

PROJEKT

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

ADRESSE Tempelhofer Ufer
10963 Berlin

DATUM 02.07.2018

VERSION 1.0

BAUHERR Berliner Verkehrsbetriebe – BVG
Holzmarktstraße 15-17
10179 Berlin

PLANUNG Berliner Verkehrsbetriebe – BVG
Holzmarktstraße 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

gezeichnet im Original
Boisserée
Der Betriebsleiter

Projektnummer T-00397

Sachverständiger MKR-MPR

Version Version 1.0 | 02. Juli 2018 | MPR

Hinweis

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

Eine Veröffentlichung, auch
auszugsweise, bedarf einer schriftlichen
Genehmigung.

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Inhaltsverzeichnis

A.	Anlass des Brandsimulationsgutachtens	4
B.	Beschreibung des Objektes	5
C.	Dokumentation zu den Simulationen, Definition von Schutzziele 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	17
1.1.3	Zeitabhängige Energiefreisetzungscurve – Fahrzeugbrand F74	18
1.2	Definition der Randbedingungen für die Räumungsberechnung	20
2	Modellbildung FDS	23
2.1	Geometrie	23
2.2	Brandschutztechnischer Maßnahmen zur Reduzierung der Rauchverschleppung	25
2.3	Modellierung der Zu- und Abluft	26
2.4	Aufteilung der Rechengitter	28
2.5	Modellierung der brandschutztechnischen Infrastruktur	28
3	Ergebnisse der Simulationen	29
3.1	Ergebnisse der Brandsimulationen	29
3.2	Ergebnisse der Räumungsberechnung (NFPA 130) der BVG	33
3.3	Auswertung Szenario 1: 00397-0402 – Fahrzeug in Bahnsteigmitte	34
3.3.1	Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 2,2 Minuten	34
3.3.2	Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten	36
3.3.3	Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,0 Minuten	38
3.3.4	Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,3 Minuten	40
3.3.5	Brandszenario 1 – Temperatur- und Strömungszustand	42
3.4	Auswertung Szenario 2: 00397-0502 – Fahrzeug am westlichen Bahnsteigende	43
3.4.1	Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 2,2 Minuten	43
3.4.2	Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten	45
3.4.3	Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,0 Minuten	47
3.4.4	Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,3 Minuten	49

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.4.5	Brandszenario 2 – Temperatur- und Strömungszustand.....	51
4	Bewertung der Ergebnisse.....	52
D.	Zusammenfassung.....	54
E.	Beurteilungsgrundlagen.....	55
E.1	Rechtliche Grundlagen.....	55
E.2	Unterlagen.....	56
E.3	Besprechungen / Abstimmungen.....	56
F.	Anhänge.....	57
F.1	FDS - fire dynamic simulator.....	57
F.2	Standardwerte.....	59
F.3	Kennwerte der brandschutztechnischen Infrastruktur.....	59
F.4	Stoffspezifische Kennwerte.....	60
F.5	Simulationsspezifische Kennwerte.....	61

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

A. Anlass des Brandsimulationsgutachtens

Im Rahmen der Auflagen der BOStrab müssen für die U-Bahnstation Möckernbrücke 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 Brandschutz zu berücksichtigen.

Bei der U-Bahnstation Möckernbrücke handelt es sich um ein Bestandsobjekt. Aufgrund des Umfangs der Erarbeitung der Brandschutzkonzepte für alle Berliner U-Bahnstationen, wurde seitens der BVG eine Priorisierung der U-Bahnstationen zur Festlegung einer Rangliste erarbeitet. Aufgrund der hier geplanten baulichen Veränderungen und der nach BVG erfolgten Kategorisierung als Priorität 1 (hohe Priorität), wird eine brandschutztechnische Bewertung notwendig. Für die U-Bahnstation wird eine neue Aufzugsanlagen sowie zwei weitere Treppenaufgänge geplant. Dadurch wird zukünftig die Barrierefreiheit gewährleistet und der Bahnhof besitzt somit zukünftig drei baulich getrennte Rettungswege.

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

Der zur Prüfung des 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.

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

und westlichen Ende des Bahnsteiges angeordnet werden und die Bahnsteigebenen durch feste Treppen mit der Oberfläche verbinden. Zusätzlich wird eine der mittig gelegenen Fahrtreppen durch einen Aufzug ersetzt, welcher zukünftig die Bahnsteigebene mit der Schalterhalle verbindet. Hierzu verschiebt sich die feste Treppe des mittig liegenden, westlichen Aufgangs an die Position der jetzigen Fahrtreppe. Die genaue Positionierung des Aufzuges wurde noch nicht finalisiert. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde für die Simulation eine ausreichende Anordnung abgestimmt.

Die Schalterhalle besitzt im Norden eine direkte Verbindung zur Station Möckernbrücke (oben), bestehend aus drei Fahr- und einer festen Treppe. Im süd-westlichen Teil der Schalterhalle gelangt man über eine feste Treppe direkt an die Oberfläche. An den jeweiligen Enden der Bahnsteige und in der Schalterhalle befinden sich zudem Technik- und Betriebsräume. Die neu geschaffenen Aufgänge sind aus den Abbildungen 4 und 5 zu entnehmen.

Folgende Flächen werden in der Räumungs- und Brandsimulation berücksichtigt:

Bezeichnung	Größe des Bereiches	Deckenhöhe
Bahnsteigebene Mittelbahnsteig	ca. 1.540 m ²	ca. 2,90 m – 3,00 m
Schalterhalle	Ca. 530 m ²	Ca. 2,20 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-00397 von der brandwerk traffic GmbH verwiesen.

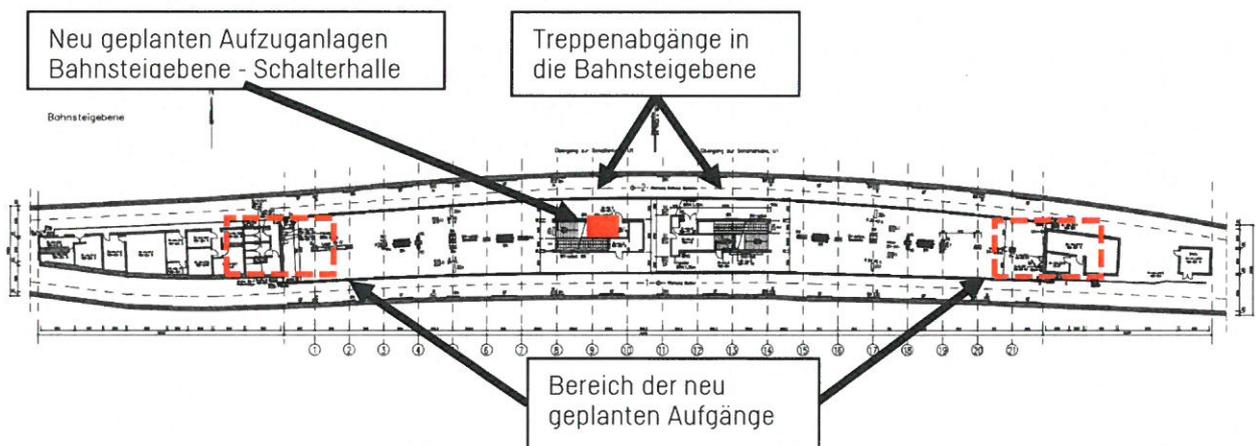


Abbildung 2: Auszug aus den Planunterlagen - Darstellung der Bahnsteigebene (Quelle: BAUCONZEPTgesellschaft GmbH)

Datum 02.07.2018
Projektnummer T-00397
Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

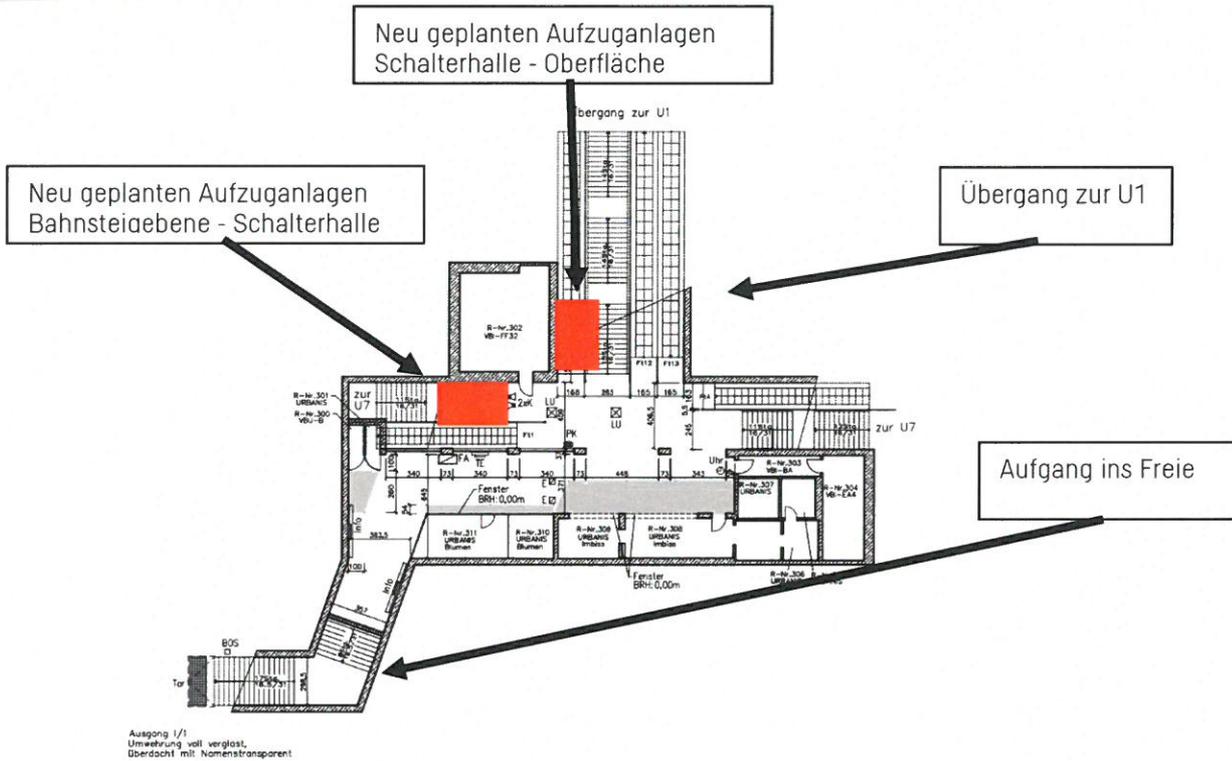


Abbildung 3: Auszug aus den Planunterlagen - Darstellung der Schalterhalle (Quelle: BAUCONZEPTgesellschaft mbH)

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

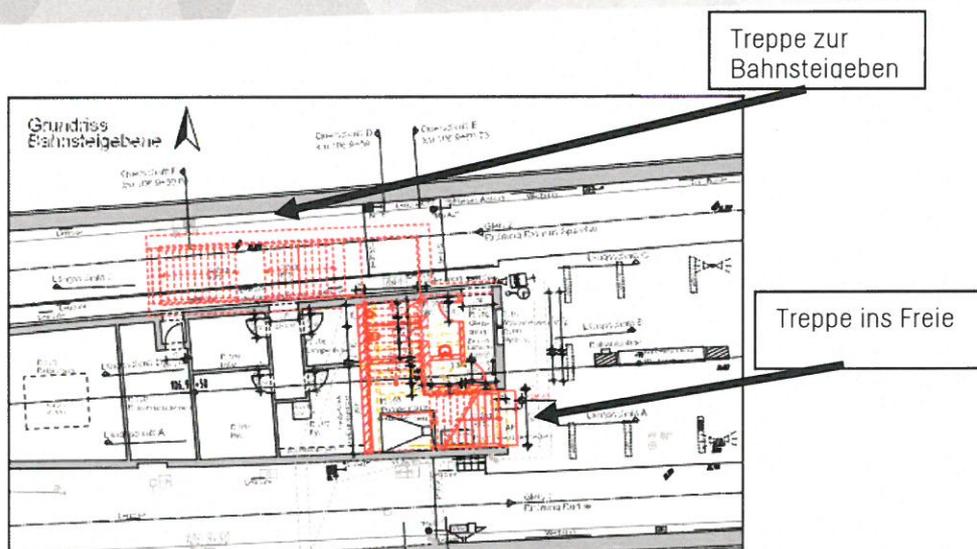


Abbildung 4. Auszug aus den Planunterlagen - Darstellung der Bahnsteigebelegene Ebene: östlicher Treppenaufgang, Planung Neubau (Quelle: S2 sausel +schmidt atchitekten und ingenieure GbR)

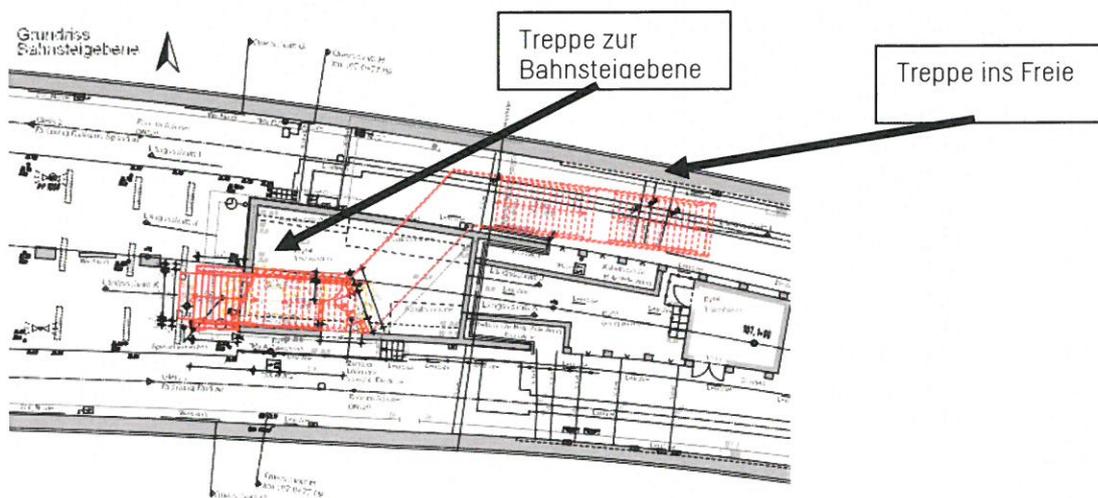


Abbildung 5: Auszug aus den Planunterlagen - Darstellung der Bahnsteigebelegene Ebene: östlicher Treppenaufgang, Planung Neubau (Quelle: S2 sausel +schmidt atchitekten und ingenieure GbR)

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

C. Dokumentation zu den Simulationen, Definition von Schutzziele und Grenzwerten

Um die Schutzziele bauordnungsrechtlicher Bestimmungen 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 (mindestens 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) $t_{\text{Verrauchung}} > t_{\text{Räumung (+10\% bzw. mindestens +1 Minute)}}$	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) $t_{\text{Verrauchung}} > t_{\text{Räumung}}$	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

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Tabelle 1: Definition der Schutzziele und Grenzwerte

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. 6,3 Minuten durch die Räumungssimulation ermittelt. Aus der Tabelle nach dem vfdb-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. Dies 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 ⁽⁵⁾	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ / 0,15 m ⁻¹ ⁽³⁾	0,1 m ⁻¹ / 0,2 m ⁻¹ ⁽³⁾
Erkennungsweite ⁽⁴⁾	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 Rauchausbildung (insbesondere der Rauchdichte) als Beurteilungsgröße für die Personensicherheit herangezogen werden.

⁽³⁾ Der jeweils höhere Anhaltswert kann zur Beurteilung angesetzt werden, wenn der betreffende Bereich übersichtlich strukturiert ist oder die Personen mit den Räumlichkeiten vertraut sind.

⁽⁴⁾ Die Erkennungsweite ist starken Streuungen unterworfen. Für typische Brände besteht eine Korrelation mit der Rauchdichte D_L . Näheres dazu siehe Abschnitt 8.3.

⁽⁵⁾ 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 $25 \text{ mg}/\text{m}^3$ bzw. für $D_L = 0,2 \text{ m}^{-1}$ von $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ (siehe Abschnitt 8.2).

Abbildung 6: Auszug aus dem vfdb-Leitfaden 2013 – Tabelle 8.3

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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 Festlegung des Grenzwertes ist demnach 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.

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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 im Kapitel C 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	Brandszenario 1 – [00397-0402]	Brandszenario 2 – [00397-0502]
	Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene in der Bahnsteigmitte Maximale Brandleistung ca. 27 MW	Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene am westlichen Bahnsteigende Maximale Brandleistung ca. 27 MW
Bemessungsbrand		
Lage Brandort	Die Brandquelle befindet sich mittig des Bahnsteiges auf dem Gleis 2.	Die Brandquelle befindet sich am westlichen Ende des Bahnsteiges auf dem Gleis 2.

Datum
02.07.2018Projektnummer
T-00397Status
Version 1.0**U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)**

Randparameter	Brandszenario 1 – [00397-0402] Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene in der Bahnsteigmitte Maximale Brandleistung ca. 27 MW	Brandszenario 2 – [00397-0502] Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene am westlichen Bahnsteigende Maximale Brandleistung ca. 27 MW
Max. Energiefrei- setzung	ca. 27 MW (Bahnbrand gemäß Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe - F 74)	ca. 27 MW (Bahnbrand gemäß Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe - F 74)
Spez. Energiefreisetzung Fahrerabraum *)	819,15 kW/m ²	819,15 kW/m ²
Max. Brandfläche	ca. 33,00 m ² Zusammengesetzt aus 3 Brandquellen mit den folgenden Abmessungen: - mittlere Brandfläche 3,00 m x 2,20 m - Vordere und hintere Brandfläche 6,00 m x 2,20 m	ca. 33,00 m ² Zusammengesetzt aus 3 Brandquellen mit den folgenden Abmessungen: - mittlere Brandfläche 3,00 m x 2,20 m - Vordere und hintere Brandfläche 6,00 m x 2,20 m
Brandausbreitungs- geschwindigkeit	Die Ausbreitung des Brandes wurde mit Hilfe einer Ramp so berücksichtigt, dass die vorgegebene Brandleistung aus der Energiefreisetzungskurve nach Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe – F 74 erreicht wird.	Die Ausbreitung des Brandes wurde mit Hilfe einer Ramp so berücksichtigt, dass die vorgegebene Brandleistung aus der Energiefreisetzungskurve nach Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe – F 74 erreicht wird.
Branddetektion		
Vorbrandzeit **)	vgl. Erläuterung	vgl. Erläuterung
Brandbekämpfung		

Datum
02.07.2018Projektnummer
T-00397Status
Version 1.0**U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)**

Randparameter	Brandszenario 1 – [00397-0402] Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene in der Bahnsteigmitte Maximale Brandleistung ca. 27 MW	Brandszenario 2 – [00397-0502] Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene am westlichen Bahnsteigende Maximale Brandleistung ca. 27 MW
Beginn der Löschmaßnahmen	Löschmaßnahmen sind in der Simulation nicht berücksichtigt worden.	Löschmaßnahmen sind in der Simulation nicht berücksichtigt worden.
Ventilationsbedingungen		
Zuluftöffnungen	Natürliche Ventilation über den Tunnelmund und die Treppenaufgänge.	Natürliche Ventilation über den Tunnelmund und die Treppenaufgänge.
NRWA	Die Rauchabfuhr wird über die vorhandenen Ausgänge ins Freie und die Tunnelmüder sichergestellt.	Die Rauchabfuhr wird über die vorhandenen Ausgänge ins Freie und die Tunnelmüder sichergestellt.
Mechanische Abluft	Im Modell sind keine mechanischen Entrauchungsmaßnahmen berücksichtigt worden.	Im Modell sind keine mechanischen Entrauchungsmaßnahmen berücksichtigt worden.
Öffnungs- / Aktivierungszeiten ***)	Bahnmodell nach Vorgaben des Arbeitsblattes zur Brandimulationsrechnung (Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe - F 74): <ul style="list-style-type: none"> - Bei Brandbeginn sind die drei dem Bahnsteig zugewandten Türen offen. - Nach einer vordefinierten Zeit wird das Versagen des Fahrzeugdaches (Aluminiumelemente) simuliert. 	Bahnmodell nach Vorgaben des Arbeitsblattes zur Brandimulationsrechnung (Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug der Baureihe - F 74): <ul style="list-style-type: none"> - Bei Brandbeginn sind die drei dem Bahnsteig zugewandten Türen offen. - Nach einer vordefinierten Zeit wird das Versagen des Fahrzeugdaches (Aluminiumelemente) simuliert.

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Randparameter	Brandszenario 1 – [00397-0402] Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene in der Bahnsteigmitte Maximale Brandleistung ca. 27 MW	Brandszenario 2 – [00397-0502] Brand einer Bahn (F74) auf der Bahnsteigebene am westlichen Bahnsteigende Maximale Brandleistung ca. 27 MW
Strömungseinflüsse, aus Bereichen außerhalb des Simulationsvolumens (z.B. Außenwind)	Es wurden keine äußeren Einflüsse berücksichtigt (Windstille).	Es wurden keine äußeren Einflüsse berücksichtigt (Windstille).

Tabelle 2: Definition der allgemeinen Randbedingungen

*) 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 vfdb-Leitfaden für Ingenieurmethoden im Brandschutz (Stand 2013) eingeflossen.

**) Erläuterung zur Vorbrandzeit:

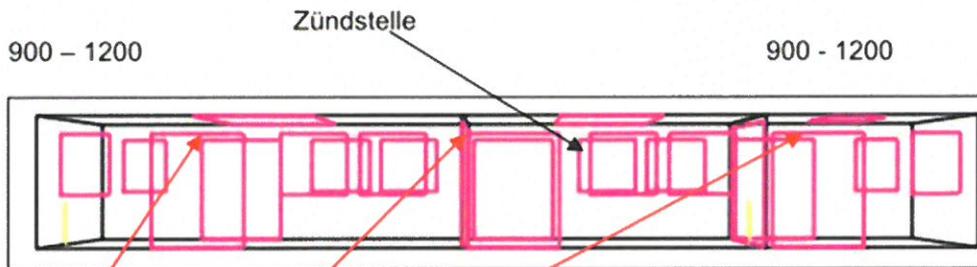
Als Ereignis wurde ein Fahrzeugbrand erachtet. Sofern das Brandereignis zu einem Zeitpunkt auftritt, zu dem sich das Fahrzeug zwischen zwei Stationen befindet, ist zwangsläufig eine Vorbranddauer bis zur Einfahrt in die nächste Station vorhanden. Während dieser Vorbranddauer wird eine gewisse Menge an 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 Dienstanweisung des Betriebsleiters 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.

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

***) Öffnungs- und Aktivierungszeiten:

Gemäß der Anlage 3 Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug – F 74 – Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbh Leipzig sind die drei dem Bahnsteig zugewandten Türen bei Brandbeginn offen, da für die Evakuierung der Personen nach Einfahrt in die Haltestelle alle Türen in Bahnsteigrichtung geöffnet werden. Außerdem wird das Versagen der Deckenkonstruktion durch Deaktivierungszeiten der Objekte in der Simulation berücksichtigt. Diese ergeben sich nach einer definierten Versagenszeit. Die Öffnungszeiten, die Lage und Größe der Öffnungen können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



Dachöffnungen

links: 5 m², Mitte: 5 m², rechts: 5 m²

Öffnungszeit: Mitte: 1200 sec., recht und links: 1500 sec.

Abbildung 7: Ausschnitt aus der Anlage 3 - Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug – F 74 – Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbh Leipzig

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

1.1.2 Positionierung der Brandquelle

Im Rahmen der Untersuchungen wurden für die Station die folgenden Brandorte gewählt, um das Brandrisiko möglichst realitätsnah abbilden zu können. Für das erste Bemessungsszenario wurde der Brandort mittig des Mittelbahnsteiges auf dem Gleis 2 positioniert. Für das zweite Brandszenario wurde der Brandort am westlichen Bahnsteigende unmittelbar bei dem neu geschaffenen positioniert. Innerhalb des Fahrzeugs liegt die Brandquelle bei beiden Szenarien auf dem Boden.

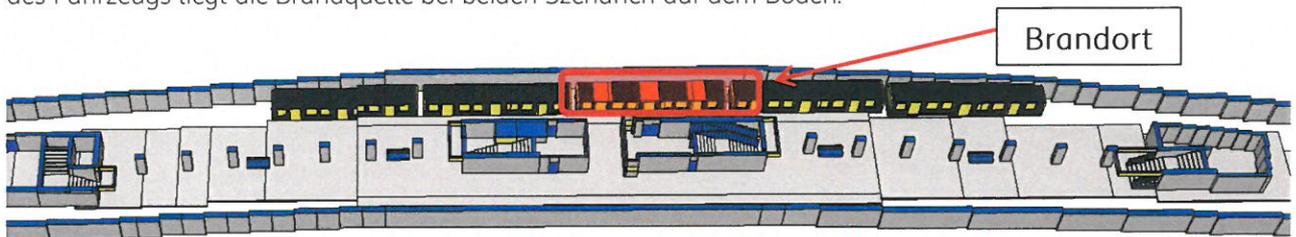


Abbildung 8: Brandquelle Fahrzeug Szenario 1 – Brandort mittig des Bahnsteiges

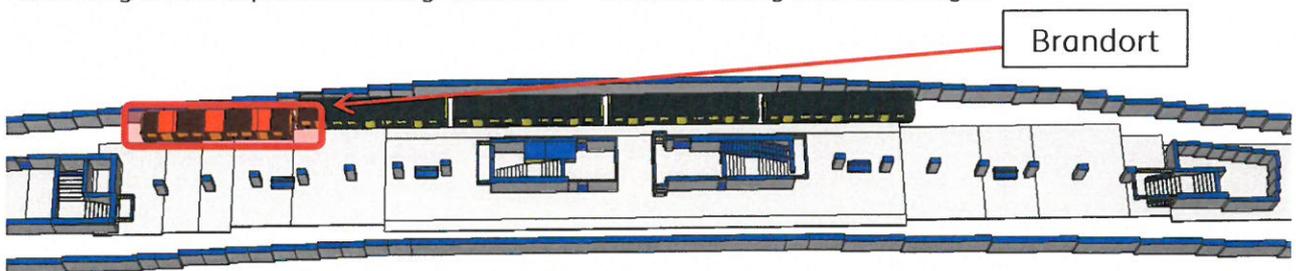


Abbildung 9: Brandquelle Fahrzeug Szenario 2 – Brandort am westlichen Ende des Bahnsteiges

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

1.1.3 Zeitabhängige Energiefreisetzungskurve – Fahrzeugbrand F74

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.

Es werden in der Anlage 3 „Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug – F 74 – Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbh Leipzig“ konkrete Werte für die Brandparameter beschrieben. Die Brandrauchanteile für Ruß, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid werden entsprechend der Tabelle 1 Rauchausbeuten der Anlage 3 zugrunde gelegt (Abbildung 10).

Wie in der unteren Abbildung zu sehen ist, werden gemäß der Anlage 3 – Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug – F 74 – Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbh Leipzig unterschiedliche Rauchausbeuten für zwei Brandphasen bzw. zwei fest definierte Zeiträume vorgegeben. Für den Zeitraum bis 720 Sekunden liegt der Wert für den Rußanteil (Y_s) bei 0,046 [g/g]. Für den Zeitraum ab 720 Sekunden wird ein höherer Wert von $Y_s = 0,154$ [g/g] angegeben.

In der Nachweisführung müssen entsprechend der Anlage 3 („Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug – F 74 – Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbh Leipzig“) für die Auswertung eines Szenarios bei Überschreitung der ermittelten Evakuierungszeit von 720 Sekunden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Werten für die Rauchausbeute (Y_s) untersucht werden. Grund für die getrennte Betrachtung bei zeitlicher Veränderung der Rauchgasanteile ist, dass der soot yields nicht während der Simulation verändert werden kann.

Tabelle 1 Rauchausbeuten

Gasanteil	Dimension	bis 720 sec.	> 720 sec.
y-CO ₂	g / g	1,034	1,5
y-CO	g / g	0,023	0,045
y-s	g / g	0,046	0,154
Dm	m ² / g	0,113	0,32

Abbildung 10: Rauchausbeuten für Brandverlaufskurven gemäß Tabelle 1 der Anlage 3 Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung bezogen auf das Fahrzeug – F 74

Der Heizwert bleibt während des gesamten Zeitraums konstant und wurde entsprechend den Angaben aus der Anlage 3 mit 20.220 kJ/kg in der Simulation berücksichtigt.

In Abbildung 11 wird der zeitabhängige Verlauf der Energiefreisetzung, welche als Grundlage für die Simulation herangezogen wurde, dargestellt. In Abbildung 12 wird dagegen die tatsächlich simulierte und zurückgeschriebene Energiefreisetzungskurve veranschaulicht.

Datum
02.07.2018Projektnummer
T-00397Status
Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

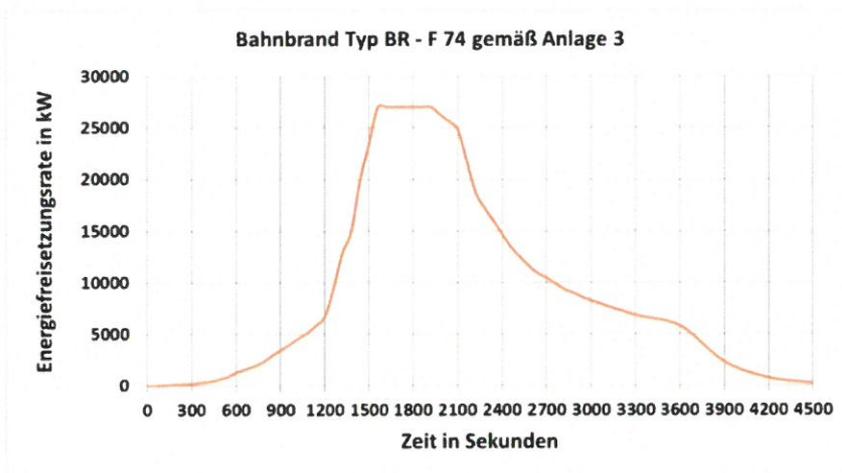


Abbildung 11: Der Simulation zugrunde gelegte einhüllende Energiefreisetzungskurve - gemäß Anlage 3 Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung

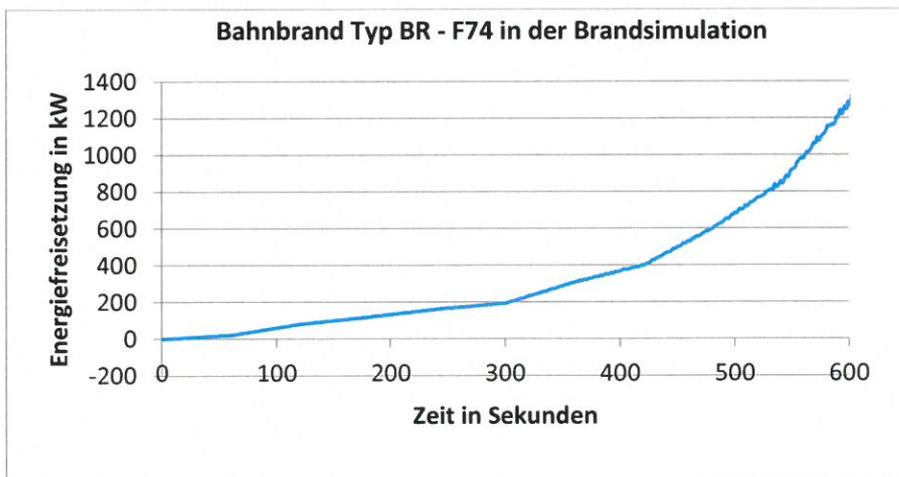


Abbildung 12: Simulierter ausgeschriebener Verlauf der Energiefreisetzung

Im vorliegenden Fall ist die Selbstrettung bereits vor dem Zeitpunkt der veränderten Rauchgasausbeute abgeschlossen. Demzufolge ist eine Betrachtung der erhöhten Rauchausbeute für den Zeitraum „nach 720 Sekunden“ in der Untersuchung nicht zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund wird in der Simulation mit der Rauchausbeute „bis 720 Sekunden“ für die Selbstrettungsphase gerechnet ($y_s = 0,046 \text{ g/g}$). Im vorliegenden Fall ist die Selbstrettung bereits vor dem Zeitpunkt der veränderten Rauchgasausbeute abgeschlossen. Demzufolge ist eine Betrachtung der erhöhten Rauchausbeute für den Zeitraum „nach 1500 Sekunden“ in der Untersuchung nicht zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund wird in der Simulation mit der Rauchausbeute „bis 1500 Sekunden“ für die Selbstrettungsphase gerechnet ($y_s = 0,049 \text{ g/g}$).

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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. Im Fall der U-Bahnstation Möckernbrücke wird zur realitätsnahen Betrachtung von einer fünfundsechzig prozentigen Personenbelegung ausgegangen.

Randparameter für die Räumungsberechnung	Räumung der Station über alle Ausgänge
Fahrzeit	100 Sekunden
Pre-Movement	2,5 Minuten (Reaktionszeit + Gehzeit) Schleusungszeit ist maßgebend Die Reaktionszeit gem. TR Strab Brandschutz von 2 Minuten, zuzüglich der längsten Gehzeit auf der Bahnsteigebene von 0,5 Minuten ist mit 2,5 Minuten kürzer, als die größte Stauungszeit von 5,2 Minuten. Damit ist die Schleusungszeit maßgebend.
Personenbelegung	$\Sigma = 1.150$ Pers. (nach Angaben der BVG in Anlehnung an das EBA-Verfahren mit 65% Personenbelegung)
Bahnsteigebene	$\Sigma = 1.150$ Pers. Die Personen in der Bahnsteigebene verteilen sich wie folgt: <ul style="list-style-type: none"> - Auf jedem Gleis befindet sich ein zu 65% besetzter Zug mit jeweils 500 Personen - Auf den beiden Bahnsteigen werden insgesamt 150 Personen platziert (nach EBA-Verfahren werden 30% der Personen eines vollbesetzten Zuges angesetzt, aufgrund der realitätsnahen Belegung ergeben sich die wartenden Personen auf dem Bahnsteig aus 30% eines zu 65% belegten Zuges).
Lichte Breite der geöffneten Aufgänge bzw. Ausgänge	
Ausgänge aus den Bahnen	Jeweils 1,20 m (pro Bahn 3 Ausgänge)
Aufgang aus der Bahnsteigebene in die Schalterhalle (östlich)	Die feste Treppe, in Richtung der Schalterhalle, hat eine Breite von ca. 2,20 m.

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Randparameter für die Räumungsberechnung	Räumung der Station über alle Ausgänge
Aufgang aus der Bahnsteigebene in die Schalterhalle (westlich)	Die feste Treppe, in Richtung der Schalterhalle, hat eine Breite von ca. 1,80 m .
Neuer Aufgang Ost Bahnsteigebene ins Freie	Die feste Treppe, die ins Freie führt, weist eine Breite von 2,20 m auf.
Neuer Aufgang West Bahnsteigebene ins Freie	Die feste Treppe, die ins Freie führt, weist eine Breite von 2,20 m auf.
Aufgang I/1 von der Schalterhalle ins Freie	Die festen Treppen, die ins Freie führt, weisen eine Breite von 3,00 m auf.
Kapazitäten Effektive Breite der Ausgänge	
Aufgang aus der Bahnsteigebene in die Schalterhalle (östlich)	1,80 m / 0,6 m → 3 Fluchtpuren 3 Fluchtpuren → 99 Personen pro Minuten
Aufgang aus der Bahnsteigebene in die Schalterhalle (westlich)	2,20 m / 0,6 m → 3 Fluchtpuren 3 Fluchtpuren → 99 Personen pro Minuten
Neuer Aufgang Ost Bahnsteigebene ins Freie	2,20 m / 0,6 m → 3 Fluchtpuren 3 Fluchtpuren → 99 Personen pro Minuten
Neuer Aufgang West Bahnsteigebene ins Freie	2,20 m / 0,6 m → 3 Fluchtpuren 3 Fluchtpuren → 99 Personen pro Minuten
Aufgang I/1 von der Schalterhalle ins Freie	3,0 m / 0,6 m → 5 Fluchtpuren 5 Fluchtpuren → 165 Personen pro Minuten

Tabelle 3: Szenarienübersicht für die Räumungssimulation

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

Gehgeschwindigkeiten:

Maximale durchschnittliche Gehgeschwindigkeit entlang von Ebenen, Korridoren 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.

Treppkapazitäten:

Die NFPA 130 gibt für die Kapazität einen Wert für Durchlässe von 0,0555 p/(mm x min) an. Für eine Fluchtpurbreite von 0,60 m ergibt sich somit eine Kapazität von 33 Personen pro Minute.

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Die STUVATec setzt für die Fahrtreppen eine reduzierte Kapazität aufgrund der schlechteren Begehbarkeit (höhere Treppenstufen etc.) an¹. Daher wurde auch hier der reduzierte Wert von 25 Personen pro Minute für eine Fluchtspur (0,6 m) angesetzt.

Die Fluchtspurbreite (feste Gehspurbreite) von 0,60 m wird allgemein zur Räumungsberechnung herangezogen. Die Fluchtspurbreite bezieht sich auf den Flächenbedarf einer einzelnen Person. Nach der Körperellipse von Fruin² (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.

¹ Bosch, J.W.: North-South-Line: The Development of a new Safety Concept, International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, December 1999

² Fruin, J.J.: Designing for Pedestrians. A Level of Service Concept. Polytechnical Institute of Brooklyn.Ph.D., 1970

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

2 Modellbildung FDS

2.1 Geometrie

Die Erstellung des geometrischen Modells erfolgte auf Grundlage der vorliegenden Pläne und Unterlagen für die U-Bahnstation Möckernbrücke. 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/ Teilbereiche des Daches werden aufgrund von Temperaturbeanspruchung versagen

Tabelle 4: Farbcode geometrisches Simulationsmodell

Die Randbereiche des Simulationsvolumens (an den Aufgängen, 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.

Randbedingungen bzw. Vereinfachungen:

Für die Berechnung mithilfe des Simulationsprogramms FDS mussten alle Objekte an das orthogonale Rechengitter angepasst werden, sodass geringfügige Abweichung bis zu +/- 0,2 m auftreten können. Diese Abweichungen werden sich in einem vertretbaren Rahmen bewegen, sodass keine signifikanten Auswirkungen auf die Ergebnisse der Simulationsberechnungen zu erwarten sind. Dies ist eine angemessene Vereinfachung, da die maßgebenden Eigenschaften des Objektes wie Fläche, Volumen und relevante Strömungshindernisse ausreichend genau abgebildet werden.

In den nachfolgenden Abbildungen sind zur Veranschaulichung des Modells verschiedene Ansichten der modellierten Geometrie zu sehen.

Datum
02.07.2018Projektnummer
T-00397Status
Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

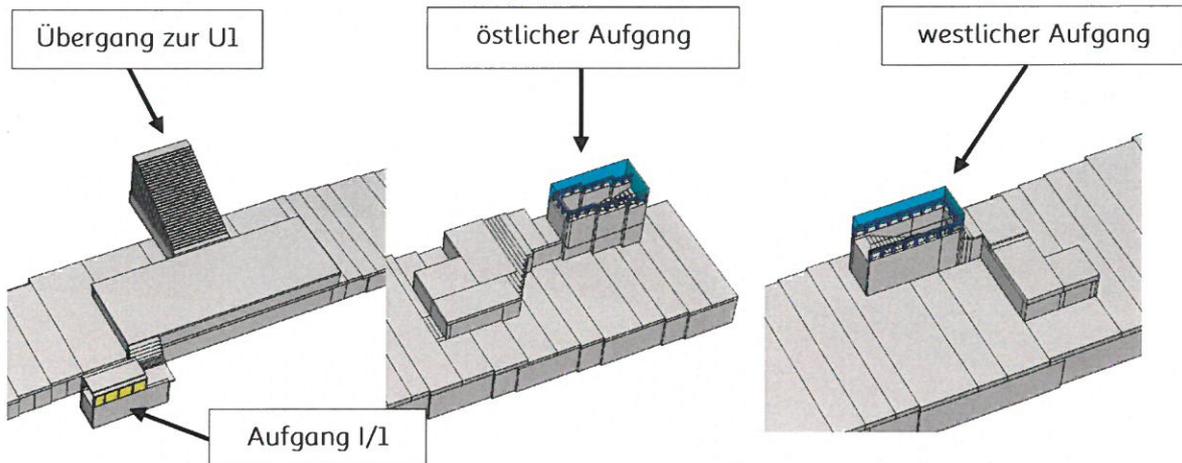


Abbildung 13: Darstellung des geometrischen Simulationsmodells (Schalterhalle, sowie ost- und westlicher Ausgang)

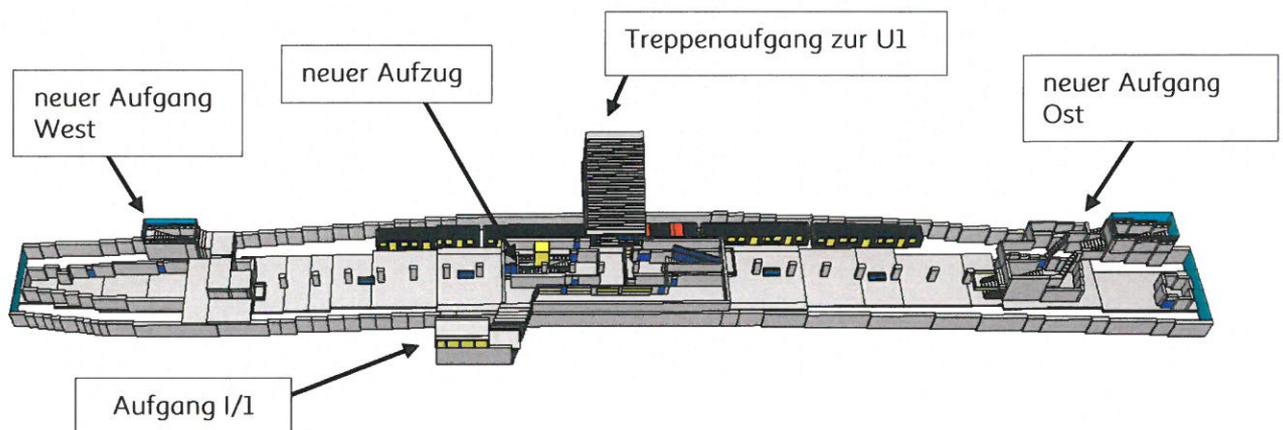


Abbildung 14: Ansicht ins Simulationsmodell – Horizontalschnitt: Bahnsteigebene

Aufgrund der Tatsache, dass sich durch den Rückbau der Fahrtreppe auf der Bahnsteigebene und dem Einbau des Aufzugs die Kubatur des Treppenaufgangs verändert, wurde die Position des Aufzugs so festgelegt, dass die Auswirkungen auf die, in den Treppenaufgang einströmenden Rauchgase, abgebildet werden können. Der Aufzug am Treppenaufgang zur U1 wurde in den geometrischen Modellen nicht mit berücksichtigt. Hierdurch werden sich keine signifikanten Veränderungen der Verrauchungssituation ergeben. Maßgeblich ist der Raucheintrag auf der Bahnsteigebene in die Schalterhalle zu untersuchen.

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

2.2 Brandschutztechnischer Maßnahmen zur Reduzierung der Rauchverschleppung

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

Auf der unteren Bahnsteigebene werden Rauchschürzen vor den Treppenaufgängen zur Schalterhalle und den neu errichteten Treppenaufgängen an den östlichen und westlichen Enden der Bahnsteigebene angeordnet. Diese werden nach den Anforderungen der BOStrab-Tunnelbauverordnung eine lichte Höhe von 2,3 m aufweisen. Aufgrund der Impulswirkung und der geradlinig geformten Kubatur ist hier ansonsten mit einem akuten Raucheintrag zu rechnen.

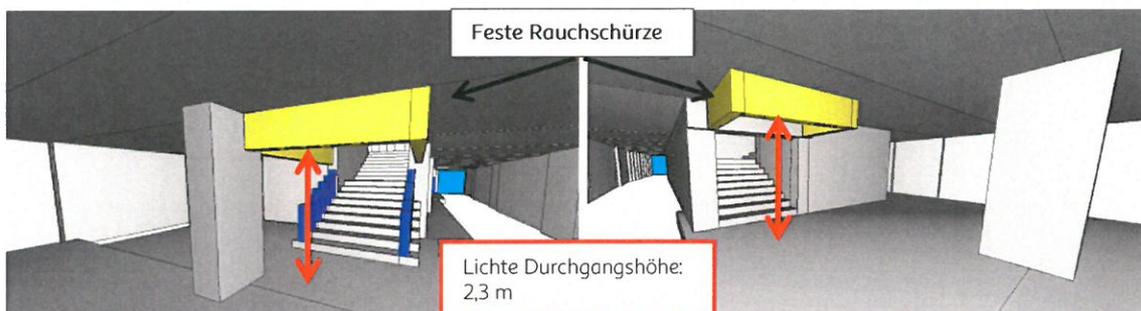


Abbildung 15: Darstellung der Rauchschürzen (links am neuen Ausgang Ost, rechts am neuen Ausgang West)



Abbildung 16: Darstellung der Rauchschürzen (links am östlichen Ausgang zur Schalterhalle, rechts am westlichen)

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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.

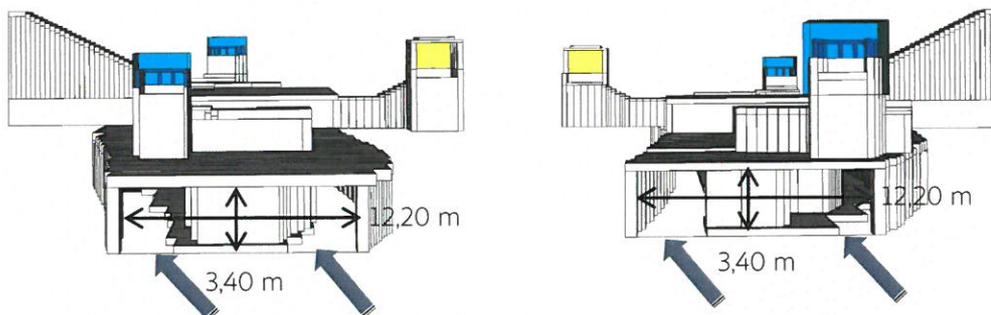


Abbildung 17: Zuluftfläche im Bereich des Tunnels (links: Osten; rechts: Westen)

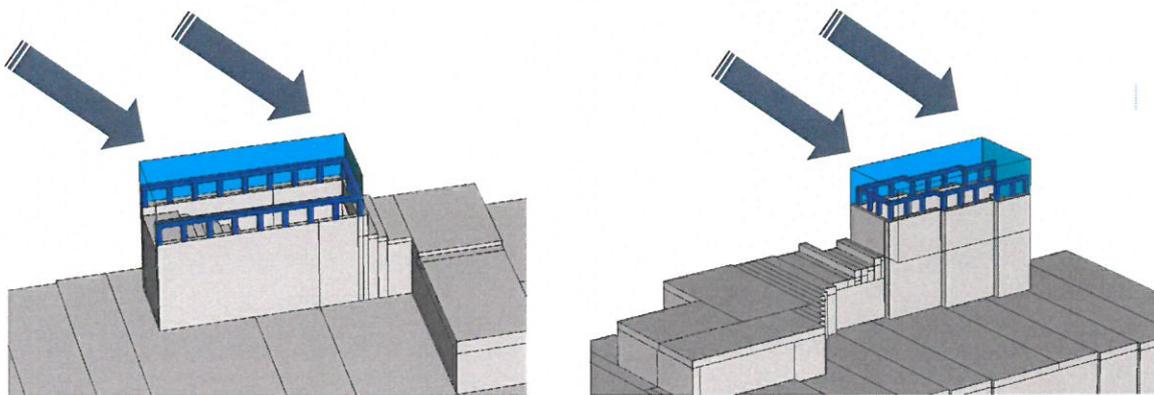


Abbildung 18: Nach- bzw. Abströmflächen über den neu geschaffenen Ausgängen im östlichen(rechts) und westlichen(links) Bereich der U-Bahnstation

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

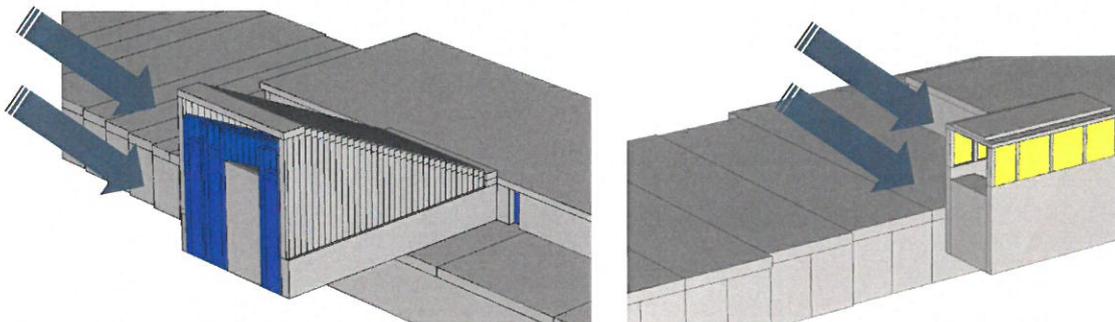


Abbildung 19: Nach- bzw. Abströmflächen über dem Übergang zur U1 und dem Ausgang I/1 aus der Schalterhalle ins Freie

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

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

2.4 Aufteilung der Rechengitter

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

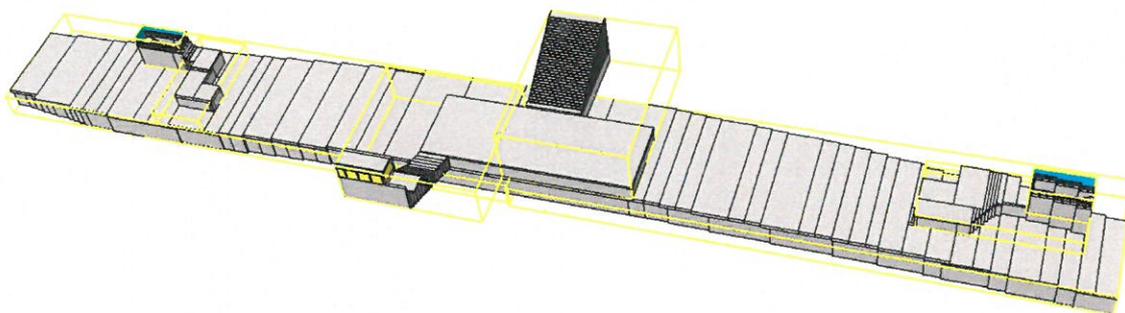


Abbildung 20: Aufteilung der Rechengitter - Ansicht von Oben

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.

Tabelle 5: Einrichtungen der brandschutztechnischen Infrastruktur

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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.

In den nachstehenden Abbildungen kann die räumliche Lage des Simulationsmodells anhand der Skalen entnommen werden. Zudem können die Schnittführungen bei den Auswertungen in Kapitel 3.3 und Kapitel 3.4 nachvollzogen werden.

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

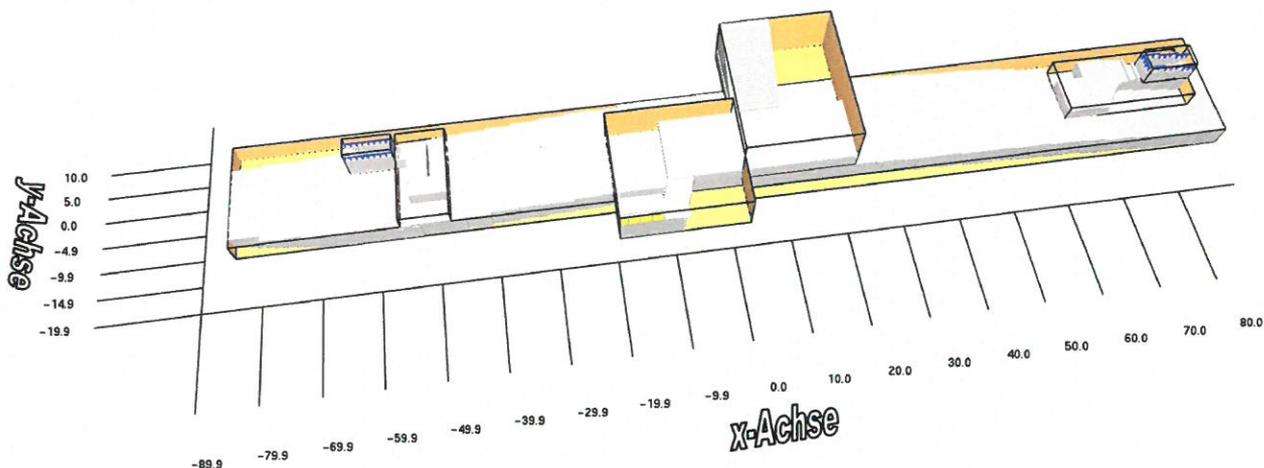


Abbildung 21: Koordinaten (x- und y-Achse) im geometrischen Modell für die U-Bahnstation

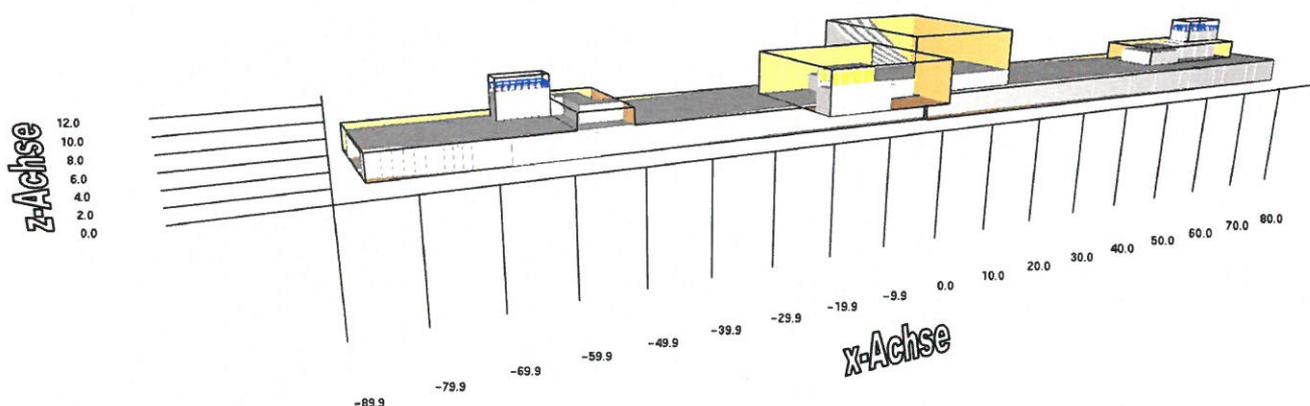


Abbildung 22: Koordinaten (x- und z-Achse) im geometrischen Modell für die U-Bahnstation

Das folgende Schnittbild (Abbildung 23) zeigt ein Beispiel für einen vertikalen Schnitt durch das Simulationsmodell mit der Darstellung des Extinktionskoeffizienten (hier: $0,3 \text{ m}^{-1}$). Anhand der Skala auf der rechten Seite des Bildes ist erkennbar, dass die Rauchgasschicht auf der Bahnsteigebene mit dem hier definierten Grenzwert auf ca. 2,0 m abgesunken ist.

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; $1/\text{m} = \text{m}^{-1}$). Die Farbskala am rechten Bildrand zeigt die

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Zuordnung zu dem jeweiligen Extinktionskoeffizienten. Grenzwerte können auf der Skala schwarz markiert werden und zeigen sich dann im Schnitt ebenfalls schwarz (z.B. $0,3 \text{ m}^{-1}$). Am unteren Bildrand findet sich die Simulationszeit (hier: ca. 6,0 Minuten).

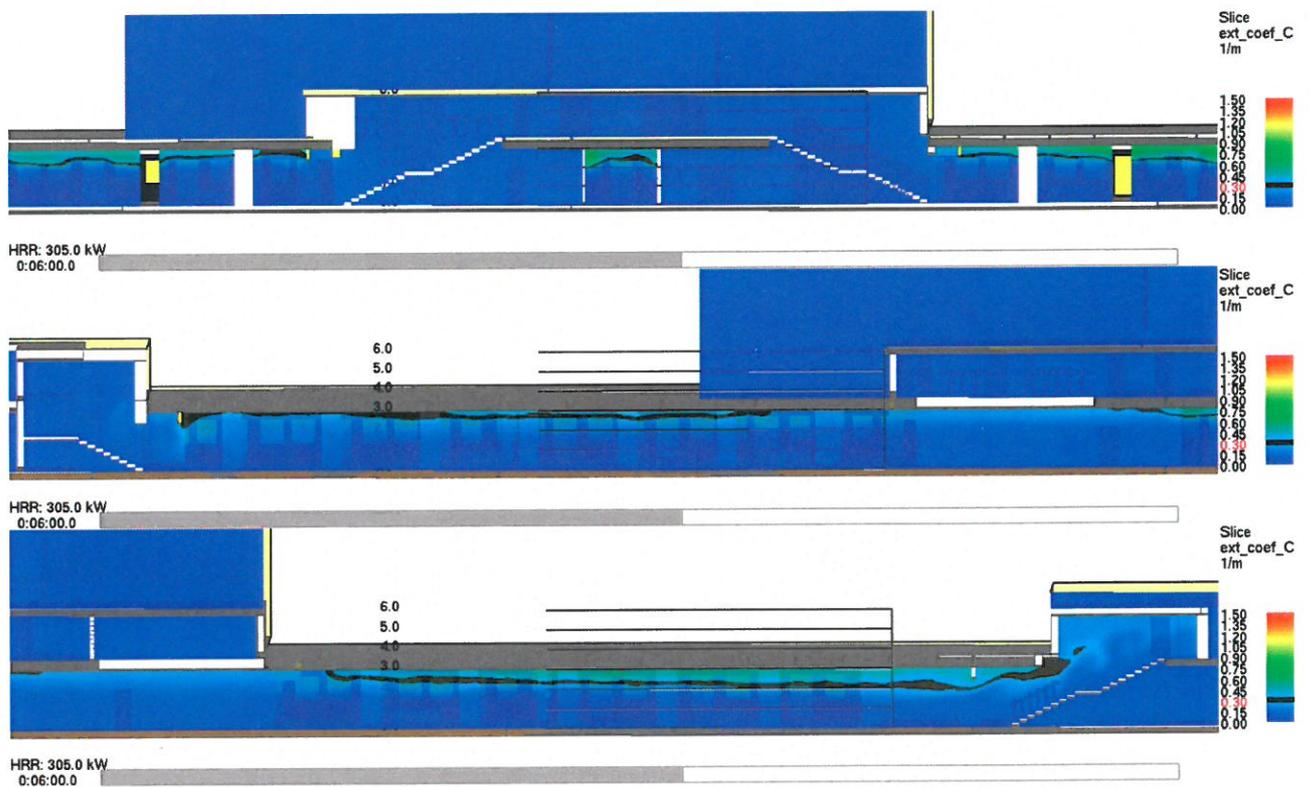


Abbildung 23: Beispielhafte Darstellung der Simulationsergebnisse für einen Vertikalschnitt durch den Bahnsteig

Aufgrund der Länge des Bahnsteiges wurde für eine einfache und nachvollziehbare Darstellung der Berechnungsergebnisse der vertikale Auswertungsschnitt gedrittelt und untereinander positioniert. Der erste Schnitt zeigt den Bereich mittig des Bahnsteiges, der darunter liegende Schnitt das westliche und der letzte Schnitt das östliche Bahnsteigende. 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.

Die Bewertungstabelle beinhaltet Kommentare und Bewertungen zu den jeweiligen Schnittbildern (Abbildung 24: Beispiel für eine Bewertungstabelle). Diese Tabelle stellt neben dem relevanten Schutzziel und einem Kommentar den aktuellen Status der Schutzzielbefreiung dar. Hierzu wird im rechten Tabellenbereich, wie im folgenden Beispiel, das Schutzziel in Form eines Ampelsystems in den Farben

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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: 05:00 min Selbstrettung
---	--	---

Abbildung 24: Beispiel für eine Bewertungstabelle

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

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, sodass das Schutzziel weiterhin gewährleistet werden kann.	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 $> 0,3 \text{ m}^{-1}$

Tabelle 6: Farbkennzeichnung zur Bewertung des Schutzziels in Abhängigkeit der jeweiligen Ebene

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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 Fahrzeit der Bahn (100 Sekunden) berücksichtigt.

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

<p>Zeitpunkt 1: 2,2 Minuten Nach 2,2 Minuten befindet sich alle Personen im Stauungsbereich vor einem der Treppenaufgänge.</p>
<p>Zeitpunkt 2: 4,6 Minuten Zu diesem Zeitpunkt betritt die letzte Person auf der Bahnsteigebene den Treppenaufgang in Richtung der Schalterhalle bzw. den Treppenaufgang in Richtung der neu geschaffenen Aufgänge</p>
<p>Zeitpunkt 3: 4,8 Minuten Die letzte Person hat die Treppe verlassen und betritt die Schalterhalle oder die Verbindungsgänge der neuen Aufgänge.</p>
<p>Zeitpunkt 4: 5,4 Minuten Die letzte Person die die Schalterhalle oder einen der Gänge, der neuen Aufgänge an den Bahnsteigenden, durchquert, befindet sich im Stauungsbereich vor einer der Treppen ins Freie.</p>
<p>Zeitpunkt 5: 6,0 Minuten Zu diesem Zeitpunkt betritt die letzte Person aus der Schalterhalle oder einem der neuen Aufgänge den Treppenaufgang ins Freie.</p>
<p>Zeitpunkt 6: 6,3 Minuten Der U-Bahnhof ist geräumt. Zudem befinden sich die letzten Personen in einem Umkreis von 10m um die Treppenaufgänge. Diese Gehzeit wurde in der Berechnung berücksichtigt.</p>

Für eine ganzheitliche Betrachtung werden darüber hinaus weitere Auswertungszeitpunkte bestimmt. Die Berechnungen der BVG liegen als Anhang dem Gutachten bei.

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.3 Auswertung Szenario 1: 00397-0402 – Fahrzeug in Bahnsteigmitte

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

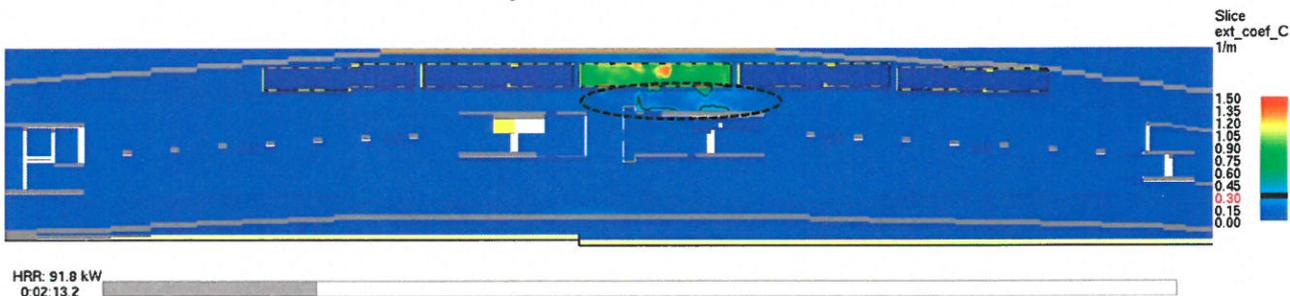


Abbildung 25: Brandszenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Alle Personen auf der Bahnsteigebene sind bereits nach 2,2 Minuten zu den Treppenaufgängen gelangt. In dem Schnittbild sind noch keine Rauchgasansammlungen in einem kritischen schutzzielrelevanten Bereich vorhanden.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	---	---------------------------------------

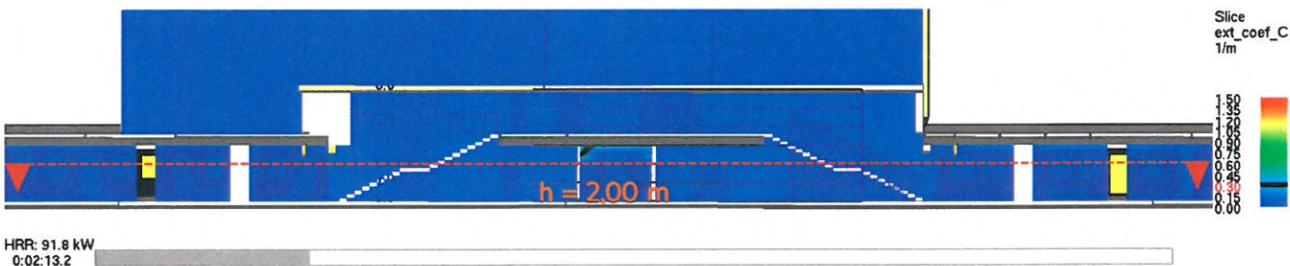


Abbildung 26: Brandszenario 1 – Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die direkt am Brandort liegenden Treppenaufgänge, welche in die Schalterhalle führen, sind frei von Rauchgasen. Die vom Brandort aufsteigenden Rauchgase sammeln sich zu diesem Zeitpunkt im Bereich zwischen der Bahn und der Außenwand der Treppenaufgänge.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	---	---------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

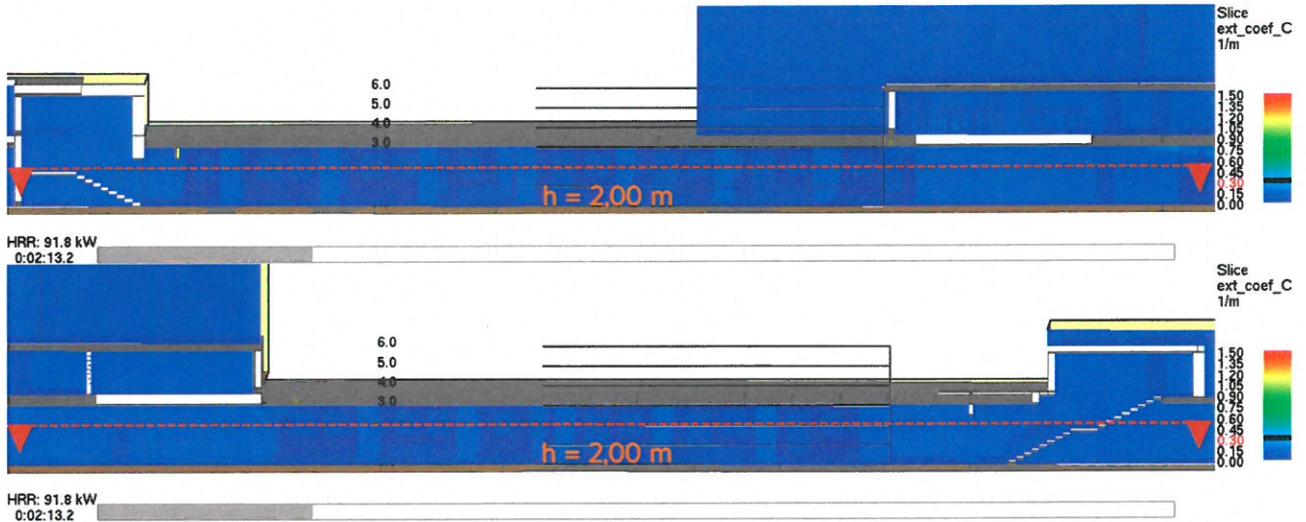


Abbildung 27: Brandszenario 1 – Vertikalschnitt $y = -3,8\text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigbereich, unten: östlicher Bahnsteigbereich

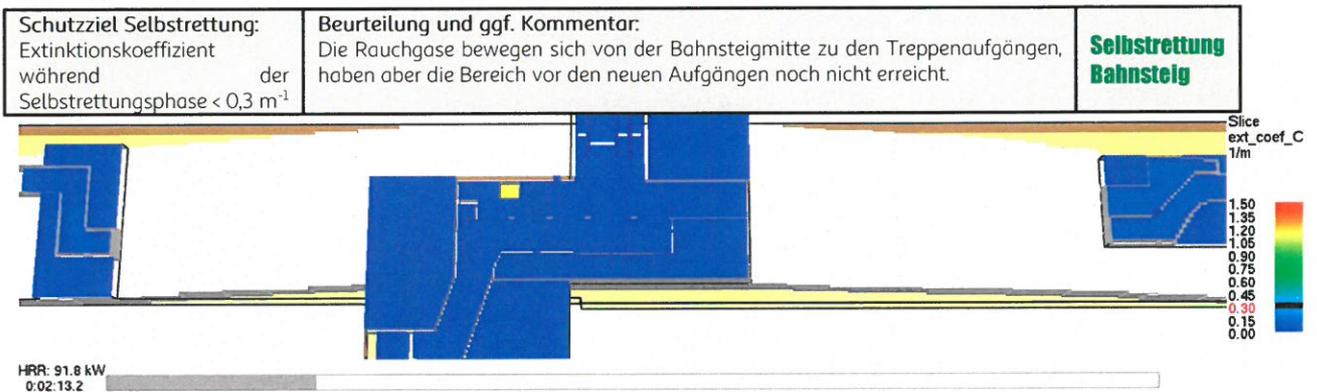


Abbildung 28: Brandszenario 1 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4\text{ m} - 2,0\text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3\text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Schalterhalle und die Verbindungsgänge der neuen Aufgänge sind zu diesem Zeitpunkt frei von Rauchgasen in einer schutzzielrelevanten Konzentration.</p>	<p>Selbstrettung Schalterhalle/ Verbindungsgänge</p>
---	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.3.2 Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten

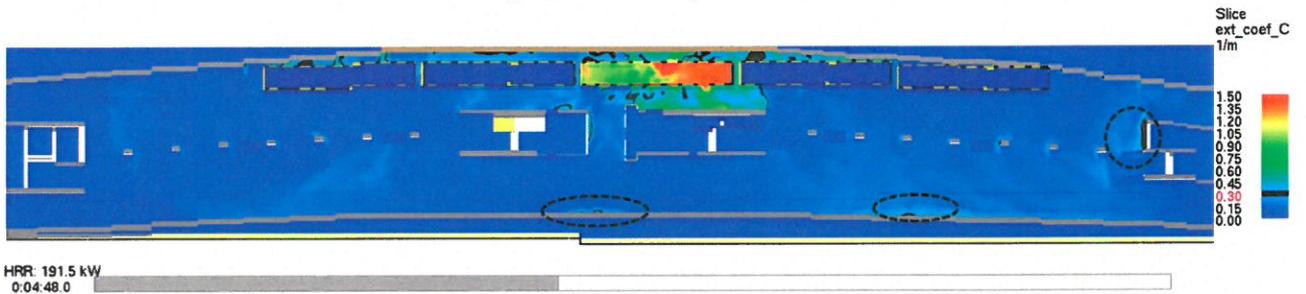


Abbildung 29: Brandszenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In der Bahnsteigebene breiten sich die Rauchgase weiter aus. An den Tunnelwänden und im Bereich des Treppenaufgangs am östlichen Ende lassen sich die ersten lokalen Grenzwertüberschreitungen erkennen. Die Selbstrettung ist abgeschlossen.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	---	---------------------------------------

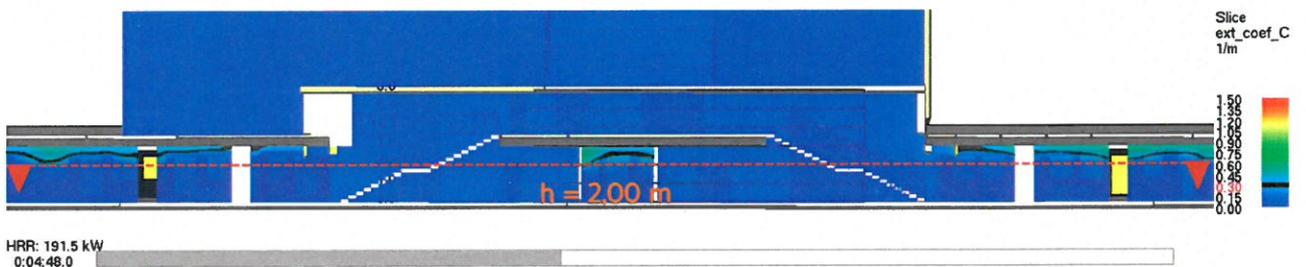


Abbildung 30: Brandszenario 1 - Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Zu diesem Zeitpunkt verlässt die letzte Person eine der Treppen in die Schalterhalle. Die Rauchgase breiten sich in Richtung der Tunnelmünder aus, es kommt zu keinem Einströmen von Rauchgasen in die Treppenaufgänge zur Schalterhalle.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	---	---------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

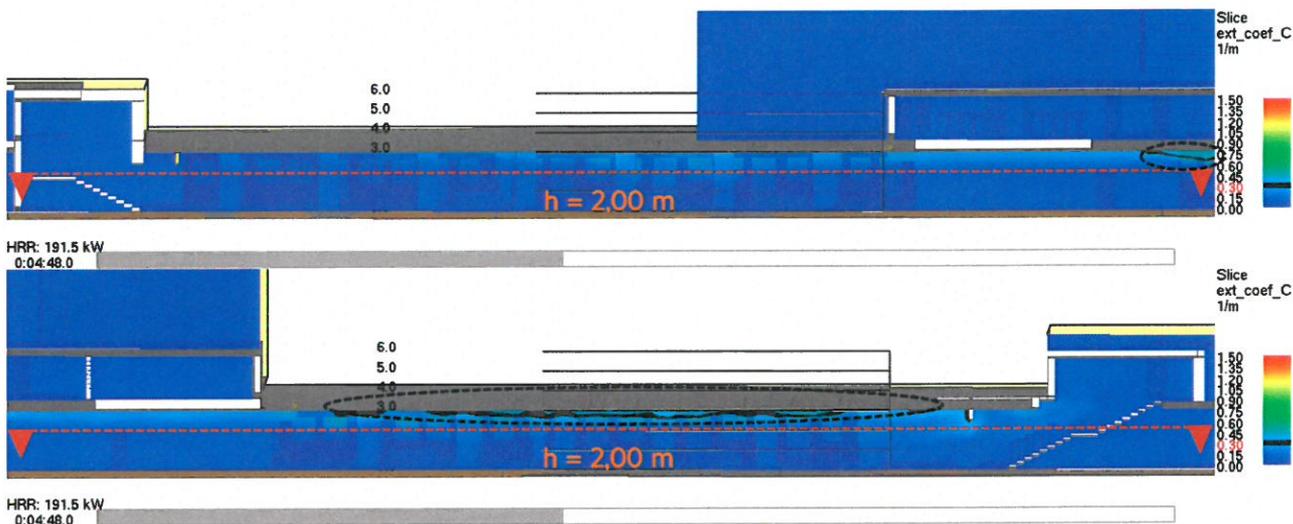


Abbildung 31: Brandszenario 1 – Vertikalschnitt $y = -3,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigebereich, unten: östlicher Bahnsteigebereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Deckenbereichen vor den Aufgängen am Ende der Bahnsteigebene kommt es zu ersten Grenzwertüberschreitungen. Allerdings unterschreiten diese nicht die schutzzielrelevante Höhe von 2,0 Metern.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
---	--	---------------------------------------



Abbildung 32: Brandszenario 1 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Schalterhalle und die Verbindungsgänge der neuen Aufgänge sind zu diesem Zeitpunkt noch immer frei von Rauchgasen in einer schutzzielrelevanten Konzentration.</p>	<p>Selbstrettung Schalterhalle/ Verbindungsgänge</p>
---	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.3.3 Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,0 Minuten

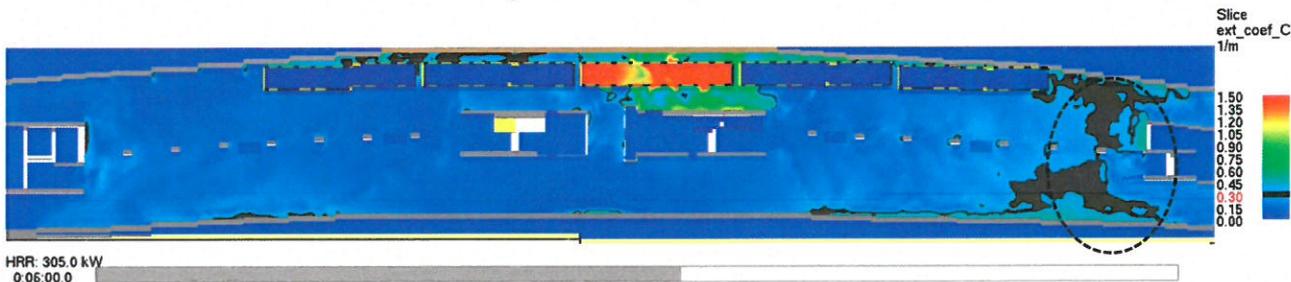


Abbildung 33: Brandszenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,0 Minuten befinden sich keine Personen mehr auf dem Bahnsteig und den Treppenaufgängen. Im Bereich des östlichen Aufgangs (schwarze Markierung) sammeln sich weiter Rauchgase dessen Konzentration den Grenzwert überschreiten.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

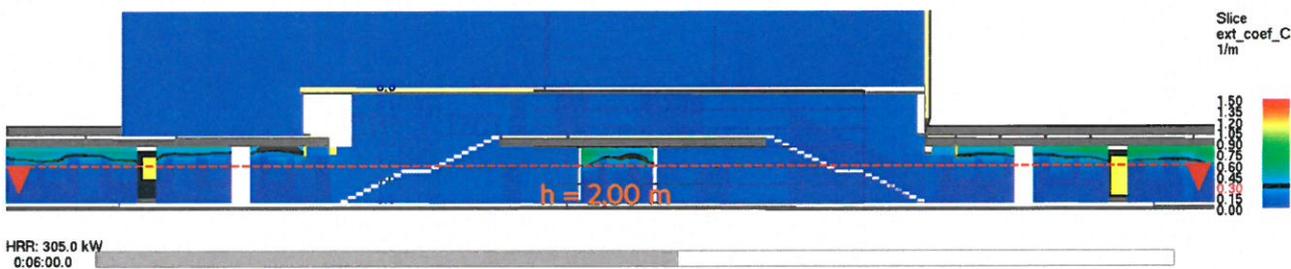


Abbildung 34: Brandszenario 1 - Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Auch nach 6,0 Minuten sind die Aufgänge in die Schalterhalle frei von Rauchgasen. Zudem ist zu erkennen, dass die Rauchgasschicht in den Deckenbereichen vor den Aufgängen nicht unter 2,0 Meter abgesunken ist.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

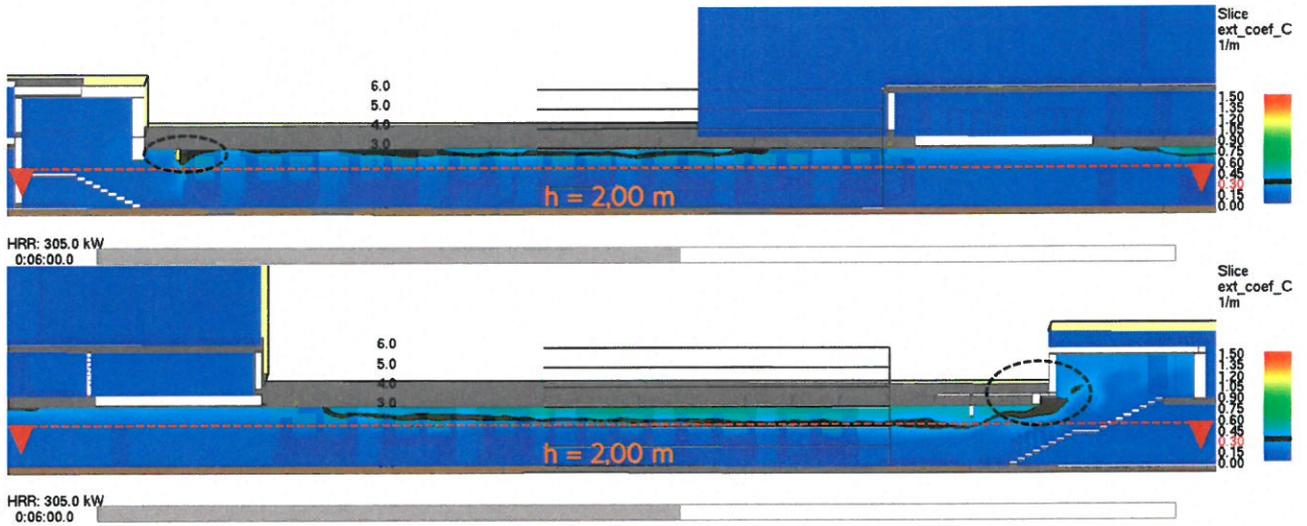


Abbildung 35: Brandszenario 1 – Vertikalschnitt y = -3,8 m – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigbereich, unten: östlicher Bahnsteigbereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Am westlichen Aufgang werden die Rauchgase durch die Rauchschürze am Einströmen in den Treppenaufgang gehindert. Im östlichen Teil beginnen die sich unter Decke sammelnden Rauchgase in den Treppenaufgang einzuströmen. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich bereits die letzten Personen auf den Treppenaufgängen ins Freie. Trotzdem wäre die Selbstrettung weiterhin möglich, da trotz einströmender Rauchgase die Schutzhöhe nicht unterschritten wird.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------



Abbildung 36: Brandszenario 1 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt z = 5,4 m – 2,0 m über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Schalterhalle ist zu diesem Zeitpunkt immer noch frei von Rauchgasen in einer schutzzielrelevanten Konzentration. Im Bereich des östlichen Bahnsteigendes kommt es im Verbindungsgang zur Oberfläche zu ersten Rauchgasansammlungen.</p>	<p>Selbstrettung Schalterhalle/ Verbindungsgänge</p>
--	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.3.4 Brandszenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,3 Minuten

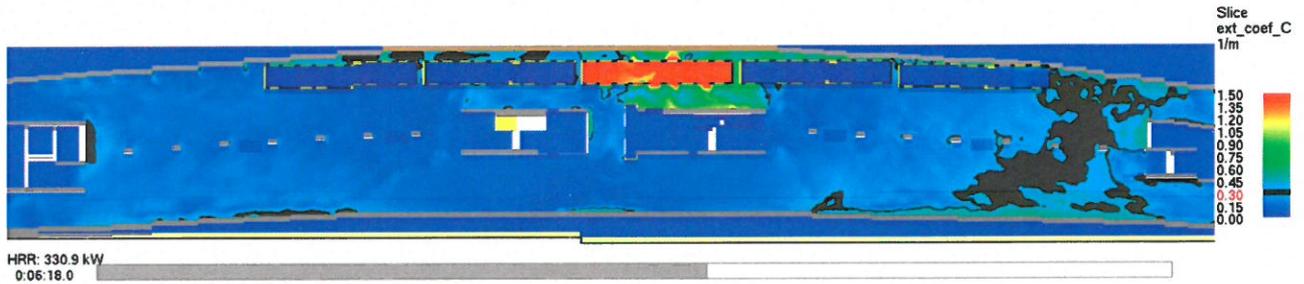


Abbildung 37: Brandszenario 1 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,3 Minuten befindet sich die letzte Person im Freien, die Station ist vollständig geräumt. Die Bahnsteigebene ist auf einer Höhe von 2,0 Metern über dem Boden weitestgehend frei von Rauchgasen in einer schutzzielrelevanten Konzentration, lediglich im Bereich des östlichen Bahnsteigendes treten Grenzwertüberschreitungen, sowie Unterschreitungen der Schutzhöhe auf.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	---	--------------------------------------

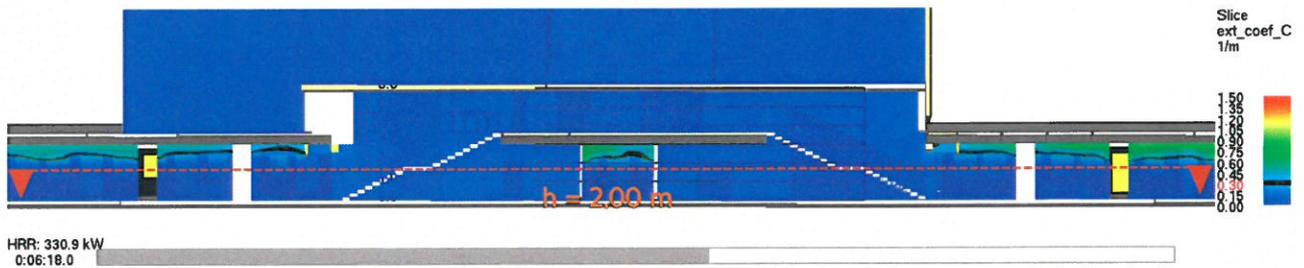


Abbildung 38: Brandszenario 1 – Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Im Bereich vor den Aufgängen zur Schalterebene ist die Rauchschicht weiterhin nicht unter 2,0 Meter gesunken. Es strömen keine Rauchgase in die Treppenaufgänge ein.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

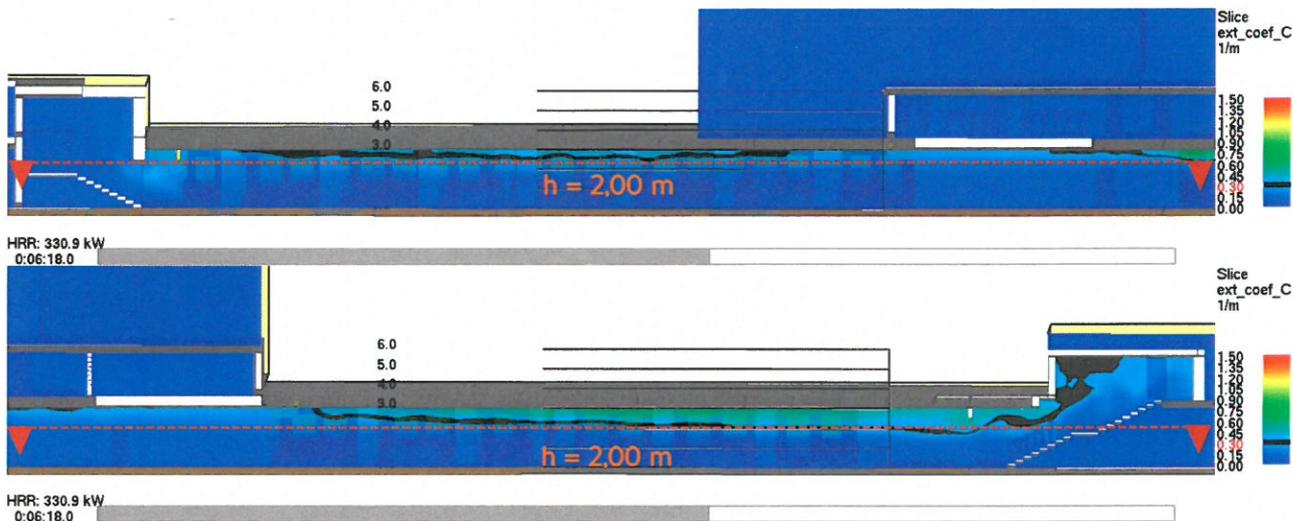


Abbildung 39: Brandszenario 1 – Vertikalschnitt $y = -3,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigebereich, unten: östlicher Bahnsteigebereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Der Bereich vor dem westlichen Aufgang bleibt frei von Rauchgasen, da diese auf der Bahnsteigebene nicht unter eine Höhe von 2,3 Metern sinken. Im östlichen Treppenaufgang strömen weiter geringfügige Mengen an Rauchgase in den Verbindungsgang zur Treppe, welche ins Freie führt. Die Selbstrettung ist bereits abgeschlossen.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
---	---	--------------------------------------

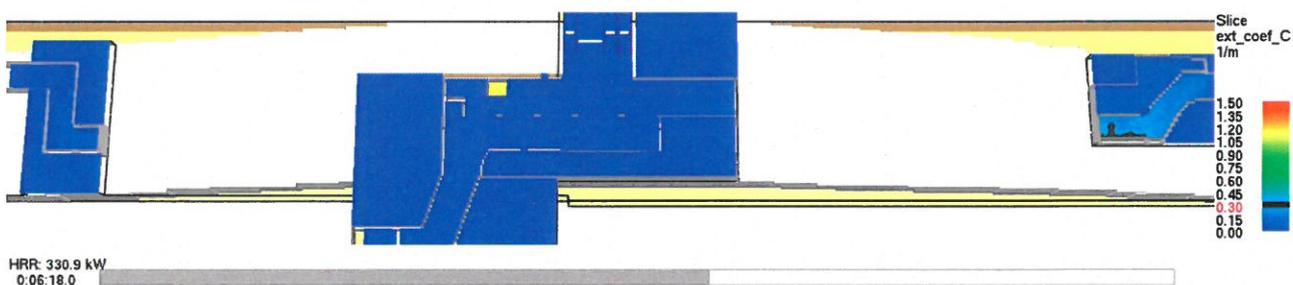


Abbildung 40: Brandszenario 1 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Der westliche Verbindungsgang, sowie die Schalterhalle sind weiterhin frei von Rauchgasen. Im Bereich des östlichen Treppenaufgangs kommt es zu ersten Grenzwertüberschreitungen. Die Station ist zu diesem Zeitpunkt vollständig geräumt.</p>	<p>Schalterhalle/ Verbindungsgänge geräumt</p>
---	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.3.5 Brandszenario 1 – Temperatur- und Strömungszustand

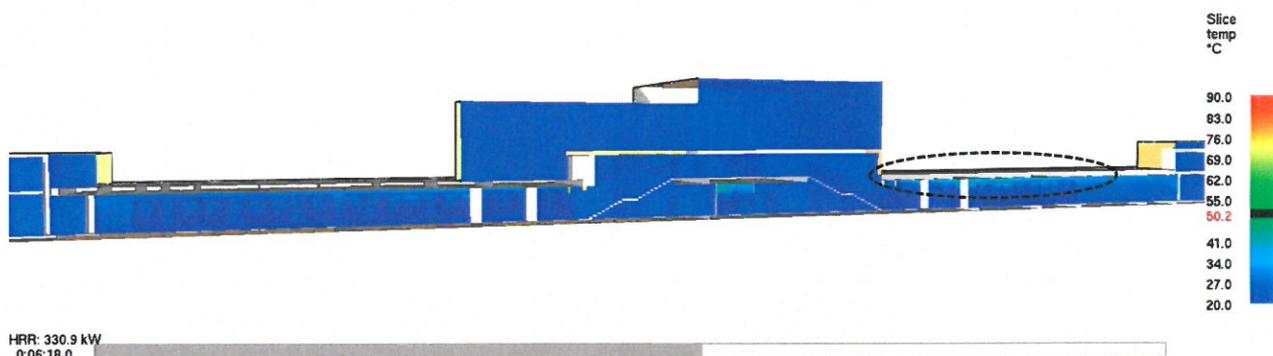


Abbildung 41: Rauchgastemperaturen nach 6,3 Minuten – Vertikalschnitt $y = 0,6\text{ m}$

<p>Schutzziel: Selbstrettung Rauchgastemperatur < 50 °C</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,3 Minuten (Beendigung der Selbstrettung) sind lediglich in einem eng begrenzten Bereich, in unmittelbarer Nähe zu der Brandquelle (Bahn), Grenzwertüberschreitungen erkennbar. Demzufolge kann das Schutzziel Selbstrettung, bezogen auf eine kritische Rauchgastemperatur von 50 °C, über den gesamten Zeitraum gewährleistet werden. Auf der Verteilerebene treten nach 6,3 Minuten ebenfalls keine erhöhten Temperaturen unter der Schutzhöhe von 2,0 m auf.</p>	<p>Selbstrettung Bahnhofshalle</p>
---	--	---



Abbildung 42: Strömungssituation nach 6,3 Minuten – Vertikalschnitt $y = 0,6\text{ m}$

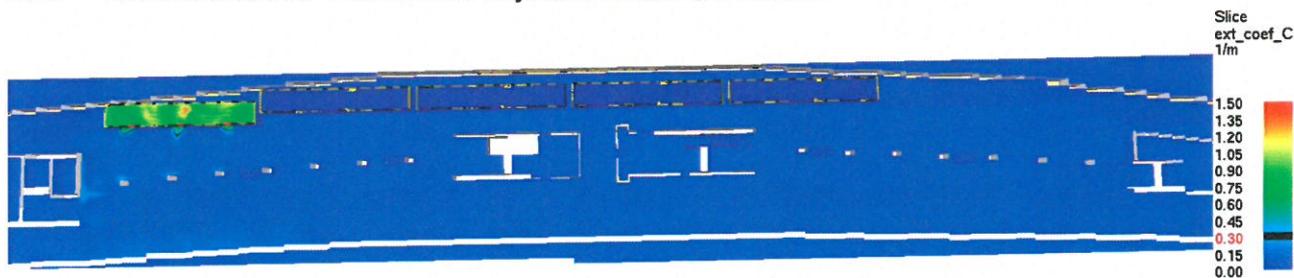
<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Strömungsbildung deckt sich im zeitlichen Verlauf, in einer Höhe von 2,0 m über dem Boden des Bahnsteiges, mit den Ausbreitungsfortschritten des Verrauchungszustandes. In dem Auswertungsschnitt sind die Querschnittsveränderungen durch die lokalen Erhöhungen der Strömungsgeschwindigkeiten erkennbar. Gerade im Bereich unmittelbar um die Brandquelle und vor den Treppenaufgängen treten Turbulenzen und höhere Geschwindigkeiten auf. Insgesamt sind die Strömungsgeschwindigkeiten moderat.</p>

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

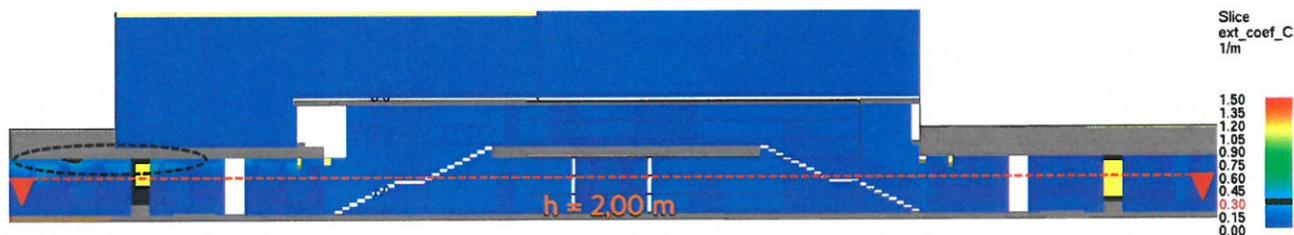
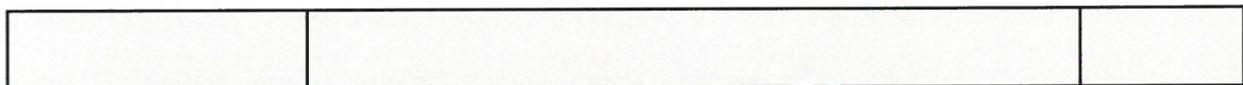
U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.4 Auswertung Szenario 2: 00397-0502 – Fahrzeug am westlichen Bahnsteigende

3.4.1 Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 2,2 Minuten



HRR: 88.4 kW
0:02:13.2
Abbildung 43: Brandszenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene



HRR: 88.4 kW
0:02:13.2
Abbildung 44: Brandszenario 2 – Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die mittig liegenden Treppenaufgänge, welche in die Schalterhalle führen, sind noch frei von Rauchgasen. Die vom Brandort aufsteigenden Rauchgase stömen langsam in Richtung des westlichen Treppenaufgangs in die Schalterhalle, die ersten lokalen Grenzwertüberschreitungen im Deckenbereich sind erkennbar.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	---	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

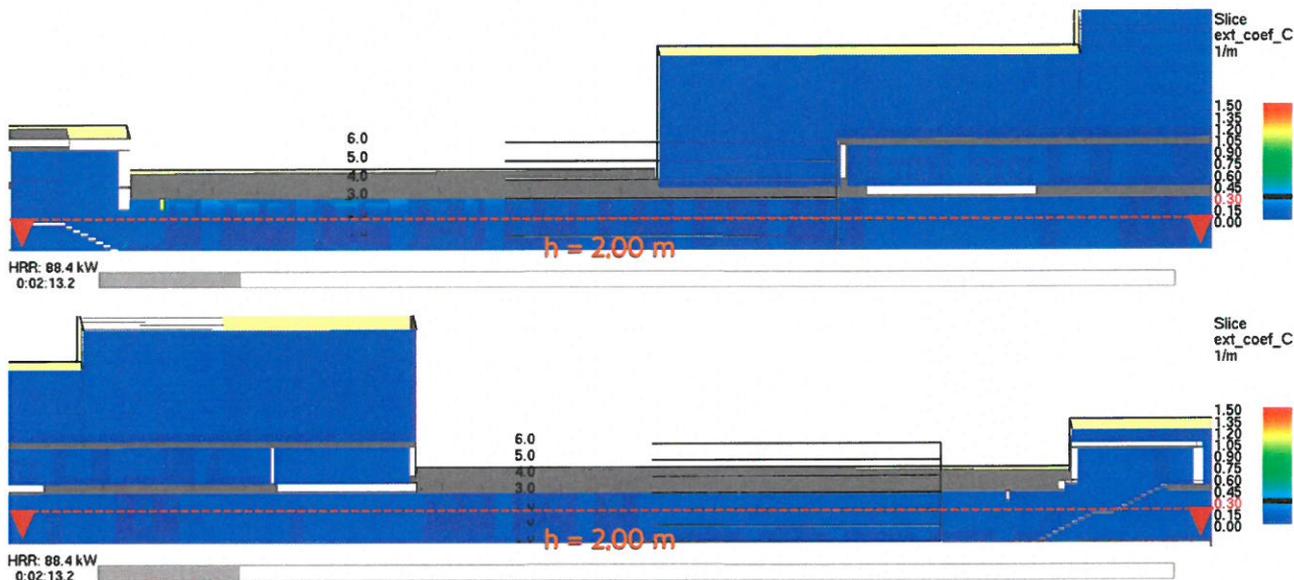


Abbildung 45: Brandszenario 2 – Vertikalschnitt $y = -3,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigbereich, unten: östlicher Bahnsteigbereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Rauchgase steigen vertikal am Brandort auf und strömen in Richtung der Treppenaufgängen, diese sind jedoch noch nicht bis in die Mitte des Bahnsteiges vorgedrungen.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
---	--	---------------------------------------

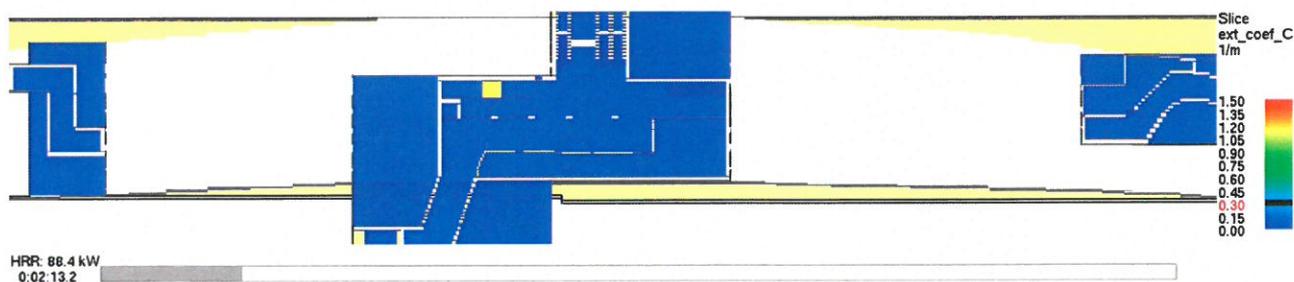


Abbildung 46: Brandszenario 2 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Schalterhalle und die Verbindungsgänge der neu geschaffenen Aufgänge sind zu diesem Zeitpunkt frei von Rauchgasen in einer schutzzielrelevanten Konzentration.</p>	<p>Selbstrettung Schalterhalle/ Verbindungsgänge</p>
---	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.4.2 Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten

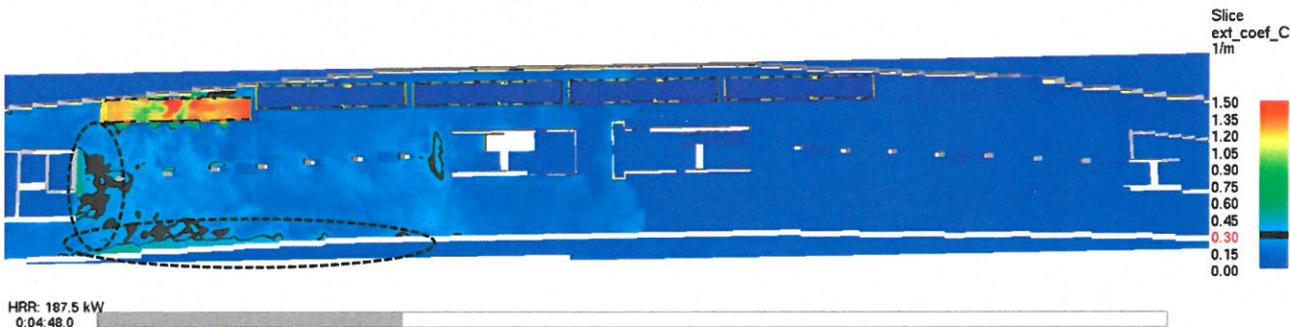


Abbildung 47: Brandszenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: An den Tunnelwänden und im Bereich des Treppenaufgangs am westlichen Ende lassen sich lokalen Grenzwertüberschreitungen erkennen. Die Selbstrettung ist zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	--	---------------------------------------

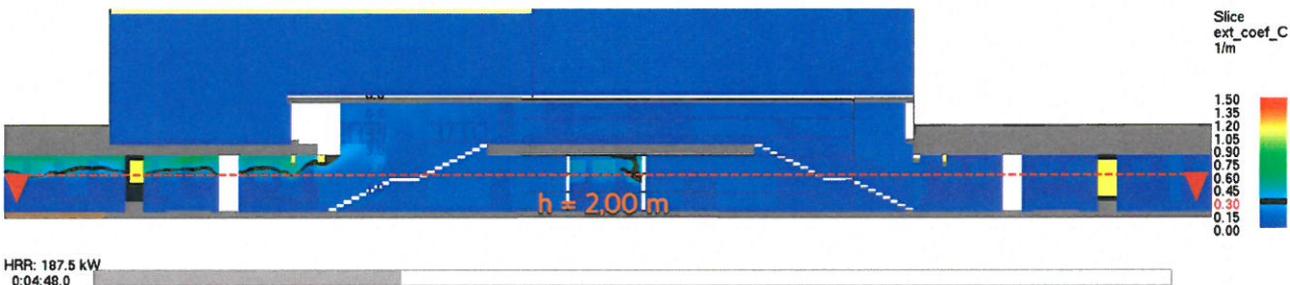


Abbildung 48: Brandszenario 2 – Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Zu diesem Zeitpunkt verlässt die letzte Person eine der Treppen in die Schalterhalle. Die Rauchgase haben sich unter der Decke bis zur Rauchschräge ausgebreitet und es kommt zu einem leichten Einströmen von Gasen in unkritischer Konzentration. Die Selbstrettung bleibt sichergestellt.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
--	--	---------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

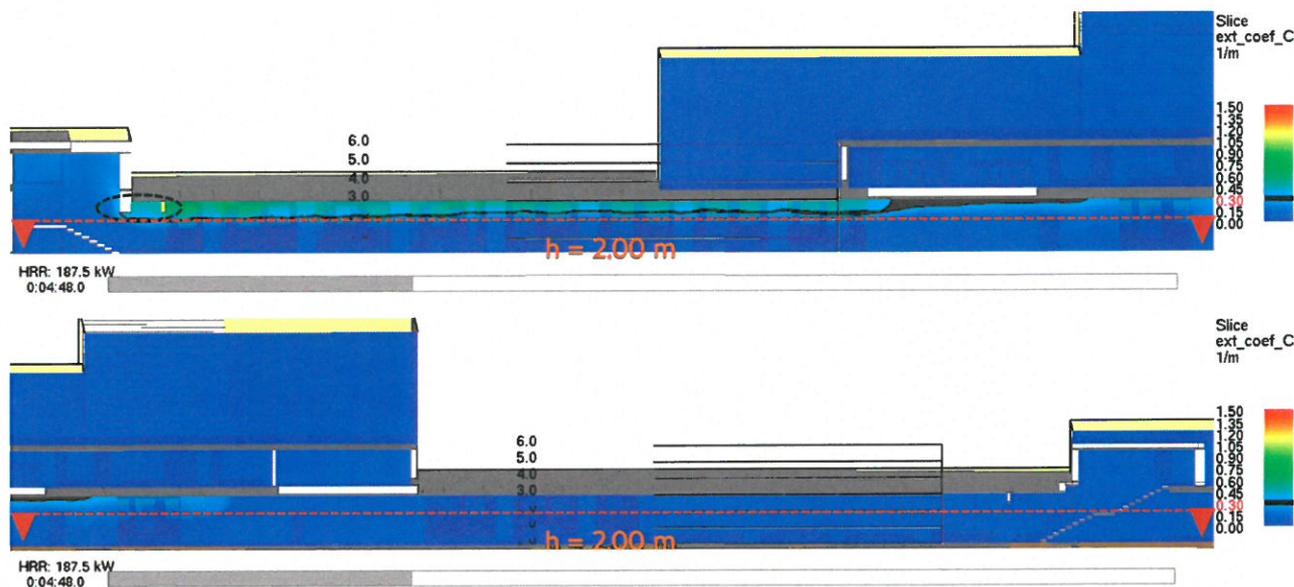


Abbildung 49: Brandszenario 2 – Vertikalschnitt $y = -3,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigbereich, unten: östlicher Bahnsteigbereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Deckenbereichen vor dem westlichen Ausgang am Ende der Bahnsteigebene kommt es zu ersten Grenzwertüberschreitungen. Allerdings unterschreiten diese die schutzzielrelevante Höhe von 2,0 Metern nur lokal im Bereich der Rauchschürze.</p>	<p>Selbstrettung Bahnsteig</p>
---	---	---------------------------------------



Abbildung 50: Brandszenario 2 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Schalterhalle und auch die Verbindungsgänge sind noch frei von Rauchgasen in schutzzielrelevanter Konzentration. Bei den beiden westlich gelegenen Aufgängen kommt es zu ersten Einströmeffekten.</p>	<p>Selbstrettung Schalterhalle/ Verbindungsgänge</p>
---	---	---

Datum 02.07.2018
 Projektnummer T-00397
 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.4.3 Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,0 Minuten

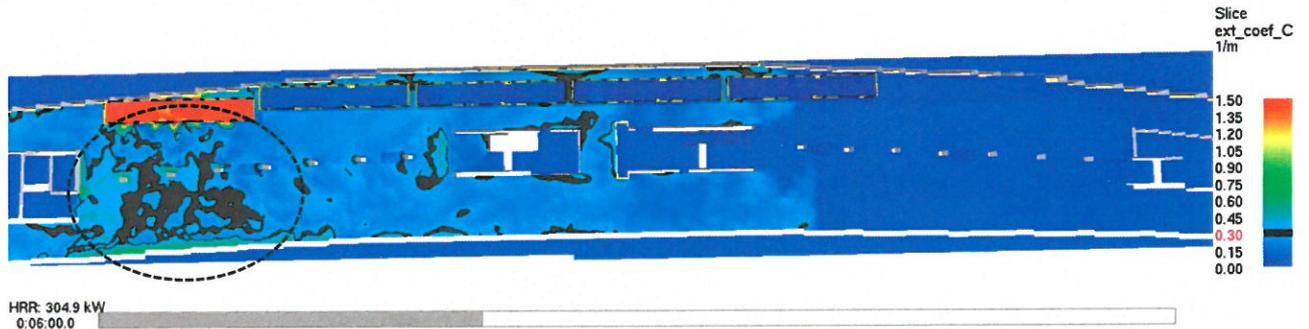


Abbildung 51: Brandszenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,0 Minuten befinden sich keine Personen mehr auf dem Bahnsteig und den Treppenaufgängen. Im Bereich des westlichen Aufgangs (schwarze Markierung) sammelt sich weiter Rauchgase dessen Konzentration den Grenzwert überschreiten.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

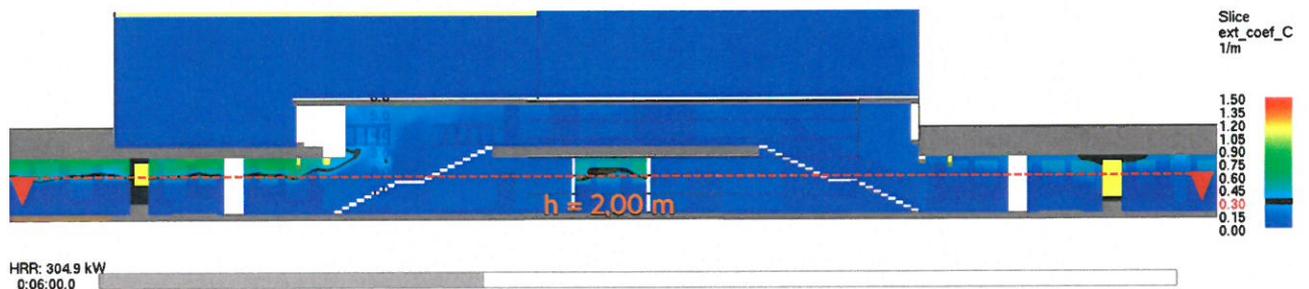


Abbildung 52: Brandszenario 2 - Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,0 Minuten sind beide östlichen Aufgänge weiter frei von Rauchgasen. Im westlichen Aufgang zur Schalterhalle strömen die ersten Rauchgase in kritischer Konzentration an der Rauchschürze vorbei in den Treppenaufgang. Die Bahnsteigebene ist bereits geräumt und die letzten Personen befinden sich in den Stauungsbereichen der Treppen an die Oberfläche.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

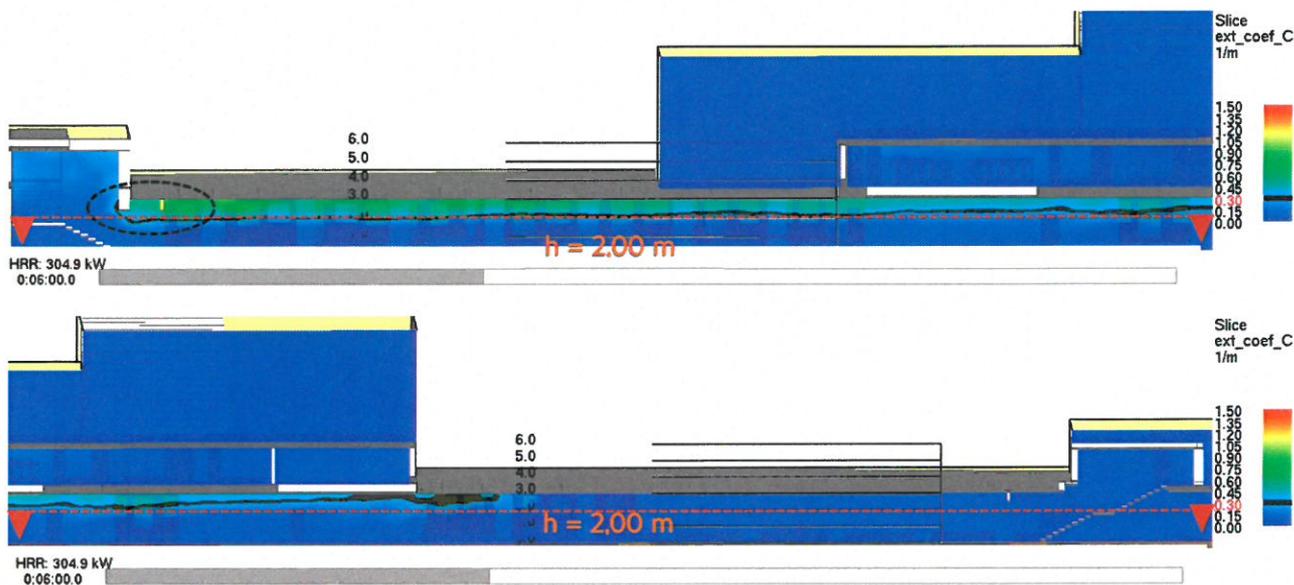


Abbildung 53: Brandszenario 2 – Vertikalschnitt $y = -3,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigbereich, unten: östlicher Bahnsteigbereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Am westlichen Aufgang wird durch die Rauchschürze das Einströmen der Rauchgase in den Treppenaufgang verzögert. Es kommt zu leichten Unterschreitungen der Schutzhöhe. Rauchgase in unkritischer Konzentration strömen in den Treppenaufgang. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich bereits die letzten Personen auf den Treppenaufgängen ins Freie.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
---	--	--------------------------------------



Abbildung 54: Brandszenario 2 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Über die Treppenaufgänge des östlichen Bahnsteigbereiches kommt es weiterhin zu keinem Raucheintrag. Im Bereich der westlichen Aufgänge erhöht sich die Konzentration der Rauchgase weiter und es kommt zu ersten lokalen Grenzwertüberschreitungen im Verbindungsgang am Bahnsteigende.</p>	<p>Selbstrettung Schalterhalle/ Verbindungsgänge</p>
---	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.4.4 Brandszenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,3 Minuten

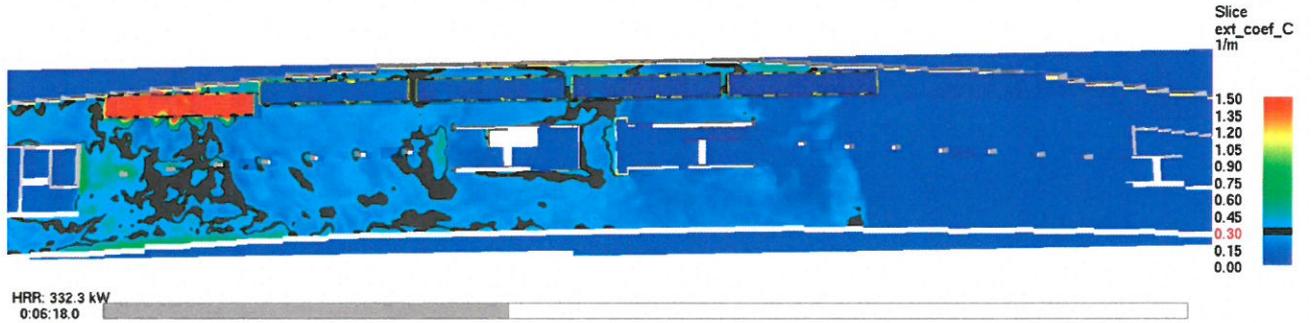


Abbildung 55: Brandszenario 2 - Horizontalschnitt z = 2,0 m - 2,0 m über der Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,3 Minuten befindet sich die letzte Person im Freien, die Station ist vollständig geräumt. Die Bahnsteigebene ist auf einer Höhe von 2,0 Metern über dem Boden weitestgehend frei von Rauchgasen in einer schutzzielrelevanten Konzentration. Lediglich im Bereich des westlichen Bahnsteigendes treten Grenzwertüberschreitungen, sowie Unterschreitungen der Schutzhöhe auf.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

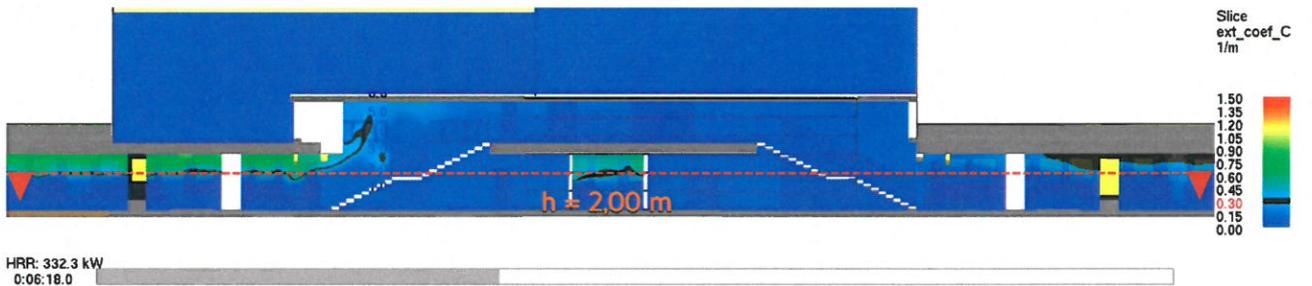


Abbildung 56: Brandszenario 2 - Vertikalschnitt y = 0,6 m Bereich der Aufgänge zur Schalterhalle

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Der Rauchgaseintrag im westlichen Treppenaufgang der Schalterhalle erhöht sich weiter.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
--	--	--------------------------------------

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

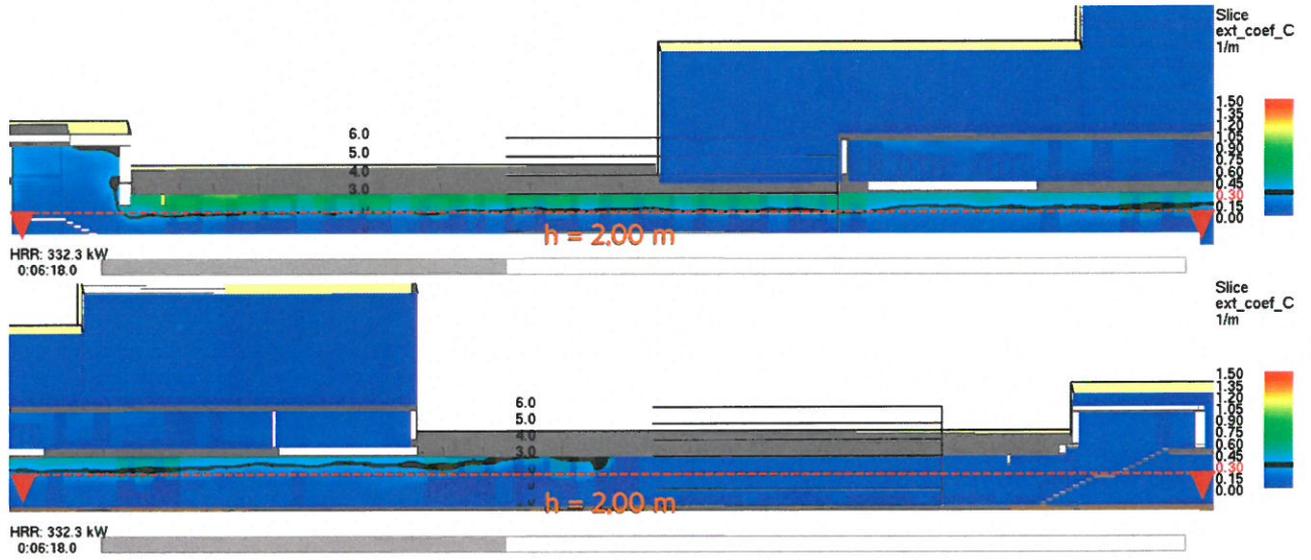


Abbildung 57: Brandszenario 2 – Vertikalschnitt $y = -3,8 \text{ m}$ – Bahnsteig, oben: westlicher Bahnsteigbereich, unten: östlicher Bahnsteigbereich

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Im Bereich vor dem westlichen Aufgang sinken die Rauchgase geringfügig unter eine Höhe von 2,0 Metern. Der östliche Treppenaufgang wurde von den sich ausbreitenden Gasen noch nicht erreicht. Die Selbstrettung ist bereits abgeschlossen.</p>	<p>Bahnsteigebene geräumt</p>
---	---	--------------------------------------

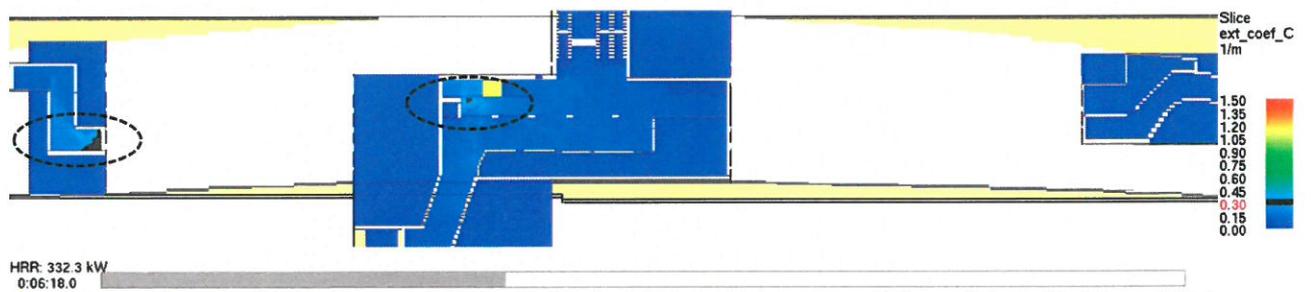


Abbildung 58: Brandszenario 2 – Schalterhalle (mittig) und Treppenaufgänge West (links) und Ost (rechts) Horizontalschnitt $z = 5,4 \text{ m} - 2,0 \text{ m}$ über der Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Über die Treppenaufgänge des östlichen Bahnsteigbereiches kommt es weiterhin zu keinem Raucheintrag. In den westlich liegenden Aufgängen sind marginale Grenzwertüberschreitungen erkennbar.</p>	<p>Schalterhalle/ Verbindungsgänge geräumt</p>
---	--	---

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

3.4.5 Brandszenario 2 – Temperatur- und Strömungszustand

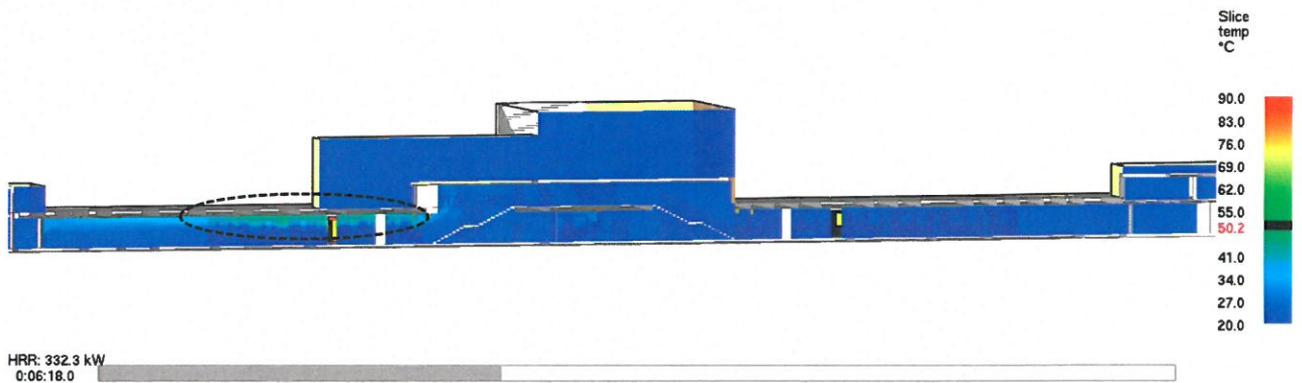


Abbildung 59: Rauchgastemperaturen nach 6,3 Minuten – Vertikalschnitt y = 0,6 m

<p>Schutzziel: Selbstrettung Rauchgastemperatur < 50 °C</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 6,3 Minuten (Beendigung der Selbstrettung) sind lediglich in einem eng begrenzten Bereich, in unmittelbarer Nähe zu der Brandquelle (Bahn), Grenzwertüberschreitungen erkennbar. Demzufolge kann das Schutzziel Selbstrettung, bezogen auf eine kritische Rauchgastemperatur von 50 °C, über den gesamten Zeitraum gewährleistet werden. Auf der Verteilerebene treten nach 6,3 Minuten ebenfalls keine erhöhten Temperaturen unter der Schutzhöhe von 2,0 m auf.</p>	<p>Selbstrettung Bahnhofshalle</p>
---	--	---



Abbildung 60: Strömungssituation nach 6,3 Minuten – Vertikalschnitt y = -3,8 m

<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Strömungsbildung deckt sich im zeitlichen Verlauf, in einer Höhe von 2,0 m über dem Boden des Bahnsteiges, mit den Ausbreitungsfortschritten des Verrauchungszustandes. In dem Auswertungsschnitt sind die Querschnittsveränderungen durch die lokalen Erhöhungen der Strömungsgeschwindigkeiten erkennbar. Gerade im Bereich unmittelbar um die Brandquelle und vor den Treppenaufgängen treten Turbulenzen und höhere Geschwindigkeiten auf. Insgesamt sind die Strömungsgeschwindigkeiten moderat.</p>

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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 auf Grundlage der amerikanischen Richtlinie NFPA 130 durchgeführt.

Für das zu berücksichtigende Schienenfahrzeug (F74) liegt ein Arbeitsblatt für die Brandsimulationsberechnung der Brandschutzfirma Brandschutz Consult – Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig vor, sodass brandspezifische Parameter für die Brandsimulation herangezogen 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 nicht unter die Schutzzielhöhe von 2,0 m in dem Bereich der flüchtenden Personen abgesunken ist. Dies wurde durch die Installation von Rauchschrüzen im Bereich der Treppenaufgänge von Bahnsteigebene zur Verteiler- und Schalterhalle erreicht.

Brandszenario 1 – Bahnbrand in der Mitte des Bahnsteigs

Bei Positionierung der Bahn in Bahnsteigmitte wird die Selbstrettung der Personen vollumfänglich sichergestellt. Während der Selbstrettung sinken die Rauchgase, in den Bereichen in denen sich flüchtende Personen aufhalten, nicht unter die Schutzzielhöhe von 2,0 m (raucharme Schicht) ab. Die Rauchgastemperaturen steigen in dem Zeitraum der Räumung der Station nicht über den Grenzwert von 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.

Brandszenario 2 – Bahn am westlichen Bahnsteigende

Vor Beendigung der Selbstrettung kam es zu keiner kritischen Verrauchung der Rettungswege in einem schutzzielrelevanten Umfang. Aufgrund der Positionierung des Brandortes (am westlichen Bahnsteigende) gelangen früher Rauchgase in einer kritischen Konzentration in die Bereiche vor den Treppenaufgängen. Allerdings wird durch die installierten Rauchschrüzen ein verfrühtes Einströmen in die Schalterhalle und den Verbindungsgang vermieden. Demnach konnte das Schutzziel nachgewiesen werden. Die Rauchgastemperaturen steigen in diesem Brandszenario ebenfalls nicht über 50 °C in einer schutzzielrelevanten Höhe.

Auch in diesem Brandszenario wurde der bereits oben genannte zeitliche Puffer berücksichtigt.

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Gegenüberstellung Verrauchungs- und Räumungszeiten

Betrachtungsgegenstand (Lage/Ort)	Zeitpunkt der akuten Verrauchung Brandszenario 1 [00397-0402]	Zeitpunkt der akuten Verrauchung Brandszenario 2 [00397-0502]	Zeitpunkt der vollständigen Räumung
Bahnsteigebene (Bereich <u>vor</u> dem westlichen Treppenaufgang ins Freie)	> 8,0 Minuten ^{*)}	> 6,4 Minuten ^{*)}	4,6 Minuten
Bahnsteigebene (Bereich <u>vor</u> dem westlichen Treppenaufgang in die Schalterhalle)	> 9,5 Minuten ^{*)}	> 7,4 Minuten ^{*)}	4,6 Minuten
Bahnsteigebene (Bereich <u>vor</u> dem östlichen Treppenaufgang ins Freie)	> 6,8 Minuten	> 9,0 Minuten	4,6 Minuten
Bahnsteigebene (Bereich <u>vor</u> dem östlichen Treppenaufgang in die Schalterhalle)	> 8,0 Minuten ^{*)}	> 9,5 Minuten	4,6 Minuten
westlicher Treppenaufgang vom Verbindungsgang ins Freie	> 10,0 Minuten	> 8,0 Minuten	6,0 Minuten
östlicher Treppenaufgang vom Verbindungsgang ins Freie	> 7,0 Minuten	> 10,0 Minuten	6,0 Minuten
Treppenaufgang aus der Schalterhalle ins Freie	> 12,0 Minuten	> 11,0 Minuten	6,0 Minuten

*) Für die schutzzielorientierte Betrachtung während der Selbstrettungsphase wurde die Brandsimulation für einen Zeitraum von ca. 12,0 Minuten erstellt.

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

D. Zusammenfassung

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

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

mit Hilfe von ingenieurmäßigen Verfahren brandschutztechnisch vorgenommen. Zur Untersuchung der Situation wurden für den Brandfall mit Hilfe eines rechnerischen Feldmodells (Brandsimulationsprogramm FDS), auf Grundlage der Kubatur des Gebäudes, die maßgebenden Bemessungsbrände 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 anhand der Anlage 3 „Arbeitsblatt zur Brandsimulationsrechnung“ modelliert. Die Brandparameter aus dem Gutachten wurden vollständig berücksichtigt. Um möglichst konservative und umfangreiche Ergebnisse zu erzeugen, wurde der Bemessungsbrand (Bahn) am westlichen Bahnsteigende und in der Mitte des Bahnsteiges positioniert und ausgewertet. Es wurde eine abweichende Personenzahl (65%) vom EBA-Verfahren berücksichtigt. Laut Aussage der BVG entspricht dies annähernd der tatsächlichen Personenbelegung. Zusätzlich wurden 30 % der Personen eines 65%tig besetzten Zuges als „wartende Personen“ auf dem Bahnsteig berücksichtigt. 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 02.07.2018


 Dipl.-Ing. Markus Kraft
 Staatlich anerkannter Sachverständiger
 für die Prüfung des Brandschutzes



 Bearbeiter
 B. Sc. Maximilian Privik
 Brandschutzsachverständiger

Datum Projektnummer Status
02.07.2018 T-00397 Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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. 00397 der Brandwerk traffic GmbH verwiesen.

Normen und technische Regelwerke

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00397 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 Ventilings 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 2013

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

- 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, Fourth 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 – A3L
- 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

- Begleittext Möckernbrücke: *Berechnung von Räumungszeiten für den U-Bahnhof Möckernbrücke (unten) mit realen Fahrgastzahlen (65%)* (Stand: 07.06.2018) (VBU-KBT1 – A. Seefeld)
- Anlage zu den Berechnungen der Räumungszeiten nach NFPA 130-2010; *Anlage U-Bahnhof Möckernbrücke* (VBU-KBT 1 A. Seefeldt NFPA130-2010 mit 65% Fahrgästen 07.06.2016)

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00397 der Brandwerk traffic GmbH verwiesen.

E.3 Besprechungen / Abstimmungen

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 00397 der Brandwerk traffic GmbH verwiesen.

Datum	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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 Rauchschiicht 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	Projektnummer	Status
02.07.2018	T-00397	Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

Kontinuitätsgleichung (Massenerhaltung):

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

Energiegleichung:

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

Impulsgleichung (Navier-Stokes-Gleichung):

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

mit ρ : Dichte
 e : innere Energie
 \mathbf{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
02.07.2018Projektnummer
T-00397Status
Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

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
02.07.2018Projektnummer
T-00397Status
Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

F.4 Stoffspezifische Kennwerte

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Materialkennwerte		
Yield-Faktoren		
Soot Yield (bis 720 s)	0,046 [g/g] nach Anlage 3 „Bericht zur Erarbeitung eines Bemessungsbrandes für das Schienenfahrzeug F74 der BVG“	Wert für eine Untersuchung des Verrauchungszustandes bis 720 s.
CO Yield (bis 720 s)	0,023 [g/g] nach Anlage 3 „Bericht zur Erarbeitung eines Bemessungsbrandes für das Schienenfahrzeug F74 der BVG“	Wert für eine Untersuchung des Verrauchungszustandes bis 720 s.
Heizwert		
	20.220 [kJ/kg] nach Anlage 3 „Bericht zur Erarbeitung eines Bemessungsbrandes für das Schienenfahrzeug F74 der BVG“	Wert für den gesamten Untersuchungszeitraum
Sichtweiten Parameter	--	--
spezifischer Extinktionskoeffizient K_m	--	--
C-Faktor		

Datum 02.07.2018 Projektnummer T-00397 Status Version 1.0

U-Bahnstation Möckernbrücke (U7)

F.5 Simulationsspezifische Kennwerte

	Wert / Quelle		Bemerkung
Zellgitterkonfiguration			
Simulationsvolumen	ca. 3.018 m ³		--
Zellgröße	0,20 m x 0,20 m x 0,20 m		--
Anzahl Zellen	3.018.808		--
Anzahl Gitter	8 Gitter		Multimesh
Mesh	Gitterweite	Anzahl der Zellen	Liegt im Mesh
0	20 cm x 20 cm x 20 cm	898.808	Brandquelle (Szenario 2)
1	20 cm x 20 cm x 20 cm	20.336	
2	20 cm x 20 cm x 20 cm	48.633	
3	20 cm x 20 cm x 20 cm	411.600	
4	20 cm x 20 cm x 20 cm	631.351	
5	20 cm x 20 cm x 20 cm	898.560	Brandquelle (Szenario 1)
6	20 cm x 20 cm x 20 cm	17.220	
7	20 cm x 20 cm x 20 cm	92.208	
	Summe	Σ = 3.018.808	
Physikalische Modelle			
Turbulenzmodell	LES (Large Eddy Simulation) FDS6-Standard Modell: Dynamisches Smagorinsky Modell		Baroklines Torsionsmoment berücksichtigt
Verbrennungsmodell	Standard		
Strahlungsmodell	Standard		

Berechnung von Räumungszeiten für den U-Bahnhof Möckernbrücke (unten) mit realen Fahrgastzahlen (65%)

Grundlage für die Berechnungen ist die amerikanische Norm NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, Ausgabe 2010, National Fire Protection Association, Quincy, USA.

Auf Grundlage der Vorgaben aus der NFPA 130 wurden folgende Berechnungsannahmen getroffen:

- Im U-Bahnhof Möckernbrücke (unten) befinden sich gleichzeitig zwei zu 65% besetzte Züge (1000 Personen) plus wartende Personen (150 Personen ▶ 30% der Personen eines vollbesetzten Zuges)! Das heißt, es müssen insgesamt **1.150 Personen** in kürzester Zeit den Bahnhof verlassen
- An beiden Bahnsteigenden entstehen zwei neue Ausgänge zur Oberfläche. Durch den Einbau des Aufzugs wird eine Bestandstreppe auf 3 Gehspuren eingeeengt. Der Gang zur Brücke über den Landwehrkanal wird nicht als Fluchtweg betrachtet.
- Von den 1.150 Personen verlassen 575 (50%) Personen den Bahnsteig über die beiden festen Treppen zum Übergang zur U1 in das Zwischengeschoss. Jeweils 288 Personen (25%) verlassen den Bahnsteig über die neuen Ausgänge am Bahnsteigende.
- Von den 575 Personen im Zwischengeschoss flüchten alle über die Treppe am Ausgang I/1 direkt an die Oberfläche.
- Für feste Treppen werden 33 Personen/Minute und Fluchtspur angesetzt, für Fahrtreppen 25 Personen/Minute und Fluchtspur
- Die Gehgeschwindigkeit auf Bahnsteigebene beträgt 38 m/Minute, sonst 60 m/Minute.
- Für die Berechnungen werden nur ganze Fluchtspuren angesetzt, wodurch sich in der Regel in der Praxis noch eine Reserve ergibt (Räumungszeiten reduzieren sich noch etwas), die jedoch nicht betrachtet wird
- Die Reaktionszeit t_2 gemäß TR Strab Brandschutz (2 Minuten) ist zzgl. der längsten Gehzeit auf der Bahnsteigebene (0,5 Minuten) kleiner als die Schleusungszeit (2,9 Minuten) an der Bahnsteigtreppe. Damit ist die Schleusungszeit maßgebend.

In die Berechnungen fließen neben der Anzahl der Personen alle Gehzeiten (Zeiten zum Erreichen der Treppenanlagen auf dem Bahnsteig und in der Verteilerebene; Zeiten zum Überwinden der vertikalen Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Geschosebenen; Gehzeit an der Oberfläche bis zum Erreichen eines sicheren Bereiches), Schleusungszeiten und Wartezeiten an den Treppen ein. Es werden jeweils die Maximalwerte ermittelt und zu einer Gesamt-Räumungszeit summiert. Weitere Details sind der Anlage zu entnehmen.

Ergebnis: Die Räumungszeit für den U-Bahnhof Möckernbrücke (unten) beträgt ca. **4,7 Minuten**. VBU-KBT1 Seefeldt Anlage

Zeitabschnitte der Räumung Mu mit neuen Ausgängen	Dauer (Sek.)	Dauer (Min.)
--	-------------------------	-------------------------

Gehzeiten der zuletzt fliehenden Personen:

T1: Zeit zum Erreichen der Treppenaufgänge auf Bahnsteigebene : (ca. 20 m / 0,63 m/s)	32	0,5
T2: Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschiedes zwischen Bahnsteigebene und Zwischengeschoss (ca. 3,68m / 0,25 m/s):	15	0,2
T3: Zeit zum Erreichen der Treppenaufgänge vom Zwischengeschoss zur Oberfläche bzw. zum Übergang zur U1 : (ca. 35m / 1m/s)	35	0,6
T4: Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschiedes zwischen Zwischengeschoss und Oberfläche bzw. Übergang zur U1 (ca. 4,54 m / 0,25 m/s):	18	0,3

Schleusungszeiten an den Treppenaufgängen:

S1: Schleusungszeit an den Treppen vom Bahnsteig zum Zwischengeschoss
2,9 Minuten (siehe Nebenrechnung 1)

S2: Schleusungszeit an den Treppen vom Zwischengeschoss zur Oberfläche
 bzw. zum Übergang zur U1 **3,5 Minuten** (siehe
 Nebenrechnung 2)

Wartezeiten an den Treppenaufgängen:

Treppenaufgänge Bahnsteigebene: W1 = (S1-T1) = (2,9 - 0,5) min	144	2,4
Treppenaufgänge Zwischengeschoss: W2 = (S2-S1) = (3,5 - 2,9) min = 0,8 Min.	36	0,6

Räumungszeit: RZ=T1+T2+T3+T4+T5+W1 **279** **4,7**

Nebenrechnung 1 zur Schleusungszahl S1: (S=Personenzahl vor der Treppenanlage / Kapazität der Treppenanlage in Personen pro Minute)

Entscheidend ist die Treppe mit der größeren Schleusungszahl!

Übergang zur U1: Kapazität feste Treppe nach Umbau 1,80 m breit \rightarrow 1,80 m/0,6m \rightarrow 3 Fluchtspuren \rightarrow $3 \cdot 33 = 99$ Personen/Minute + Kapazität vorhandene feste Treppe 2,22 m/0,6m \Rightarrow 3 Fluchtspuren \Rightarrow $3 \cdot 33 = 99$ Personen/Minute \rightarrow Gesamtkapazität: **198 Personen/Minute**

Kapazität neue feste Treppe West 2,2 m breit \Rightarrow 2,2 m/0,6m \Rightarrow 3 Fluchtspuren \Rightarrow $3 \cdot 33 = 99$ Personen/Minute

Kapazität neue feste Treppe Ost 2,2 m breit \Rightarrow 2,2 m/0,6m \Rightarrow 3 Fluchtspuren \Rightarrow $3 \cdot 33 = 99$ Personen/Minute

S1 Ausgang West neu 288 P / 99 P/min = 2,9 Minuten

S1 Übergang U1 575 P / 198 P/min = **2,9 Minuten**

S1 Ausgang Ost neu 288 P / 99 P/min = 2,9 Minuten

Nebenrechnung 2 zur Schleusungszahl S2: (S=Personenzahl vor der Treppenanlage / Kapazität der Treppenanlage in Personen pro Minute)

Entscheidend ist die Treppe mit der größeren Schleusungszahl!

Ausgang I/1: Kapazität feste Treppe 3,0 m breit \rightarrow 3,0 m/0,6m \rightarrow 5 Fluchtspuren \rightarrow $5 \cdot 33 = 165$ Personen/Minute

S2 Ausgang I/1: 575 P / 165 P/min = **3,5 Minuten**