zeitpunkt haben die letzten Personen die Treppenaufgänge ins Freie betreten. Der Treppenaufgang weist mittlerweile erhöhte Rauchgaskonzentrationen auf. Auf der Bahnsteigebene sind die Rauchgase flächendeckend unterhalb die Schutzhöhe von 2,0 m gesunken und überschreiten die Grenzwerte.	Schutzziel (Bahnsteig) eingehalten
---	--	---

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle



08:54,0

Abbildung 77: Szenario 2 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Die letzte Person betritt den Treppenaufgang. Hier treten örtliche Grenzwertüberschreitungen auf, die jedoch aufgrund der lokalen Begrenzung die Selbstrettung zu diesem Zeitpunkt nicht maßgeblich einschränkt.</i>	Selbstrettung SI
---	---	-----------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

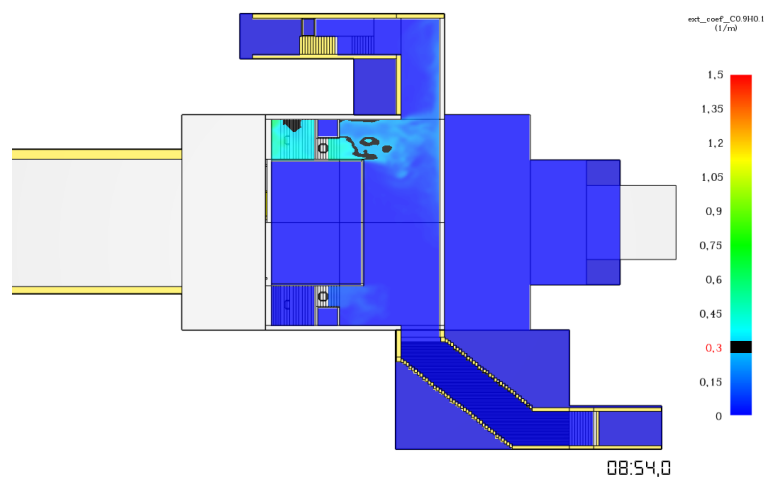


Abbildung 78: Szenario 2 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

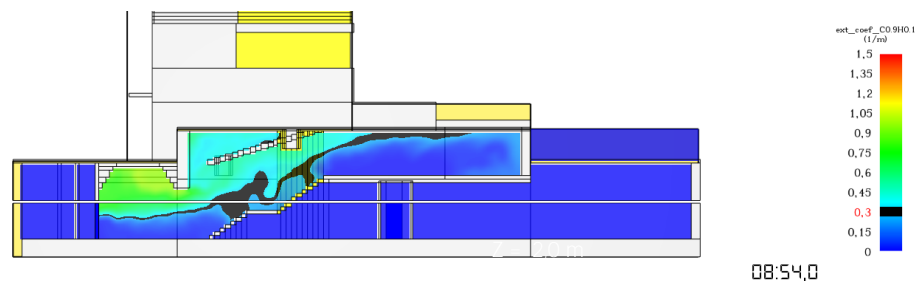


Abbildung 79: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt y = -3,1m – 2,0 m

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Die ersten Rauchgase in einer kritischen Konzentration dringen in die Schalterhalle II vor. Aufgrund der nicht vorhandenen Stauungen vor den Treppenaufgängen ins Freie haben bereits alle Personen aus dieser Schalterhalle das Freie betreten. Der Treppenaufgang von der Bahnsteigebene ist vollkommen verraucht.</i>	Selbstrettung S II
---	---	-------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4.5 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 9,4 Minuten

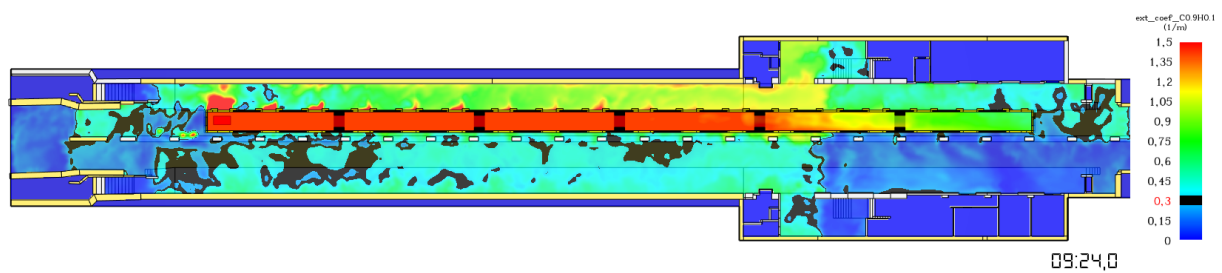


Abbildung 80: Szenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

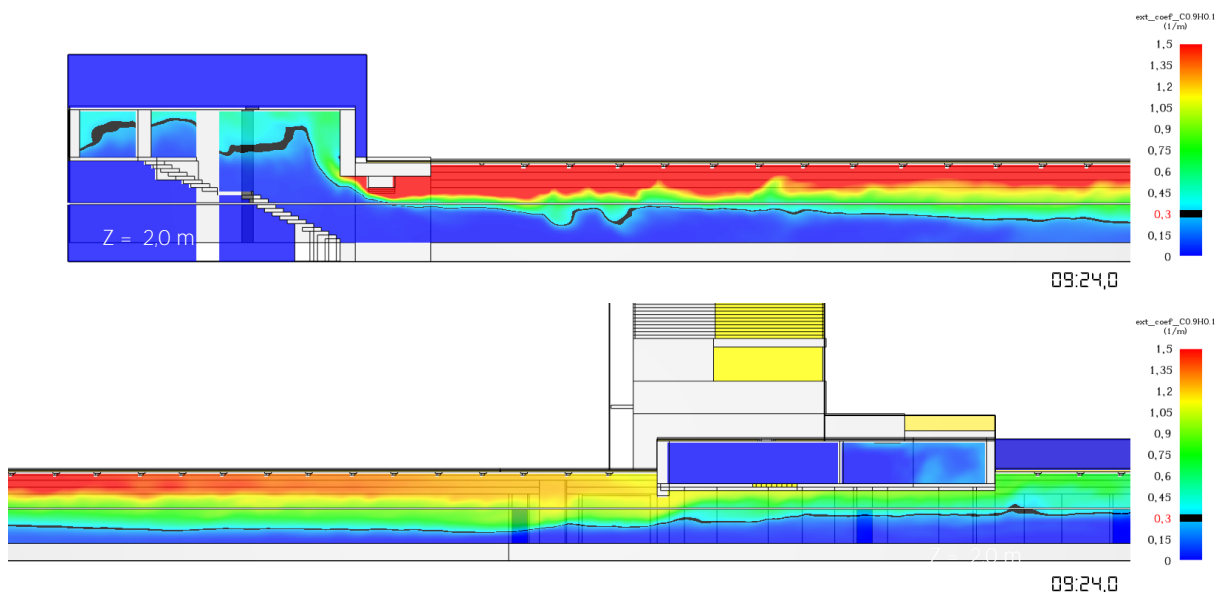


Abbildung 81: Szenario 2 – Vertikalschnitt y = -6,8 m – Bahnsteig, oben: Ausgang in Richtung Schalterhalle I, unten: Ausgang in Richtung Schalterhalle II

Schutzziel Selbstrettung:
Extinktionskoeffizient
während der
Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$

Beurteilung und ggf. Kommentar:
Die Bereiche der Grenzwertüberschreitung weiten sich weiter aus. Die Räumung der U-Bahnstation ist zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen.

**Schutzziel
(Bahnsteig)
eingehalten**

Datum 02.12.2021
Projektnummer T-00109
Status Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

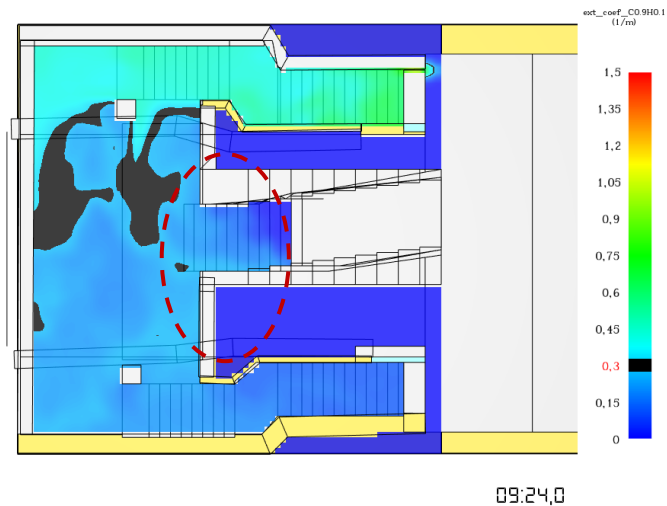
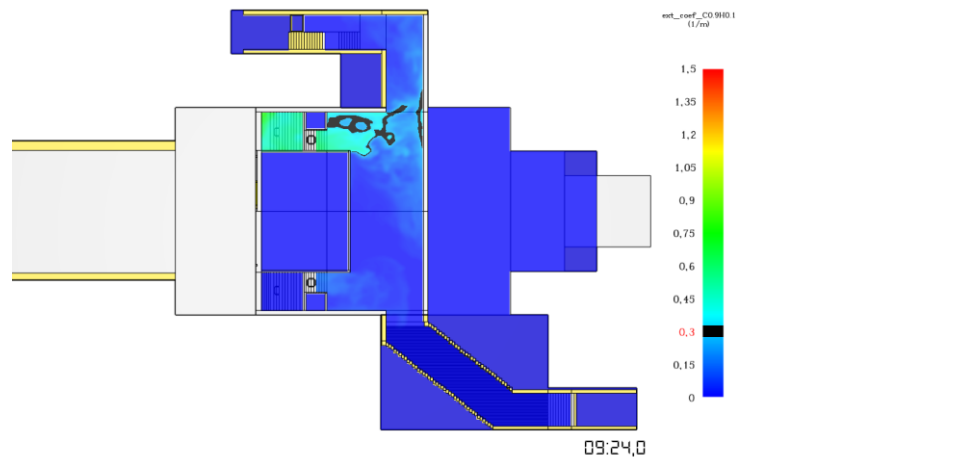
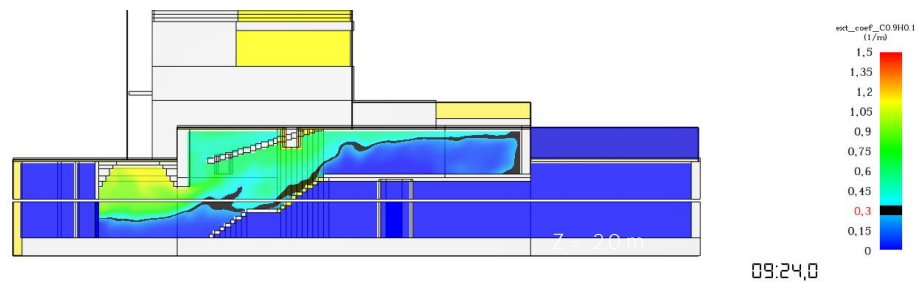


Abbildung 82: Szenario 2 – Schalterhalle I - Horizontalschnitt z = 6,6 m – 2,0 m über der Ebene

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Die letzte Person befindet sich zu diesem Zeitpunkt nicht nur außerhalb der Station, sondern bereits 10 m von einem Treppenaufgang entfernt. Der Bereich vor dem Treppenaufgang ist weiterhin eingeschränkt nutzbar.</i>	Schutzziel (SI) eingehalten
--	---	------------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Abbildung 83: Szenario 2 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der EbeneAbbildung 84: Szenario 1 – Schalterhalle II - Horizontalschnitt $y = -3,1 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$

Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>In den Bereichen der Treppenaufgänge (aus Richtung Bahnsteigebene) vergrößern sich die Bereiche mit einer kritischen Konzentration. Große Teile der Schalterhalle hingegen sind weiterhin rauchfrei. Die Treppenaufgänge ins Freie sind uneingeschränkt nutzbar.</i>	Schutzziel (SID) eingehalten
---	---	-------------------------------------

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

3.4.6 Szenario 2 – Temperatur- und Strömungszustand

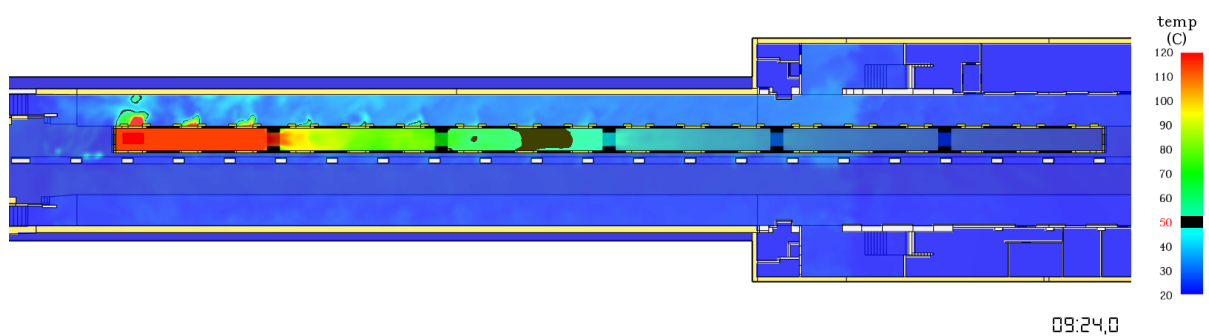


Abbildung 85: Rauchgastemperaturen – Horizontalschnitt z = 2,0 m – nach 9,4 Minuten

Schutzziel: Selbstrettung Rauchgastemperatur < 50 °C	Beurteilung und ggf. Kommentar: <i>Nach Räumung der U-Bahnstation sind lediglich in einem eng begrenzten Bereich in unmittelbarer Nähe zu der Brandquelle Grenzwertüberschreitungen erkennbar. Demzufolge kann das Schutzziel Selbstrettung, bezogen auf eine kritische Rauchgastemperatur von 50 °C, über den gesamten Zeitraum gewährleistet werden. Auf den Schalterhallen treten ebenfalls keine erhöhten Temperaturen unter der Schutzhöhe von 2,0 m auf.</i>	Selbstrettung S II
---	--	-------------------------------------

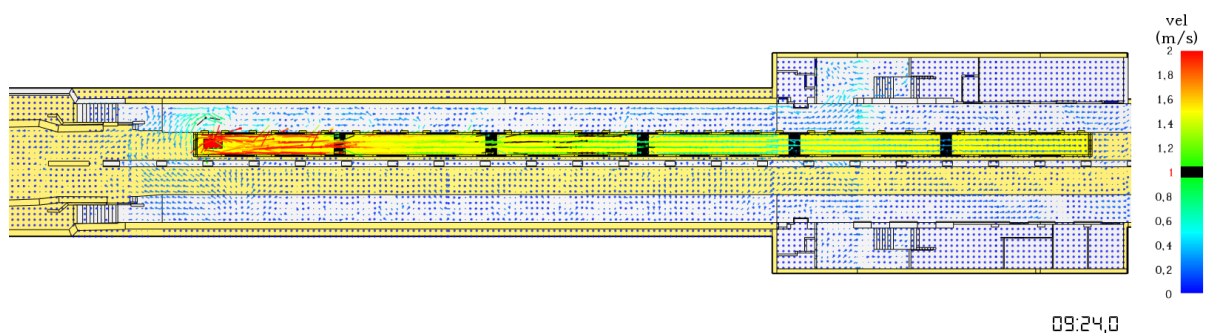


Abbildung 86: Strömungssituation nach 9,4 Minuten– Horizontalschnitt z = 2,0 m

Beurteilung und ggf. Kommentar: In dem Schnittbild sind lediglich moderate Strömungsgeschwindigkeiten (Zuluftströmung) erkennbar. Turbulentere Strömungen treten in Bereichen auf, bei denen sich der Querschnitt verändert (Treppenaufgänge).
--

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

4 Bewertung der Ergebnisse

Im Rahmen des Brandsimulationsgutachtens wurde durch eine Feldmodellberechnung (Brandsimulation) die Verrauchung und der Temperaturzustand unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Brandereignissen untersucht. Des Weiteren wurde seitens der BVG eine Räumungsberechnung anhand der amerikanischen Richtlinie NFPA 130 durchgeführt.

Für das zu berücksichtigende Schienenfahrzeug der H-Baureihe liegt ein Arbeitsblatt für die Brandsimulation durch IFAB vor, sodass brandspezifische Parameter für die Brandsimulation heran gezogen werden können. Demnach ist eine Betrachtung der Energiefreisetzungskurve nach Kap. 5.3.1 der TRStrab BS nicht erforderlich.

In Hinblick auf die Schutzzielbetrachtung der Selbstrettung konnte insgesamt nachgewiesen werden, dass die Rauchgasschichtgrenze lediglich lokal und temporär begrenzt unter die Schutzzielhöhe von 2,0 m in dem Bereich der flüchtenden Personen abgesunken ist.

1. Brandszenario – Bahnbrand im Bereich Aufgang Schalterhalle I

Bei diesem Szenario mit Positionierung des Brandes innerhalb der Bahn im Bereich des Treppenaufgangs zur Schalterhalle I (Szenario 1) wird die Selbstrettung der Personen sichergestellt. Aufgrund der Positionierung des Brandortes unmittelbar vor dem Treppenaufgang in Richtung Schalterhalle I kam es zunehmend zu Rauchverschleppungen. Der Umfang dieser Rauchgasansammlung schränkt die Räumung jedoch nur geringfügig ein, da die Rauchgasschicht lokal begrenzt unter die Schutzzielhöhe von 2,0 m über dem Boden sinkt. Zudem handelt es sich um einen diffusen Zustand mit minimaler Überschreitung des Grenzwertes der Rauchgasdichte. Die Rauchgastemperaturen steigen in diesem Szenario ebenfalls während des gesamten Nachweises nicht über 50 °C in einer schutzzielrelevanten Höhe.

In der Simulation bzw. in der Räumungsberechnung wurde konservativ ein zeitlicher Puffer berücksichtigt. Dabei wurde angenommen, dass die Räumung erst abgeschlossen ist, wenn sich alle Personen in einen Umkreis von 10 m um die Ausgänge befinden.

2. Brandszenario – Bahnbrand in der Mitte des Bahnsteigs

Im zweiten Bemessungsszenario (Bahnbrand mittig des des Bahnsteigs) kam es zu keiner maßgebenden kritischen Verrauchung der Rettungswege vor Beendigung der Selbstrettung. In den Bereichen in denen sich flüchtende Personen aufhalten sinken während der Selbstrettung die Rauchgase nicht unter die Schutzzielhöhe von 2,0 m (raucharme Schicht) ab. Die Rauchgastemperaturen steigen ebenfalls während der gesamten Räumung der Station nicht über den Grenzwert von 50 °C in einer schutzzielrelevanten Höhe.

Auch in diesem Vergleich der Räumungszeit mit dem Verrauchungszustand wurde der bereits oben genannte zeitliche Puffer berücksichtigt.

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Gegenüberstellung Verrauchungs- und Räumungszeiten

Betrachtungsgegenstand (Lage/Ort)	Zeitpunkt der akuten Verrauchung Szenario 1 [00109-0102_neu]	Zeitpunkt der akuten Verrauchung Szenario 2 [00109-0202_neu]	Zeitpunkt der vollständigen Räumung
Bahnsteigebene (Bereich <u>vor</u> dem Treppenaufgang Richtung Schalterhalle 1)	6,9 Minuten	8,0 Minuten	6,1 Minuten
Bahnsteigebene (Bereich <u>vor</u> dem Treppenaufgang Richtung Schalterhalle 2)	7,5 Minuten	7,8 Minuten	6,1 Minuten
Treppenaufgänge (Richtung Schalterhalle 1)	8,2 Minuten	8,8 Minuten	6,3 Minuten
Treppenaufgänge (Richtung Schalterhalle 2)	9,3 Minuten	8,0 Minuten	6,3 Minuten
Schalterhalle 1 (Bereich vor den Treppenaufgang in Richtung Freie)	>10 Minuten*	>10 Minuten*	8,6 Minuten
Schalterhalle 2 (Bereich vor den Treppenaufgängen in Richtung Freie)	>10 Minuten*	>10 Minuten*	8,9 Minuten
Treppenaufgang von der Schalterhalle ins Freie (Schalterhalle 1)	>10 Minuten*	>10 Minuten*	8,8 Minuten
Treppenaufgang von der Schalterhalle ins Freie (Schalterhalle 2)	>10 Minuten*	>10 Minuten*	9,2 Minuten

* Für die schutzzielorientierte Betrachtung während der Selbstrettungsphase wurde die Brandsimulation für einen Zeitraum von 10,0 Minuten erstellt.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

D. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Dokumentation zur rechnerischen Brandsimulation wurde eine brandschutztechnische Bewertung der

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

mit Hilfe von ingenieurmäßigen Verfahren brandschutztechnisch vorgenommen. Zur Untersuchung der Situation wurde für den Brandfall mit Hilfe eines rechnerischen Feldmodells (Brandsimulationsprogramm FDS) auf Grundlage der Kubatur des Gebäudes das maßgebenden Bemessungsszenarien berechnet und ausgewertet. Zur Modellierung der Geometrie und der Bemessungsbrände wurden Veröffentlichungen des National Instituts for Standards and Technology (NIST, USA), der vfdb-Leitfaden – Ingenieurmethoden im Brandschutz sowie weitere Fachliteratur und das Fahrzeuggutachten inkl. der Anlage „Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung“ herangezogen.

Für die Brandsimulation wurde die Energiefreisetzungscurve und die Brandparameter anhand des Arbeitsblatts zur Brandsimulationsrechnung modelliert. Dabei wurde der Bemessungsbrand (Bahn) am Bahnsteigende und in der Mitte des Bahnsteiges positioniert, um möglichst konservative Ergebnisse zu erzeugen. Die Personenzahl wurde seitens der BVG mithilfe des EBA-Verfahrens bestimmt. Demzufolge wurde von einer Vollbesetzung der Züge ausgegangen. Im Rahmen der zuvor beschriebenen Szenarien konnte festgestellt werden, dass für das Objekt aufgrund der Alarmierung und den baulichen Gegebenheiten die Selbstrettung möglich ist.

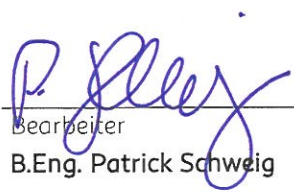
Die vorstehenden Aussagen sind nur unter der Voraussetzung zutreffend, dass der zugrunde liegende Planstand weiterhin eingehalten wird. Die im Brandschutzkonzept beschriebenen Maßnahmen sind im Rahmen der Simulation berücksichtigt worden, sodass Änderungen am Brandschutzkonzept eine Überprüfung in Bezug auf die Simulationsergebnisse erfordern. Eine Änderung der Randbedingungen macht in jedem Fall eine Überprüfung der Auswirkungen erforderlich. Die Anforderungen dieses Gutachtens gelten ausschließlich für das oben genannte Projekt und können auf andere Bauvorhaben nicht übertragen werden.

Essen, den 02.12.2021


Dipl. Ing. Markus Kraft

Geschäftsführer

Prüfingenieur für Brandschutz

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die
Prüfung des Brandschutzes¹

 Bearbeiter
B.Eng. Patrick Schweig

Brandschutzsachverständiger

¹); Nach § 6 (9) SV-VO darf der Rundstempel des staatlich anerkannten Sachverständigen nur für Schriftstücke verwendet werden, welche in den Anwendungsbereich der SV-VO, LBO oder der Energieeinsparverordnung fallen. Daher werden bestimmte Schriftstücke, auch bei Vorlage bei den Behörden, nicht mit dem runden Sachverständigen-Stempel versehen. Die Gültigkeit nicht gestempelter Schriftsätze bzw. die Qualifikation des Sachverständigen ist dadurch nicht eingeschränkt.

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

E. Beurteilungsgrundlagen

E.1 Rechtliche Grundlagen

Die nachfolgend aufgeführten Gesetze, Verordnungen und die baurechtlichen Regelwerke werden im vorliegenden Gutachten angewendet:

Gesetze und Verordnungen

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00109 der brandwerk traffic GmbH verwiesen.

Normen und technische Regelwerke

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00109 der brandwerk traffic GmbH verwiesen.

Literatur

- Fire on the Web – Fire Tests Data - Fire Experiment Results – National Institute for Standards and Technologie (NIST), USA – www.fire.nist.gov 04/2002
- P.H. Thomas, P.L. Hinkley: Technical Paper No. 7 - Investigations into the Flow of Hot Gases in Roof Ventings 1963
- P.H. Thomas, P.L. Hinkley: Technical Paper No. 10 - Design of roof-venting systems for single-storey buildings 1964
- VDI 6019 Blatt 1 – Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden – Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit Stand 05-2006
- VDI 6019 Blatt 2 – Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden – Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit Stand 06-2009
- VdS 2827 – Bemessungsbrände für Brandsimulationen und Brandschutzkonzepte 05/2000
- K. McGrattan: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – Technical Reference Guide - NIST Special Publication 1018-5 – National Institut of Standards and Technologie 09/2009
- K. McGrattan: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – User's Guide - NIST Special Publication 1019-5 – National Institut of Standards and Technologie 09/2009
- Festlegung von Brandszenarien für den Entwurf von Gebäuden und für die Risikobetrachtung, U. Schneider 1995
- Ingenieurmethoden des Brandschutzes vfdb-Leitfaden – Stand 2020
- DIN 18 232-2 - Rauch- und Wärmefreihaltung –Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau; Deutsches Institut für Normung e.V., 2007
- VdS-Fachtagung: Ingenieurmäßige Verfahren im Brandschutz - PKW-Brand nach U. Schneider, April 1995
- National Fire Protection Association (NFPE): The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fouth Edition
- National Fire Protection Association (NFPE): The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition
- Brandschutzfirma Brandschutz Consult – Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig: Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe – F74 (Anlage zum Bericht zur Erarbeitung eines Bemessungsbrandes für das Schienenfahrzeug F74 der BVG)

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

- Bosch, J.W.: North-South-Line: The Development of a new Safety Concept, International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, December 1999
- Fruin, J.J.: Designing for Pedestrians. A Level of Service Concept. Polytechnical Institute of Brooklyn.Ph.D., 1970

E.2 Unterlagen

- Zitadelle Begleittext: Berechnung von Räumungszeiten für den U-Bahnhof Zitadelle (VBU-KBT1 – A. Seefeld vom 15.03.2017)
- Anlage zu den Berechnungen der Räumungszeiten nach NFPA 130-2010 (VBU-KBT 1 A. Seefeldt NFPA130-2010 15.03.2017)

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00109 der brandwerk traffic GmbH verwiesen.

E.3 Besprechungen / Abstimmungen

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00109 der brandwerk traffic GmbH verwiesen.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

F. Anhänge

F.1 FDS - fire dynamic simulator

Zur Untersuchung der Probleme, wie sie in der Aufgabenstellung dargestellt worden sind, wird ein EDV-gestütztes Brandsimulationsmodell eingesetzt, mit dessen Hilfe die komplexen Brandphänomene beschreibbar sind.

Prinzipiell können Brandphänomene und Verrauchungszustände mit zwei unterschiedlichen rechnerischen Ansätzen untersucht werden:

- Zonenmodelle (z.B. CFast, MRFC,...)
- Feld- bzw. CFD-Modelle

Es wird zwischen so genannten Zonenmodellen und den wesentlich rechenintensiveren Feldmodellen unterschieden. Die Anwendung von Zonenmodellen setzt die idealisierte Annahme von homogenen Zonen voraus, wobei insbesondere die untere, kalte, rauchfreie Zone und die obere, heiße Rauchsicht zu unterscheiden sind. Für die jeweiligen Zonen wird von einheitlichen Werten für die verschiedenen Brandraumparameter, wie z. B. Temperatur oder Rauchgaskonzentration, ausgegangen.

Da im vorliegenden Fall bei einem Brand im Objekt eine gleichmäßige Temperatur- und Rauchverteilung für alle Raumbereiche nicht zu erwarten ist, kann ein Zonenmodell mit den zuvor genannten Homogenitätsannahmen zur Betrachtung der vorgegebenen Problematik nur eingeschränkt verwendet werden.

Die numerische Brandsimulation wurde mit dem Feldmodell FDS – Version 6 (National Institut for Standards and Technologie NIST, USA) durchgeführt. Im Gegensatz zu den Zonenmodellen lassen sich beim Feldmodellansatz lokale Werte für Masse, Energie (Temperatur) und vektorielle Gasgeschwindigkeit berechnen.

Zur Beschreibung der Brandentwicklung und Brandwirkung sowie der Ausbreitung von Verbrennungsprodukten im Feldmodell bedarf es der orts- und zeitabhängigen Berechnung der entsprechenden physikalischen Parameter.

Die Berechnung basiert auf der Lösung der thermodynamischen Grundgleichungen, die sich als ein nicht lineares System partieller Differenzialgleichungen darstellen lassen.

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

Kontinuitätsgleichung (Massenerhaltung):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = \dot{m}'''$$

Energlegleichung:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho e) + \vec{\nabla} \cdot (\rho e \vec{v}) = -p \vec{\nabla} \cdot \vec{v} + \dot{Q}'''$$

Impulsgleichung (Navier-Stokes-Gleichung):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\vec{\nabla} p + \rho \vec{g}$$

mit ρ : Dichte
 e : innere Energie
 \vec{v} : Vektor der Strömungsgeschwindigkeit
 p : Druck
 \dot{Q}''' : Quellterm der freigesetzten Energie

Mit diesem allgemeinen Ansatz, einschließlich einer Reihe von Nebenbedingungen, lässt sich die auftriebsbehaftete Konvektionsströmung eines idealen, viskosen, wärmeleitenden Gases beschreiben.

Um das oben beschriebene Gleichungssystem von gekoppelten, nichtlinearen, partiellen Differentialgleichungen zu lösen, wird im Brandsimulationsmodell FDS die Methode der finiten Differenzen angewendet. Dazu wird das betrachtete Lösungsgebiet in eine Vielzahl kleiner Zellen unterteilt wobei ein Rechengitter entsteht, welches den ganzen Raum unterteilt.

Das numerische Lösungsverfahren erbringt als Ergebnis die lokalen Werte für die

- Sichtweite, optische Dichte und Extinktionskoeffizienten
- Gasgeschwindigkeiten
- lokale Schadstoffkonzentrationen
- Temperaturverteilungen
- usw.

als Variablen in den jeweiligen Zellen des Rechengitters.

So können detaillierte Konturen und Verläufe von Rauchgas- und Schadstoffkonzentrationen sowie von Gastemperaturen ermittelt und Vektorfelder für die Strömungsgeschwindigkeiten und -verläufe errechnet und dargestellt werden.

Datum
02.12.2021

Projektnummer
T-00109

Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

F.2 Standardwerte

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Umgebungstemperatur	20 °C	
Umgebungsdruck	101.325 Pa	
Relative Luftfeuchtigkeit	40 %	

F.3 Kennwerte der brandschutztechnischen Infrastruktur

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Ventilation		
Zuluft	Natürliche Ventilation über den Tunnelmund und die Treppenaufgänge.	--
Natürliche Abluft	Die Rauchabfuhr wird über die vorhandenen Ausgänge ins Freie und die Tunnelmüder sichergestellt.	--
Mechanische Abluft	Nicht vorhanden	--
Brandmeldetechnik		
Lage Heat Detektoren	Im Modell nicht vorhanden	--
Ansteuerungen Heat Detektoren	Im Modell nicht vorhanden	--
Löschtechnik	Im Modell nicht vorhanden	
Auslösetemperatur	--	--
RTI-Wert	--	--
Sprinklerauslöseszeit gemäß VDI 6019	--	--

Datum
02.12.2021Projektnummer
T-00109Status
Version 2.0

BVG | U-Bahnstation Zitadelle

F.4 Stoffspezifische Kennwerte

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Yield-Faktoren		
<i>Soot Yield</i>	0,079 [g/g] Nach dem Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG, 2020/00198 rev01 (IFAB)	--
<i>CO Yield</i>	0,058 [g/g] Nach dem Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG, 2020/00198 rev01 (IFAB)	--
Heizwert		
	18,462 [MJ/kg] Nach dem Arbeitsblatt zur Brandsimulation der H-Baureihe der BVG, 2020/00198 rev01 (IFAB)	--
Sichtweiten Parameter	--	--
<i>spezifischer Extinktionskoeffizient K_m</i>	--	--
<i>C-Faktor</i>		

F.5 Simulationsspezifische Kennwerte

	Wert / Quelle	Bemerkung
Zellgitterkonfiguration		
Simulationsvolumen	ca. 17.707 m ³	--
Zellgröße	0,20 m x 0,20 m x 0,20 m	--
Anzahl Zellen	2.213.405	--
Anzahl Gitter	10 Gitter	Multimesh
Physikalische Modelle		
Turbulenzmodell	LES (Large Eddy Simulation) FDS6-Standard Modell: Dynamisches Smagorinsky Modell	Baroklines Torsionsmoment berücksichtigt
Verbrennungsmodell	Standard	
Strahlungsmodell	Standard	