

BRANDSIMULATIONS-GUTACHTEN FELDMODELBERECHNUNG

- Leistungsphase 3 / 4 -

PROJEKT

**U 81 – Bahnhof Düsseldorf Flughafen
Terminal**

Flughafenstrasse
Düsseldorf

BAUHERR

Landeshauptstadt Düsseldorf

Auf'm Hennekamp 45
40225 Düsseldorf

BETREIBER

Rheinbahn AG

Hansaallee
40549 Düsseldorf

GUTACHTENERSTELLER

Dipl.-Ing. M. Kraft – B. Sc. Björn Rams

BSCON Brandschutzconsult GmbH
Giradetstraße 1 . 45131 Essen
T 0201.439555-0 . F 0201.439555-66

DOKUMENTENSTATUS

Projektnr. 6017 -- Datum 07.09.2015

1. Version vom 07. September 2015 – MK BR

Inhaltsverzeichnis

A.	ANLASS UND AUFTRAG.....	4
B.	BESCHREIBUNG DES OBJEKTES.....	5
C.	DOKUMENTATION ZU DEN SIMULATIONEN DEFINITION VON SCHUTZZIELEN UND GRENZWERTEN.....	8
1	BESCHREIBUNG DER SZENARIEN FÜR DIE BRAND- UND RÄUMUNGSSIMULATION	10
1.1	Definition der Brandszenarien und Bemessungsbrände.....	10
2	VISUALISIERUNG DER LAGE DER BRANDQUELLE	13
2.1.1	Lage der Brandquelle in Szenario 1 – Brand einer Bahn.....	13
2.1.2	Lage der Brandquelle in Szenario 2 – Müllbehältnis als Ersatzbrandszenario.....	13
2.2	Zeitabhängige Energiefreisetzungskurve.....	14
2.2.1	Szenario 1 – Fahrzeugbrand B80	14
2.2.2	Szenario 2 – Müllbehältnis als Ersatzbrandszenario	17
2.3	Definition des Räumungsszenarios.....	20
3	MODELLBILDUNG	25
3.1	Geometrie.....	25
3.2	Modellierung der Zu- und Abluft.....	28
3.2.1	Darstellung der Zu- und Abluftflächen.....	28
3.3	Aufteilung der Rechengitter in den Szenarien 1, 2 und 3	29
3.4	Modellierung der brandschutztechnischen Infrastruktur	30
4.1	Geometrisches Modell für die Räumungssimulation.....	31
5	ERGEBNISSE DER SIMULATIONEN	33
5.1	Ergebnisse der Brandsimulationen	33
5.2	Ergebnisse der Entfluchtungssimulation.....	36
5.3	Auswertung Szenario 1 – Brand einer Bahn im Gleisbereich.....	38
5.3.1	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 1,5 Minute	38
5.3.2	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach 3,0 Minuten	40
5.3.3	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten	43
5.3.4	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 5,8 Minuten	47
5.3.5	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,2 Minuten	50
5.3.6	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 6,6 Minuten	53
5.3.7	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 7,6 Minuten	56
5.3.8	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 9,0 Minuten	58
5.3.9	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 10,0 Minuten	60
5.3.10	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 15,0 Minuten	61
5.3.11	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 20,0 Minuten	62
5.3.12	Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 30,0 Minuten	63
5.4	Auswertung Szenario 2 – Brand eines selbstverlöschenden Mülleimers	64
5.4.1	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 1,5 Minute	64
5.4.2	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach 3,0 Minuten	67
5.4.3	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten	70
5.4.4	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 5,8 Minuten	74
5.4.5	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,2 Minuten	78
5.4.6	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 6,6 Minuten	82

5.4.7	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 7,6 Minuten	85
5.4.8	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 9,0 Minuten	88
5.4.9	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 10,0 Minuten	90
5.4.10	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 20,0 Minuten	91
5.4.11	Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 30,0 Minuten	92
5.5	Auswertung der Daten zur Räumungsdauer (Sz. 1 und Sz. 2).....	94
6	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	97
E.	ZUSAMMENFASSUNG	99
F.	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	100
F.1	Rechtliche Grundlagen.....	100
F.2	Unterlagen.....	102
F.3	Besprechungen / Abstimmungen	102
G.	ANHÄNGE.....	103
G.1	FDS - fire dynamic simulator	103
G.1.2	Standardwerte	106
G.1.3	Kennwerte der brandschutztechnischen Infrastruktur.....	106
G.1.4	Stoffspezifische Kennwerte	107
G.1.5	Simulationsspezifische Kennwerte.....	108
G.2	Beschreibung der Software der Räumungssimulation -ASERI.....	109
G.3.1	Purser Verfahren	113
G.3.2	Verwendete Simulationssoftware - ASERI.....	116
G.3.3	Validierung - ASERI	117

A. Anlass und Auftrag

Die Landeshauptstadt Düsseldorf plant den Neubau des Stadtbahnstreckenabschnitt der U81 vom Freiligrathplatz zum Düsseldorfer Flughafen. Im Rahmen des Neubaus wird ein Brandschutzkonzept gemäß Kap. 5 der Technischen Regel zur BOStrab (TRStrab Brandschutz) erforderlich, in dem Maßnahmen hinsichtlich des baulichen, anlagentechnischen, betrieblichen und abwehrenden Brandschutzes enthalten sind.

Die zur Prüfung des baulichen Brandschutzes staatlich anerkannten Sachverständigen der BSCON Brandschutzconsult GmbH sind von der

Landeshauptstadt Düsseldorf
Amt für Verkehrsmanagement
Auf'm Hennekamp 45
40225 Düsseldorf

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

B. Beschreibung des Objektes

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. 6017 der BSCON Brandschutzconsult GmbH verwiesen. Bei dem betrachteten Gebäudebereich handelt es sich um den Bereich der Station. Das Simulationsmodell beschränkt sich auf die 1. Ausbaustufe, d.h. es wird der Kopfbahnhof untersucht. Die Untersuchung des Durchfahrtsbahnhofs wird mit diesem Modell nicht berücksichtigt.

Die Grundfläche der Bahnsteigebene beträgt ca. 1.920 m² (inkl. Nebenräume und Gleisbereiche). Die Deckenhöhe in diesem Bereich liegt bei ca. 7,5 m. Die Verteilerebene Nord umfasst eine Fläche von ca. 723 m², während die Verteilerebene Süd ca. 440 m² groß ist. Nach Fertigstellung der Flughafenbebauung ist ein Anschluss an das zukünftige Gebäude geplant. Bis zum Anschluss an die Bebauung wird der Ausgang A1 ins Freie führen. Eine Einhausung des Ausgangs A1 ist zwecks Wetterschutzes geplant.

Die übrigen Bereiche des Gebäudes sind brandschutztechnisch vom betrachteten Simulationsvolumen abgetrennt und deshalb nicht berücksichtigt worden.

Hinweis:

Im Planungsverlauf haben sich Änderungen an dem Verlauf des Ausgangs A2 ergeben. Da zu diesem Zeitpunkt bereits die Berechnungen der Brandsimulation abgeschlossen waren, und keine wesentlichen Einflüsse auf die Ergebnisse zu erwarten sind, ist der abweichende Verlauf des Ausgangs A2 im Simulationsmodell zu finden.

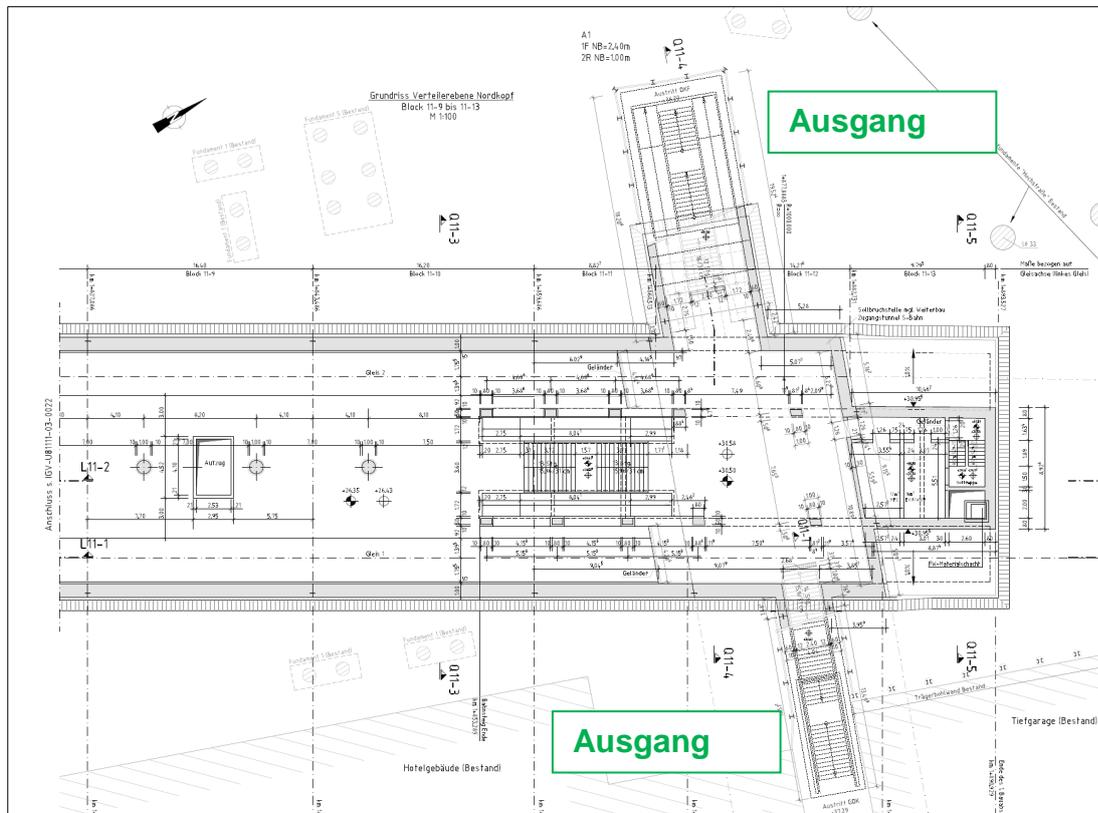


Abbildung 1: Grundriss Verteilerebene Nord - Auszug aus den Plangrundlagen (Quelle: IGV)

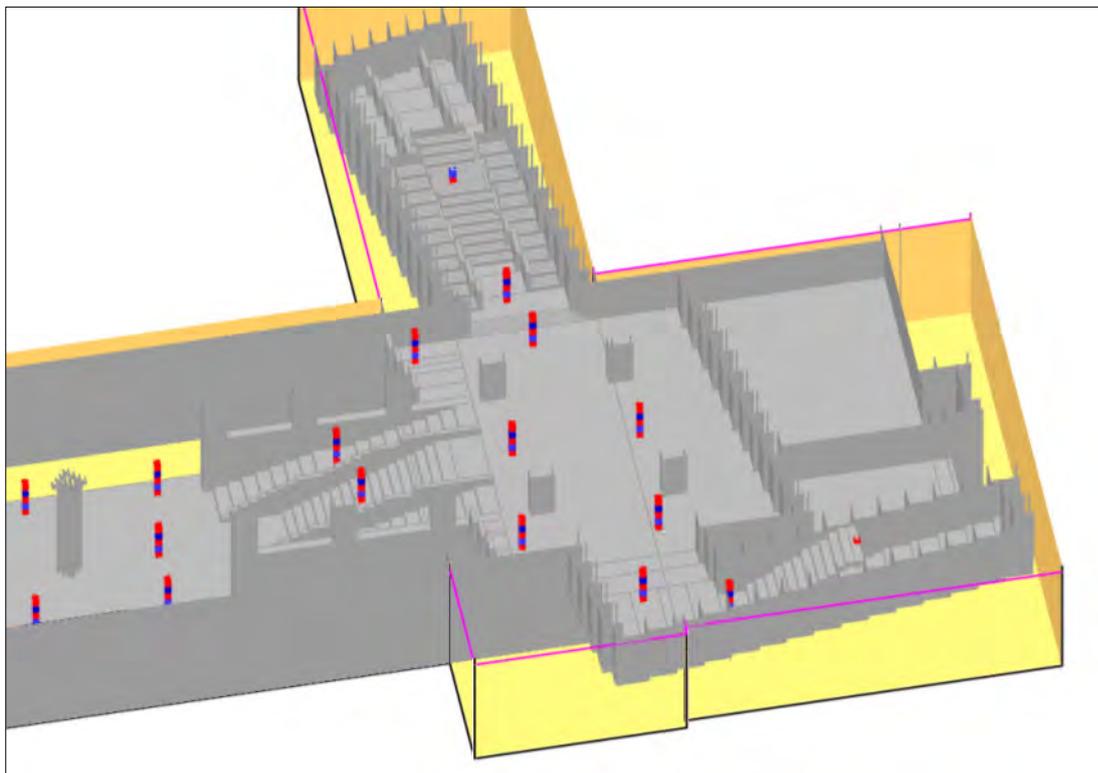


Abbildung 2: Perspektivische Darstellung des Simulationsmodells – Verteilerebene Nord

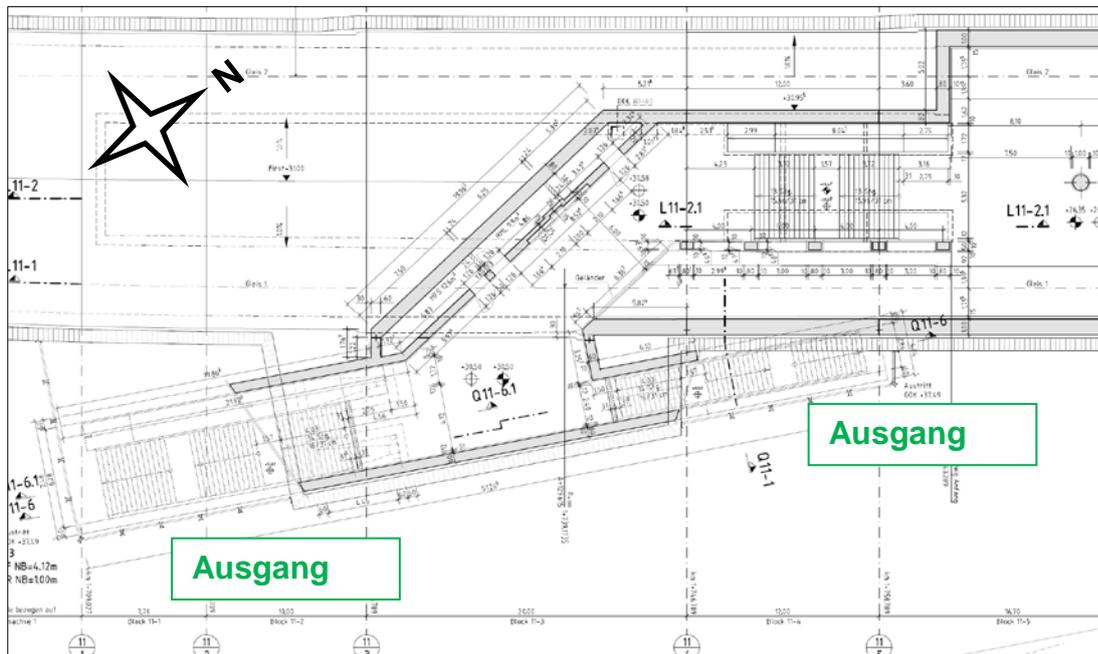


Abbildung 3: Grundriss Verteilerebene Süd - Auszug aus den Plangrundlagen (Quelle: IGV)

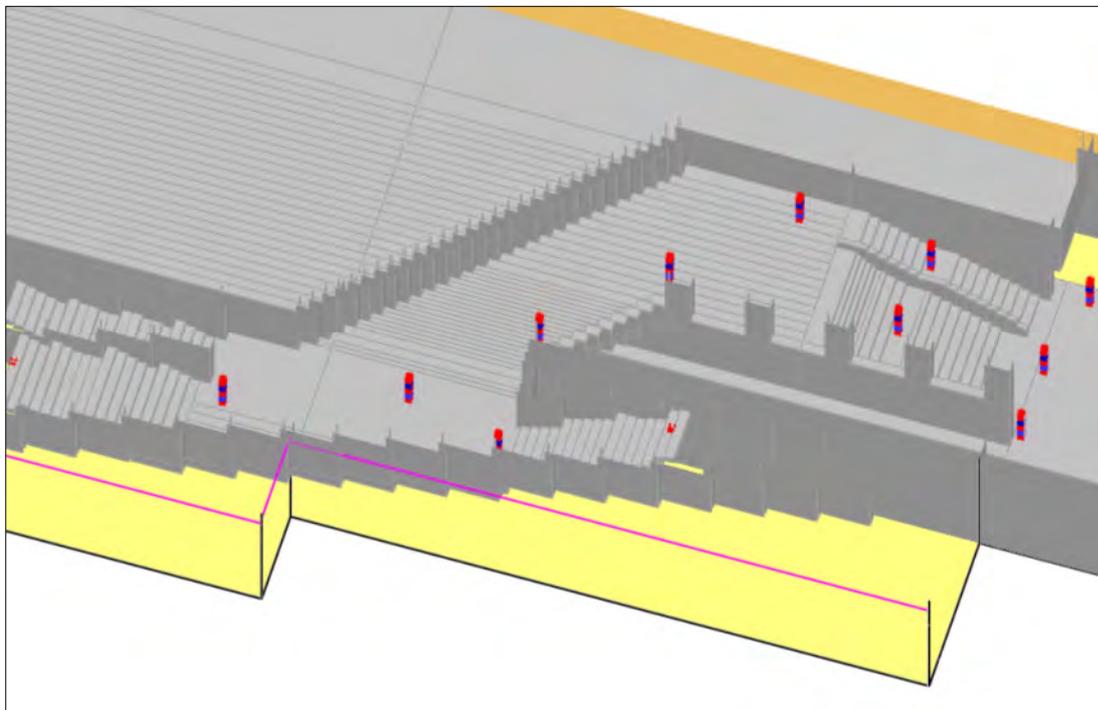


Abbildung 4: Ansicht des Simulationsmodells - Grundriss Verteilerebene Nord

Hinweis:

In der Simulation weichen die Gebäudeabmessungen aufgrund des Modellierungsprozesses geringfügig ab (± 50 cm).

C. Dokumentation zu den Simulationen Definition von Schutzzielen 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	Schutzzielbeschreibung	Grenzwert	Bemerkung zum Objekt
Selbstrettung aus der U-Bahnstation	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 zu erbringen. 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 des Nachweises 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 1,5 m	Rauchgastemperatur < 100 °C	Nachweis erforderlich

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 $D_L = 0,43 \cdot K$. 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.

Aus der Tabelle nach dem vdb-Leitfaden ergibt sich für kurze Aufenthaltsdauer ein Maximalwert für die Rauchdichte von $D_L = 0,2 m^{-1}$. Umgerechnet in den Extinktionskoeffizienten ($K = 0,2 m^{-1} / 0,43$) ergibt sich hieraus der Grenzwert für $K = 0,47 m^{-1}$. Da eine Aufenthaltsdauer von etwa 5 Minuten (ca. 5,3 Minuten) durch die Räumungssimulation ermittelt wurde wird der Grenzwert für die Rauchdichte auf $0,15 m^{-1}$ herabgesetzt. Somit ergibt sich für eine optische Dichte pro Weglänge von $D_L = 0,15 m^{-1}$ ein Extinktionskoeffizient von 0,32

m^{-1} . Konservativ wurde der Wert für den Extinktionskoeffizient auf $K = 0,3 m^{-1}$ herabgesetzt, diese entspricht einer optischen Dichte von $D_L = 0,13 m$.

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 Rauchausbreitung (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 $K_m = 8,7 m^2/g$ ergibt sich (gerundet) für $D_L = 0,1 m^{-1}$ eine Rußkonzentration von 25 mg/m³ bzw. für $D_L = 0,2 m^{-1}$ von 50 mg/m³ (siehe Abschnitt 8.2).

Abbildung 5: Auszug aus dem vfdb-Leitfaden 2013 – Tabelle 8.3

In der Veröffentlichung (vfdb Heft 04/2014) von Wiezorek, Böttger und Franke wird beschrieben, dass der Wert

0,1 m⁻¹ für die Rauchdichte im Hinblick auf die Beurteilung toxischer Brandprodukte als ausreichend angesehen werden kann. Bei Berücksichtigung dieser Werte ist nicht mit toxischen Brandprodukten zu rechnen.

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

1 Beschreibung der Szenarien für die Brand- und Räumungssimulation

1.1 Definition der Brandszenarien und Bemessungsbrände

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

Bestimmende Randparameter für die Brandszenarien sind:

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

Die folgenden Randbedingungen werden bei der Definition der Brandszenarien berücksichtigt:

Randparameter	Szenario 1 – [6017-0701] Brand einer Bahn Maximale Brandleistung von ca. 250 kW	Szenario 2 – [6017-VV-0106] Ersatzbrandszenario Mülleimerbrand auf Bahnsteig Maximale Brandleistung ca. 100 kW
Bemessungsbrand		
Lage Brandort	Die Brandquelle liegt im Bereich des Gleise	Die Brandquelle befindet sich auf dem Bahnsteig in der Nähe des Aufgangs Nord
Max. Energiefreisetzung	ca. 250 kW (gemäß Gutachten TÜV Süd)	ca. 100 kW
Spez. Energiefreisetzung *)	200 kW/m ² 300 kW/m ²	300 kW/m ²

Randparameter	Szenario 1 – [6017-0701] Brand einer Bahn Maximale Brandleistung von ca. 250 kW	Szenario 2 – [6017-VV-0106] Ersatzbrandszenario Mülleimerbrand auf Bahnsteig Maximale Brandleistung ca. 100 kW
	400 kW/m ²	
Max. Brandfläche	ca. 1,25 m ² (1,00 m x 1,25 m) (Zusammengesetzt aus 5 Brandquellen von jeweils 0,25 m x 1,00 m)	ca. 1,56 m ² (1,25 m x 1,25 m) (Eine Brandfläche, die über eine Ramp angesteuert wird)
Brandausbreitungs- geschwindigkeit	Die Ausbreitung des Brandes wurde mit Hilfe einer Ramp so berücksichtigt, dass die vorgegebene Brandleistung aus dem Gutachten des TÜV-Süd erreicht wurde.	Die Ausbreitung des Brandes wurde mit Hilfe einer Ramp so berücksichtigt, dass die angenommene Brandleistungskurve abgebildet wird.
Branddetektion		
Vorbrandzeit	Aufgrund der flächendeckenden Brandmeldeüberwachung wird angenommen, dass eine Brandmeldung nach ca. 60 s erfolgt.	Aufgrund der flächendeckenden Brandmeldeüberwachung wird angenommen, dass eine Brandmeldung nach ca. 60 s erfolgt.
Brandbekämpfung		
Beginn der Löschmaßnahmen	Löschmaßnahmen sind in der Simulation nicht berücksichtigt worden.	Löschmaßnahmen sind in der Simulation nicht berücksichtigt worden.
Ventilations- bedingungen		
Zuluftöffnungen	Natürliche Ventilation über den Tunnelmund und die Treppenaufgänge.	Natürliche Ventilation über den Tunnelmund und die Treppenaufgänge.
NRWA	Es sind keine natürlichen Rauch-Wärme-Abzugsanlagen zur Rauchabfuhr berücksichtigt worden.	Es sind keine natürlichen Rauch-Wärme-Abzugsanlagen zur Rauchabfuhr berücksichtigt worden.
Mechanische Abluft	Im Modell sind keine mechanischen Entrauchungsmaßnahmen	Im Modell sind keine mechanischen Entrauchungsmaßnahmen

Randparameter	Szenario 1 – [6017-0701] Brand einer Bahn Maximale Brandleistung von ca. 250 kW	Szenario 2 – [6017-VV-0106] Ersatzbrandszenario Mülleimerbrand auf Bahnsteig Maximale Brandleistung ca. 100 kW
	berücksichtigt worden.	berücksichtigt worden.
Öffnungs- / Aktivierungszeiten	Öffnungs- und Aktivierungszeiten sind im vorliegenden Fall nicht relevant, da keine automatisch angesteuerten Zuluft- und Entrauchungseinrichtungen vorhanden sind.	Öffnungs- und Aktivierungszeiten sind im vorliegenden Fall nicht relevant, da keine automatisch angesteuerten Zuluft- und Entrauchungseinrichtungen vorhanden sind.
Strömungseinflüsse, aus Bereichen außerhalb des Simulationsvolumen s (z.B. Außenwind)	Es wurden keine äußeren Einflüsse berücksichtigt (Windstille).	Es wurden keine äußeren Einflüsse berücksichtigt (Windstille).

*) Die verschiedenen Energiefreisetzungsraten pro m² wurden gewählt, um den Brandverlauf möglichst kleinflächig nachbilden zu können. Im Gutachten vom TÜV Süd wird beschrieben, dass als maßgebendes Brandereignis der Brand einer Sitzgruppe zu Grunde zu legen ist. Hieraus ergibt sich die Brandfläche und damit auch die flächenspezifische Energiefreisetzungsrate.

Mit identischen spezifischen Energiefreisetzungsraten pro Brandfläche hätte nur eine Annäherung erfolgen können, dies wurde damit verhindert.

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.

2 Visualisierung der Lage der Brandquelle

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zwei mögliche Brandorte gewählt, die als mögliche Szenarien auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen und der Abstimmungen berücksichtigt werden. Die Brandquellen sind jeweils auf der Bahnsteigebene positioniert worden.

2.1.1 Lage der Brandquelle in Szenario 1 – Brand einer Bahn

Für Szenario 1 wurde der Brandort etwa im Drittelpunkt des Bahnsteigs gewählt. Innerhalb des Fahrzeugs liegt die Brandquelle auf dem Boden.

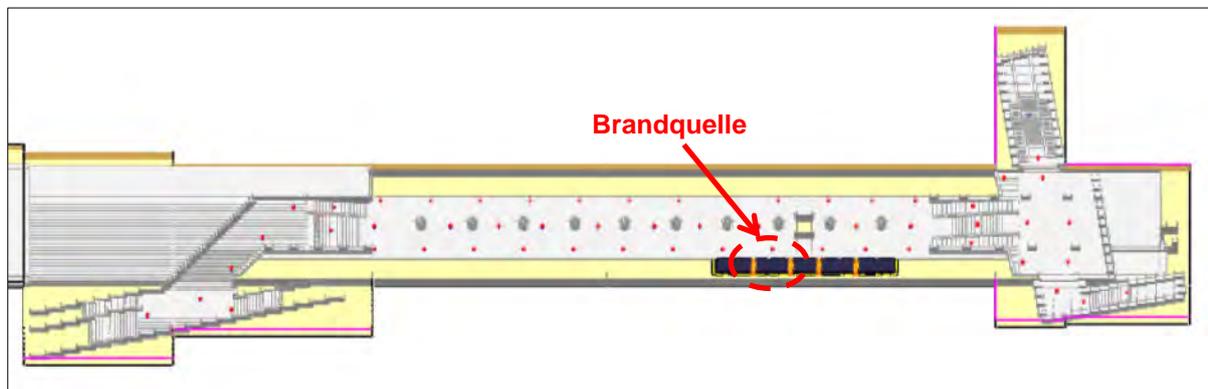


Abbildung 6: Brandquelle Fahrzeug – nach Fahrzeuggutachten zum B80-C-Fahrzeug

2.1.2 Lage der Brandquelle in Szenario 2 – Müllbehälter als Ersatzbrandszenario

Im Szenario 2 wird ein Müllbehälter mit einer konservativen Rauchausbeute von $y_s = 0,11$ g/g untersucht.

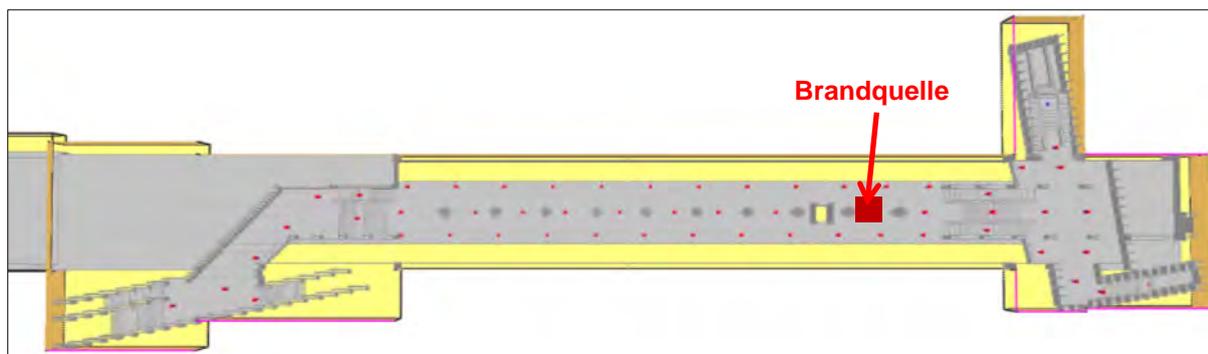


Abbildung 7: Brandquelle Müllbehälter – max. Brandleistung 100 kW

2.2 Zeitabhängige Energiefreisetzungskurve

2.2.1 Szenario 1 – Fahrzeugbrand B80

Zur Bestimmung der max. Energiefreisetzungsrates wurde auf Grundlage des Nutzungskonzeptes, der durchgeführten Abstimmungen mit dem Auftraggeber sowie der zur Verfügung gestellten Gutachten der o.g. Bemessungsbrand definiert. Aus den Untersuchungen der TÜV SÜD Rail GmbH wurde der Rheinbahn die zu verwendende Bemessungsbrandkurve für das B80-Fahrzeug übermittelt, (vgl. Abbildung 8).

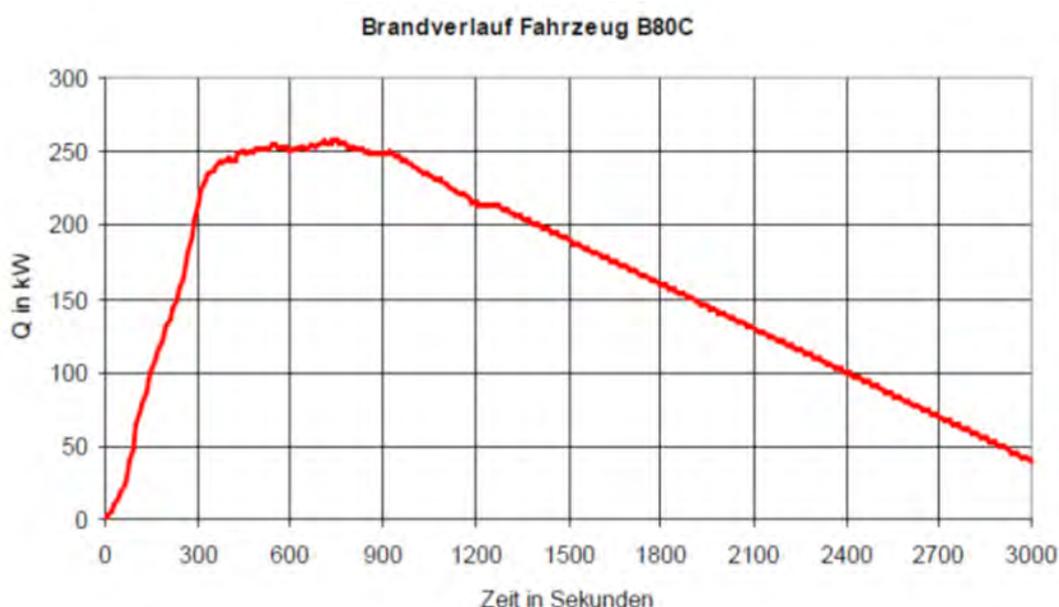


Abbildung 8: Bemessungsbrandkurve für das B80-Fahrzeug (Quelle: TÜV SÜD Rail GmbH)

Um möglichst realitätsnahe Annahmen bezüglich des Brandverhaltens treffen zu können, wurde bei der Erstellung der Bemessungsbrände auf entsprechende Modelle für die Brandausbreitungsgeschwindigkeit zurückgegriffen.

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 wurde. Da keine konkreten Werte für die Brandparameter bekannt sind, werden die Brandrauchanteile für Ruß, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid entsprechend Tabelle 2 der TRStrab Brandschutz zugrunde gelegt.

Brandrauchanteile	Symbol	Wert	Gültigkeitsbereich
Kohlenmonoxid	y_{CO}	0,122 g/g	gesamter Kurvenverlauf
Kohlendioxid	y_{CO2}	1,274 g/g	gesamter Kurvenverlauf
Rußanteil	y_{S1}	0,056 g/g	bis 600 Sekunden
Rußanteil	y_{S2}	0,129 g/g	über 600 Sekunden

Abbildung 9: Rauchausbeuten für Brandverlaufskurven gemäß Tabelle 2 TRStrab Brandschutz

Der Heizwert wurde entsprechend den Angaben aus Abschnitt 5.3.1 TRStrab Brandschutz mit 18.770 kJ/kg in der Simulation berücksichtigt.

In der folgenden Abbildung ist der zeitabhängige Verlauf der Energiefreisetzung dargestellt, der während der Berechnung tatsächlich simuliert und zurückgeschrieben wurde (vgl. Abbildung 10).

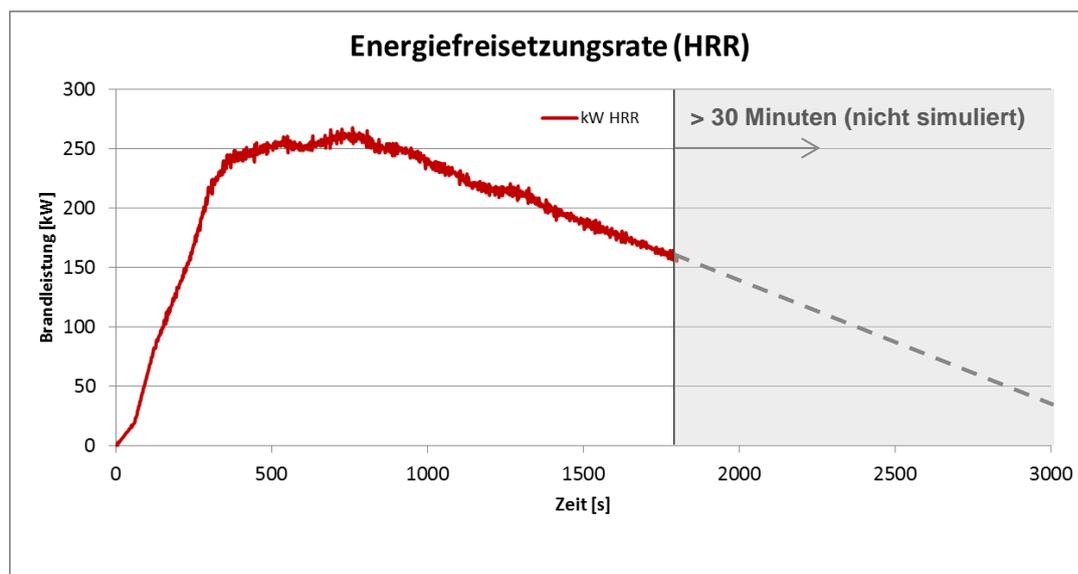


Abbildung 10: Simulierte Wärmefreisetzungsrates - B80-Fahrzeug - Szenario 1 [6017-0701]

Bei der Brandentwicklung kann sich die Rauchausbeute mit der Zeit verändern. Im Rahmen der Angaben der TRStrab BS wird berücksichtigt, dass bei einem fortgeschrittenen Brandereignis mit einer höheren Rauchausbeute zu rechnen ist. Für die Nachweisführung bedeutet dies, dass bis zur Minute 10 (Selbstrettungsphase) mit einer niedrigeren Rauchausbeute gerechnet wird. Für die Fremdrettungsphase (> 10 Minuten) wird eine höhere Rauchausbeute unterstellt (vgl. Abbildung 9). Im vorliegenden Fall ist das Brandereignis bei 600 s bereits voll entwickelt (ca. 250 kW) und fällt kurz darauf wieder ab. Vor diesem Hintergrund wird in der Simulation konstant mit der Rauchausbeute für die Selbstrettungsphase gerechnet ($y_{S1}=0,056$ g/g). Das verwendete Simulationsprogramm (FDS) erlaubt bisher keine zeitliche Anpassung der Rauchausbeute, sodass eine variable Rauchausbeute nicht realistisch dargestellt werden kann.

Die angenommenen Werte für die Rußausbeute aus der TRStrab BS liegen über den Werten aus dem „Bericht zur Erarbeitung eines Bemessungsbrandes für das Schienenfahrzeug B80-AI der Rheinbahn Düsseldorf“ von Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH vom 26.05.2010. Hier werden in Tabelle 15 folgende Werte für die Rußausbeute genannt:

- | | |
|--------------------|-----------|
| – bis 900 Sekunden | 0,041 g/g |
| – ab 900 Sekunden | 0,092 g/g |

Somit sind die berücksichtigten Eingangsparameter als konservativ zu bezeichnen.

Die angenommenen Eingangsdaten werden auch für die Fremdrettung und den Löschangriff der Feuerwehr zu Grunde gelegt. Obwohl die Eingangsparameter hinsichtlich des Rußanteils für die Fremdrettung ab der 10. Minute zu erhöhen wären, kann der geringere Wert angenommen werden. Dies begründet sich darin, dass die Energiefreisetzungskurve das Maximum nach ca. 7 Minuten erreicht hat und bis zur 15. Minute konstant bleibt, danach findet ein Abfall der Energiefreisetzung statt. Deshalb ist nicht damit zu rechnen, dass zwischen der 10. und 15. Minute ein Anstieg der Rußausbeute stattfindet.

2.2.2 Szenario 2 – Müllbehältnis als Ersatzbrandszenario

Als Ersatzbrandszenario wurde ein Müllbehältnis definiert. Da nach Angabe des Auftraggebers nur selbstverlöschende Mülleimer in der Station vorgesehen werden, wird eine maximale Brandleistung von 100 kW angenommen. In der nachfolgenden Abbildung sind Brandleistungen für unterschiedlich große Müllsäcke dargestellt. Die Anzahl der Müllsäcke variiert dabei zwischen einem und drei Säcken.

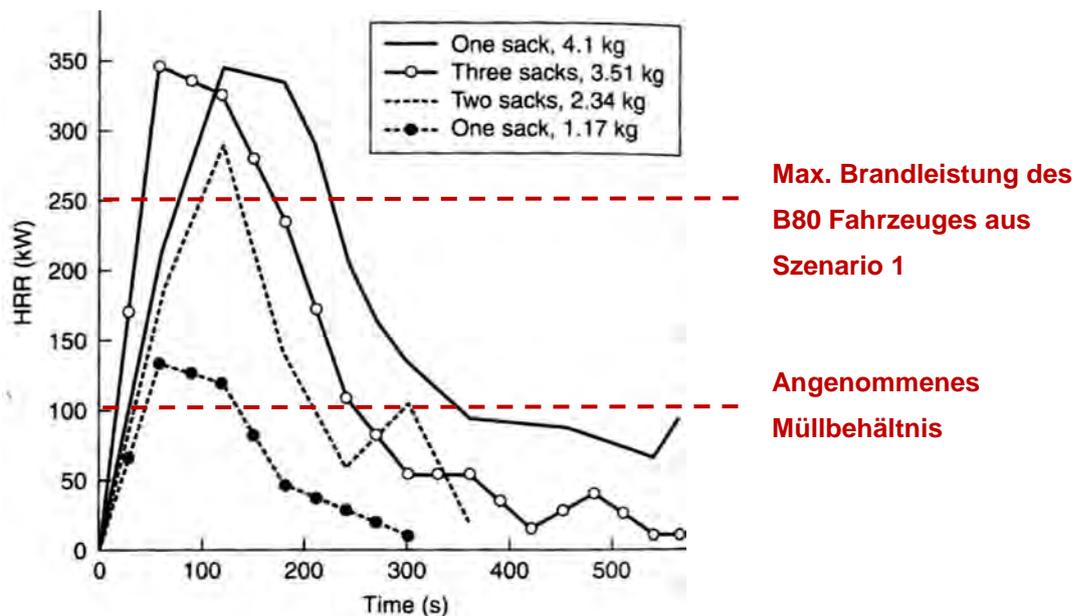


Abbildung 11: Wärmefreisetzung für Müllsäcke unterschiedlicher Größe und Anzahl (Quelle: SFPE Handbook)¹

Weitere Anhaltswerte für Brandleistungen eines Müllbehälters finden sich in der nachfolgenden Tabelle, die ebenfalls dem SFPE Handbook entnommen ist (vgl. Abbildung 12). Die Behältnisse waren mit zerkleinertem Papier und Milchkartons befüllt.

Table 3-1.28 Some Data Obtained at VTT⁹⁹ on 14 L Polyethylene Wastebaskets Showing Effect of Packing Density and Basket Construction

Basket Sides	Basket Mass (kg)	Filling Type	Filling Mass (kg)	Filling Density (kg m ⁻³)	Peak HRR (kW)	Total Heat Released (MJ)
Solid	0.63	Shredded paper	0.20	14	4	0.7
Netted	0.63	Milk cartons	0.41	29	13	3.0
Solid	0.53	Shredded paper	0.20	14	18	7.3
Netted	0.53	Milk cartons	0.41	29	15	5.8

Abbildung 12: Wärmefreisetzung für Abfalleimer (Quelle: SFPE Handbook)²

¹ The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition, 2008

² The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition, 2008

Aufgrund der oben genannten Überlegungen wurde die folgende Brandleistungskurve für das Ersatzbrandszenario gewählt (siehe Abbildung 13).

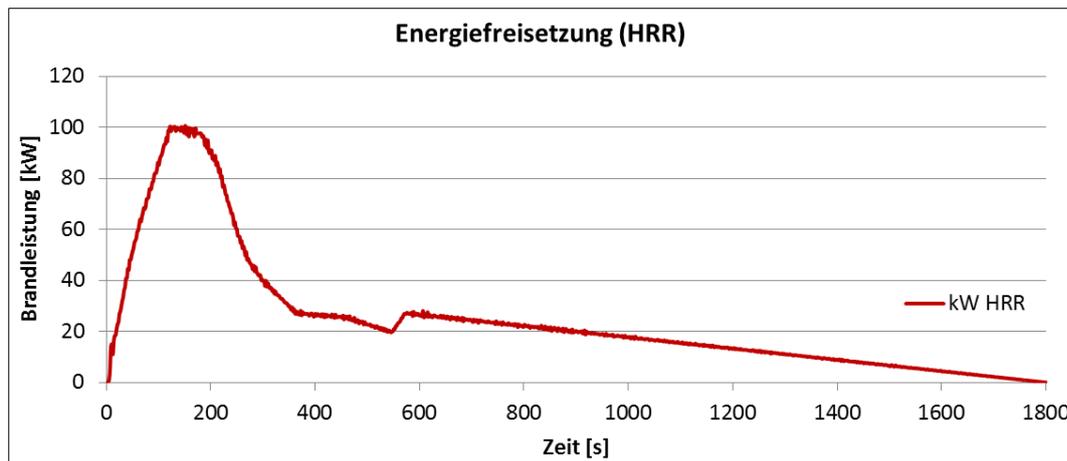


Abbildung 13: Szenario 2 – Müllbehälter mit max. 100 kW

Die Rauchausbeute für das Ersatzbrandszenario wurde mit $y_s = 0,11$ angesetzt und ist damit fast doppelt so hoch wie die für die Selbstrettungsphase angegebene Rauchausbeute in der TRStrab Brandschutz.

Die gewählte Energiefreisetzung deckt auch den möglichen Fall eines Kofferbrands ab. Ein Hartschalenkoffer weist in der betrachteten Zeit eine deutlich geringere Energiefreisetzung auf (bis 10 Minuten unter 20 kW). Damit hüllt der Mülleimerbrand den Kofferbrand ein.

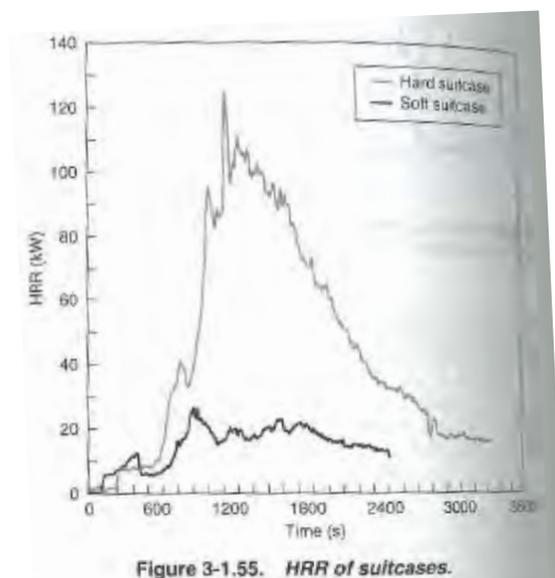


Abbildung 14: Energiefreisetzung eines mittleren Gepäckstück (Quelle SFPE Handbook of Fire Protection Engineering)

Die beschriebene Energiefreisetzung von 100 kW für das Ersatzbrandszenario ist auf Grundlage der materiellen Ausstattung der Station (überwiegend A-Baustoffe, mit Betondeckeln verschlossene Kabeltröge), der Abtrennung der Betriebsräume in F90/T30RS sowie der Fahrzeuggegebenheiten gewählt worden. Die berücksichtigte Energiefreisetzung ist mit den Projektbeteiligten (Brandschutzdienststelle, Technische Aufsichtsbehörde) besprochen und abgestimmt worden. Vor diesem Hintergrund wurde der Brand eines Müllimers als mögliche Brandquelle neben dem Fahrzeug gewählt.

2.3 Definition des Räumungsszenarios

Für die Berechnung der Räumungsdauer der Station wurde ein Modell der Station erstellt und mit Personen belegt.

Randparameter	Szenario 1 – [6017-0701] Räumung der Station	Szenario 2 – [6017-0801] Räumung der Station bei Ausfall der Verteilerebene in Richtung Norden (Flughafen)
Pre-Movement ³	3,0 Minuten	3,0 Minuten
Alarmierungszeit	90	90
Verzögerungszeit (Reaktionszeit)	90	90
Personenbelegung	$\Sigma = 1.373$ Pers.	$\Sigma = 1.373$ Pers.
Bahnsteigebene	$\Sigma = 1.373$ Pers. Bahnen: 1.056 Personen (je Bahn 176 Pers.) es wurde an jedem Gleis eine Dreiertraktion vorgesehen. Auf dem Mittelbahnsteig: 317 Pers. (30 % der Fahrgäste in den Bahnen)	$\Sigma = 1.373$ Pers. Bahnen: 1.056 Personen (je Bahn 176 Pers.) es wurde an jedem Gleis eine Dreiertraktion vorgesehen. Auf dem Mittelbahnsteig: 317 Pers. (30 % der Fahrgäste in den Bahnen)
Geöffnete Ausgänge		
Ausgänge aus den Bahnen	Jeweils 1,30 m , pro Bahn 4 Ausgänge	Jeweils 1,30 m , pro Bahn 4 Ausgänge
Aufgänge aus der Bahnsteigebene in die Verteilerebenen	Nord (in Richtung Flughafen): $\Sigma = 4,40$ m Feste Treppe mit 3,40 m Fahrtreppe mit 1,0 m (hier wurde eine Fahrtreppe berücksichtigt, da zwei vorhanden sind) Süd (in Richtung Hotel): $\Sigma = 5,30$ m Feste Treppe mit 5,30 m	Süd (in Richtung Hotel): $\Sigma = 5,30$ m Feste Treppe mit 5,30 m An diesem Aufgang wurde keine Fahrtreppe berücksichtigt, da nur eine vorhanden ist.

³ Nähere Erläuterungen zur Pre-Movement Dauer befinden sich im Anhang unter Punkt G.2 – Frühphase der Räumung

Randparameter	Szenario 1 – [6017-0701] Räumung der Station	Szenario 2 – [6017-0801] Räumung der Station bei Ausfall der Verteilerebene in Richtung Norden (Flughafen)
	An diesem Ausgang wurde keine Fahrtreppe berücksichtigt, da nur eine vorhanden ist.	
Aufgänge aus der nördlichen Verteilerebene ins Freie	<p>Nordöstlicher Ausgang (A2): $\Sigma = 2,40 \text{ m}$</p> <p>Eine feste Treppe mit einer Breite von 2,40 m.</p> <p>Nordwestlicher Ausgang (A1): $\Sigma = 3,40 \text{ m}$</p> <p>Eine feste Treppe mit einer Breite von 2,40 m und eine Fahrtreppe mit einer Breite von 1,0 m (hier wurde eine Fahrtreppe berücksichtigt, da zwei vorhanden sind).</p>	Keine Aufgänge berücksichtigt, da angenommen wird, dass diese Verteilerebene brandbedingt ausfällt.
Aufgänge aus der südlichen Verteilerebene ins Freie	<p>Nördlicher Ausgang (A4): $\Sigma = 2,40 \text{ m}$</p> <p>Eine feste Treppe mit einer Breite von 2,40 m. Hier ist keine Fahrtreppe vorhanden.</p> <p>Südlicher Ausgang (A3): $\Sigma = 4,10 \text{ m}$</p> <p>Eine feste Treppe mit einer Breite von 4,10 m. An diesem Ausgang wurde keine Fahrtreppe berücksichtigt, da nur eine vorhanden ist.</p>	<p>Nördlicher Ausgang: $\Sigma = 2,40 \text{ m}$</p> <p>Eine feste Treppe mit einer Breite von 2,40 m. Hier ist keine Fahrtreppe vorhanden.</p> <p>Südlicher Ausgang: $\Sigma = 4,10 \text{ m}$</p> <p>Eine feste Treppe mit einer Breite von 4,10 m. An diesem Ausgang wurde keine Fahrtreppe berücksichtigt, da nur eine vorhanden ist.</p>
Personeneigenschaften		
Brustbreite der Personen mit Koffer (50 % der Personen)	Mittler Brustbreite: a = 0,520 m ± 0,035 m	Mittler Brustbreite: a = 0,520 m ± 0,035 m
Brustbreite der Personen ohne Koffer (50 % der Personen)	Mittler Brustbreite: a = 0,315 m ± 0,035 m	Mittler Brustbreite: a = 0,315 m ± 0,035 m
Schulterbreite der Personen mit Koffer (50	Mittler Schulterbreite: b = 0,525 m ± 0,02 m	Mittler Schulterbreite: b = 0,525 m ± 0,02 m

Randparameter	Szenario 1 – [6017-0701] Räumung der Station	Szenario 2 – [6017-0801] Räumung der Station bei Ausfall der Verteilerebene in Richtung Norden (Flughafen)
% der Personen)		
Schulterbreite der Personen ohne Koffer (50 % der Personen)	Mittler Schulterbreite: $b = 0,525$ $m \pm 0,02$ m	Mittler Schulterbreite: $b = 0,525$ $m \pm 0,02$ m

Population	- Beide Geschlechter - Alter zwischen 6 und 75 - Normale körperliche Statur	- Beide Geschlechter - Alter zwischen 6 und 75 - Normale körperliche Statur
Gehgeschwindigkeit der Personen mit Koffer	0,95 m/s	0,95 m/s
Gehgeschwindigkeit der Personen ohne Koffer	Durchschnittlich $1,0$ m/s $\pm 0,4$ m/s	Durchschnittlich $1,0$ m/s $\pm 0,4$ m/s
Dargestellte Szenarien		
Dargestellte Szenarien	Wird ausführlich dargestellt	Wird ausführlich dargestellt

Tabelle 2: Szenarien Übersicht für die Räumungssimulation

In der Station sind zwei Personengruppen vorgesehen worden. Dies ist durch die Nähe der Station am Flughafen bedingt. Es ist mit Personen zu rechnen, die Gepäckstücke mit sich führen. Aus diesem Grund sind die Eigenschaften von 50 % der Personen zu den Standardeigenschaften in der Simulationssoftware geändert worden.

Grundlage für diese Änderungen sind Angaben über die beanspruchte Fläche von Personen mit Gepäckstücken aus der Literatur. Hier wurden auf empirisch bestimmte Daten von Michailowitsch Predtetschenski und Anatoli Milinski zurückgegriffen.

Es werden folgenden Werte (Tabelle 2, Personenströme in Gebäuden, Staatsverlag der DDR, Berlin 1971) zu Grunde gelegt:

- Personen mit einem Koffer nehmen eine Fläche von $0,24$ m² ein.
- Personen ohne Koffer nehmen eine Fläche von $0,11$ m² ein.

Im Simulationsmodell wurde eine Fläche für die Personen mit Koffer von $0,225$ m² $\pm 0,01$ m² berücksichtigt. Es wurde ebenfalls angenommen, dass die Personen mit Koffer eine geringere Gehgeschwindigkeit aufweisen. Hier wurde für alle Personen dieser Gruppe festgelegt, dass diese sich mit $0,95$ m/s auf gerader Strecke bei ungehinderter Bewegung fortbewegen.

Detaillierte Angaben zum Standardpersonenmodell und der angewendeten Software befinden sich im Anhang im Kapitel G.2.

Pre Movement Dauer

Für die Räumung werden die Pre-Movement Dauern mit dem Purser Verfahren ermittelt. Hierdurch wird eine Pre-Movement Dauer von insgesamt **180 Sekunden** ermittelt. Dieser Wert ergibt sich aus der Annahme, dass eine automatische Alarmierung in Station vorhanden ist. Aufgrund der geplanten Brandmeldetechnik wird eine Alarmierungszeit von **90 Sekunden** zu Grunde gelegt, die Verzögerungszeit wird mit **90 Sekunden** angenommen.

Eine detaillierte Beschreibung des Purser Verfahrens befindet sich im Anhang G.2.1.

Anfangsverteilung der Personen in Szenario 1 und 2

Die Verteilung der Personen erfolgte auf der Grundlage der Planunterlagen und anhand des EBA Verfahrens.

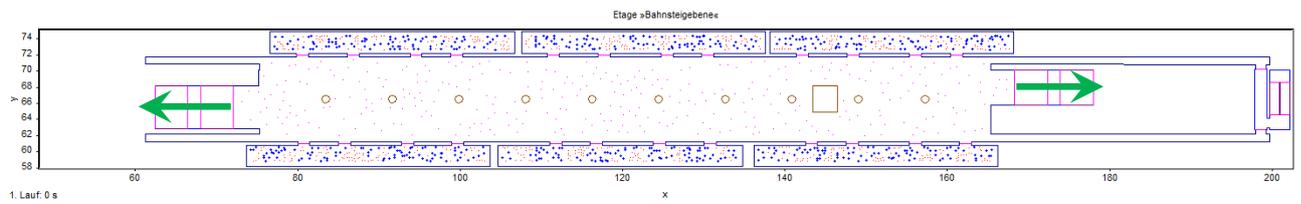


Abbildung 15: Übersicht Bahnsteigebene – Anfangsverteilung

Die durchgezogenen Pfeile kennzeichnen die Aufgänge in die Verteilerebene. Die Verteilerebenen wurden nicht mit Personen belegt.

3 Modellbildung

3.1 Geometrie

Die Erstellung des geometrischen Modells erfolgte auf Grundlage der vorliegenden Pläne und Unterlagen für den Neubau der Strecke U 81. Das gesamte Objekt wurde in ein dreidimensionales Simulationsmodell übersetzt. Die relevanten Wände, Türen, Nischen und Öffnungen wurden berücksichtigt.

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

Tabelle 3: Farbcode geometrisches Simulationsmodell

In der folgenden Abbildung ist zur Veranschaulichung der Geometriebildung ein Blick in die modellierte Geometrie zu sehen. Alle Objekte müssen an das orthogonale Rechengitter angepasst werden.

Die Randbereiche des Simulationsvolumens (an den Aufgängen ins Freie und am Tunnel) sind mit einer als „open“ definierten Vent modelliert worden (magentafarbene umrahmte Flächen).

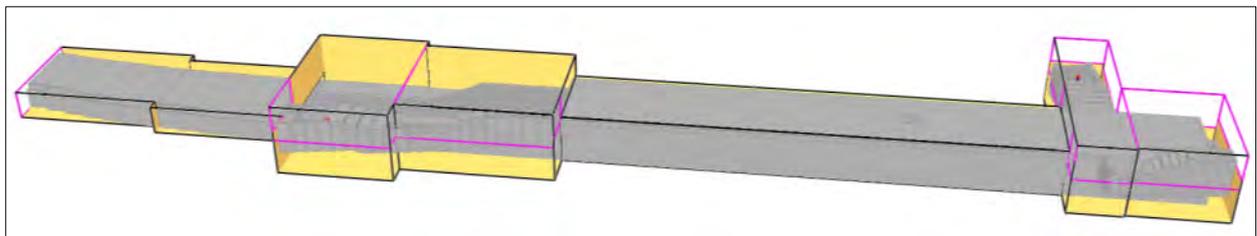


Abbildung 16: Darstellung des geometrischen Simulationsmodells von außen

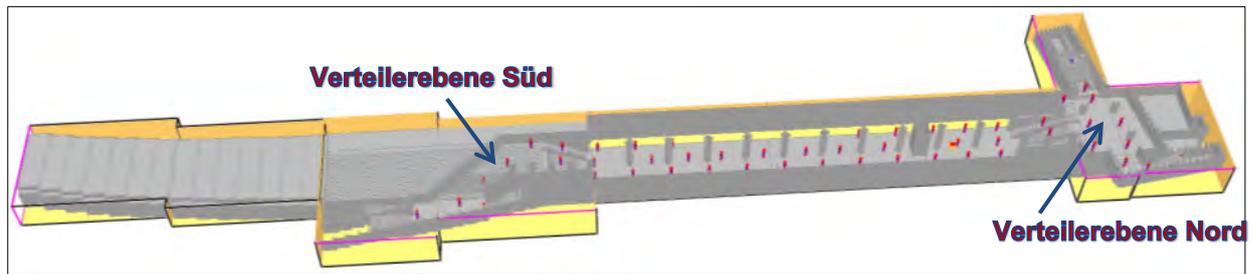


Abbildung 17: Darstellung des geometrischen Simulationsmodells – Blick ins Modell

Aufgrund des Zellengitters musste die Geometrie des Objektes vereinfacht, und an die Rastergröße sowie den orthogonalen Charakter angepasst werden.

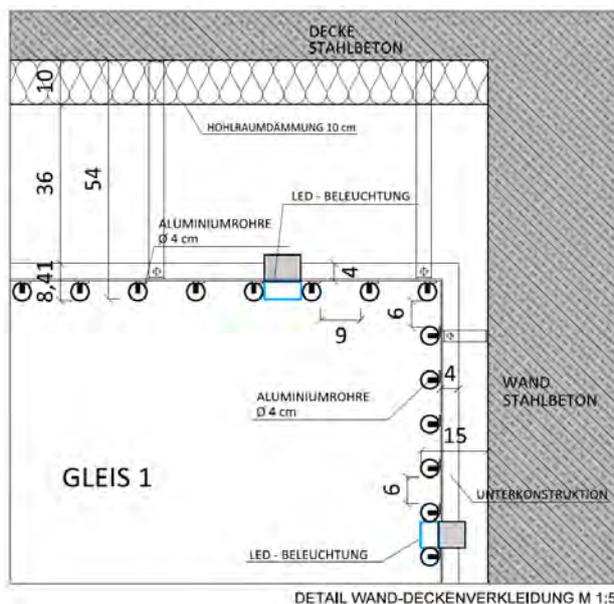


Abbildung 18: Darstellung des Deckenspiegels mit Blick auf die nördliche Verteilerebene.

Im Detailplan Wand – und Deckenverkleidung ist zu erkennen, dass für die Gestaltung der Decke Aluminiumrohre mit einem Durchmesser von 4,0 cm vorgesehen werden. Zwischen den Rohren ist ein Abstand von 9,0 cm geplant. Damit wird eine zu ca. 70 % offene Deckenverkleidung vorgesehen, sodass von einer rauchoffenen Decke auszugehen ist. Des Weiteren verlaufen die Rohre parallel zum Gleis und stellen nur ein Strömungshindernis in Richtung Tunnelwand dar. Das Strömungsverhalten in Richtung Verteilerebene wird durch die Aluminiumrohre nicht beeinträchtigt. Somit kann im Simulationsmodell von einem glatten Deckenspiegel ausgegangen werden.

Im Simulationsmodell wurde eine glatte Decke in der gesamten Station angenommen. Das heißt es wurde keine Einbauten im Deckenbereich berücksichtigt (s. Abb. 17).

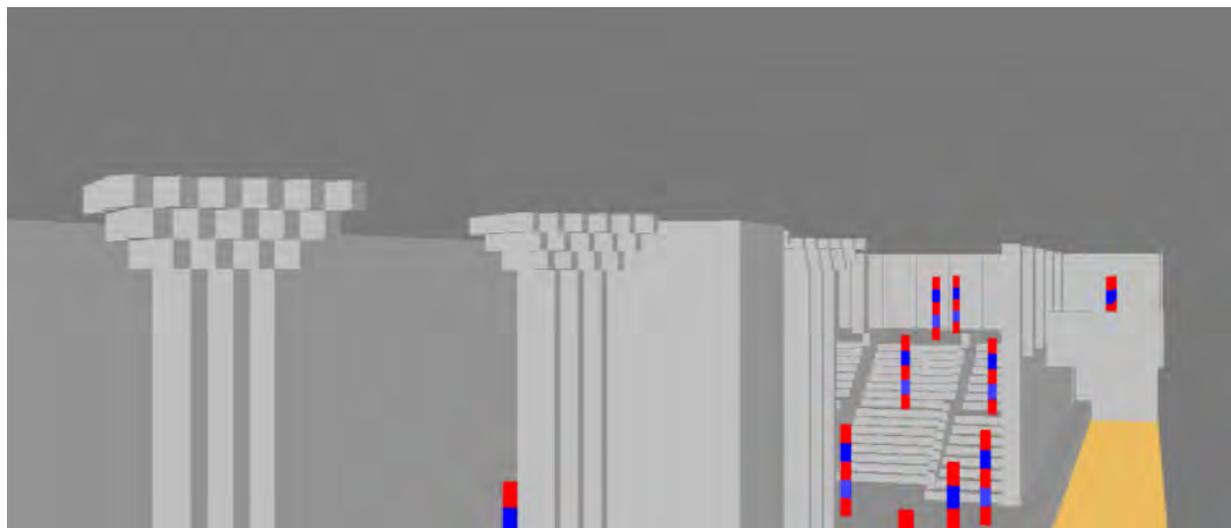


Abbildung 19: Darstellung des Deckenspiegels mit Blick auf die nördliche Verteilerebene.

3.2 Modellierung der Zu- und Abluft

Die Ventilation des Brandes erfolgt im Modell in natürlicher Weise über die Zugänge und den Tunnel. Die Randbedingungen sind in beiden Szenarien in gleicher Weise unterstellt worden.

3.2.1 Darstellung der Zu- und Abluftflächen

Im Bereich des Tunnels wird kann die Zuluft frei in das Objekt nachströmen. Die Rauchgase können ebenso über die offen definierten Ränder frei abströmen. Die Angesezte Fläche am Tunnel ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

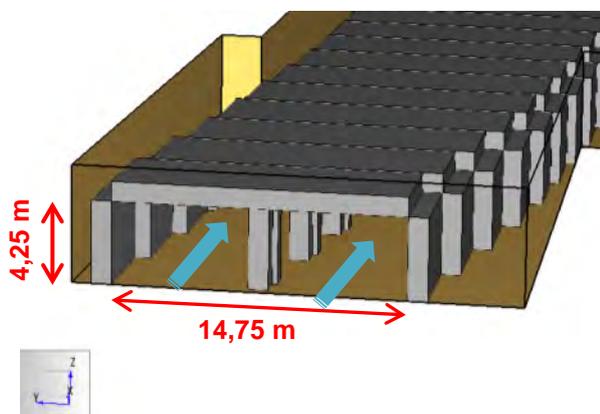


Abbildung 20: Zuluftfläche im Bereich des Tunnels

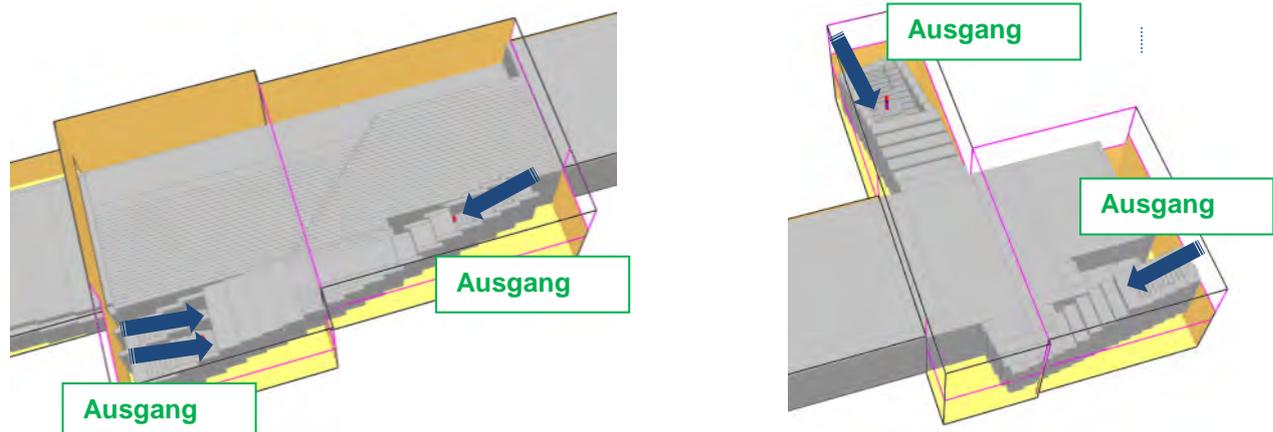


Abbildung 21: Nach- bzw. Abströmflächen über die Zugänge zur U-Bahnstation (VTE Süd- und Nord)

Es sind keine Rauchabzugsanlagen (natürlich oder maschinell) geplant. Konservativ werden die Lüftungsbauwerke im Oberflächenbereich nicht zur Entrauchung angesetzt.

3.3 Aufteilung der Rechengitter in den Szenarien 1, 2 und 3

Bei den vorliegenden Simulationsberechnungen wurde mit mehreren Rechengittern gearbeitet (Multimesh-Berechnung). Die Gitterweite beträgt 25 cm. Im Folgenden sind die Rechengitter (Meshes) dargestellt, in die das Modell unterteilt wurde.

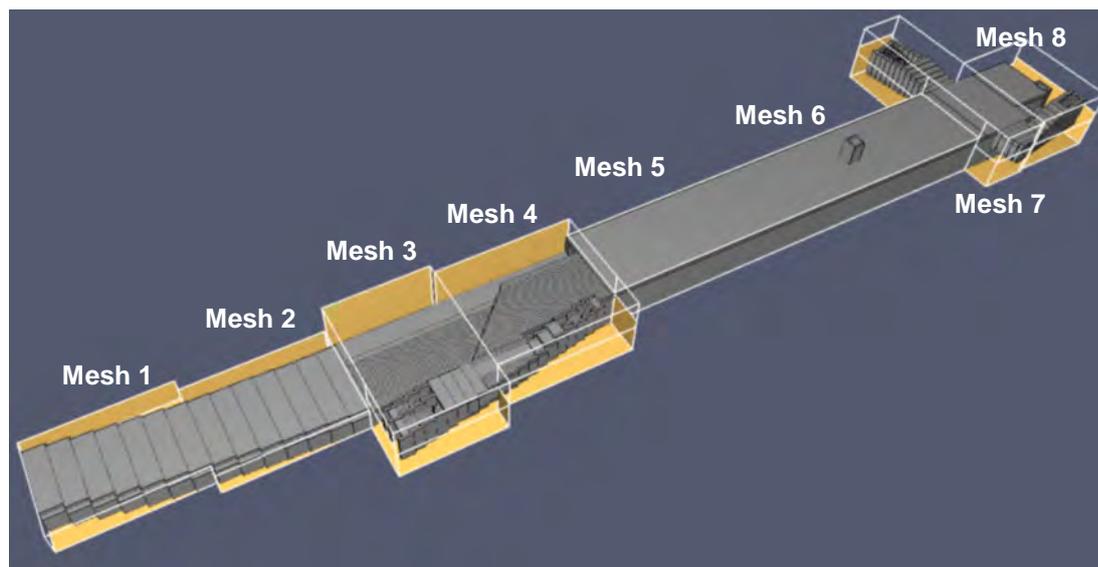


Abbildung 22: Darstellung der Aufteilung Rechengitter in allen Szenarien

Mesh	Gitterweite	Anzahl der Zellen	Liegt im Mesh
1	25 cm x 25 cm x 25 cm	270.000	--
2	25 cm x 25 cm x 25 cm	270.000	--
3	25 cm x 25 cm x 25 cm	777.600	--
4	25 cm x 25 cm x 25 cm	829.440	--
5	25 cm x 25 cm x 25 cm	453.000	--
6	25 cm x 25 cm x 25 cm	750.000	Brandquelle (Szenario 1 und 2)
7	25 cm x 25 cm x 25 cm	518.400	
8	25 cm x 25 cm x 25 cm	480.000	
Summe		$\Sigma = 4.348.440$	

Tabelle: Tabellarische Aufstellung der Meshes

3.4 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 eine flächendeckende Brandmeldeanlage vorgesehen.	-
Alarmierungsanlage	Es ist eine ENS Anlage vorgesehen	-
Fluchtwegpiktogramme	Selbstleuchtende Piktogramme	-
Sprinkleranlage		Im Objekt ist keine Sprinkleranlage vorgesehen.

4.1 Geometrisches Modell für die Räumungssimulation

Das geometrische Modell bildet den Bewegungsraum für die Personen innerhalb des Simulationsprogramms ASERI nach. Die freie Bewegung der Personen wird innerhalb der Simulation nur durch Wände und Hindernisse begrenzt. Somit ist es erforderlich, alle Bereiche, die im Objekt von Personen begangen werden können, im vorliegenden geometrischen Modell zu berücksichtigen.

Die Modellierung der folgenden Räume und Objekte wurde aufgrund ihrer Bedeutung für eine erfolgreiche Räumung möglichst realitätsnah umgesetzt:

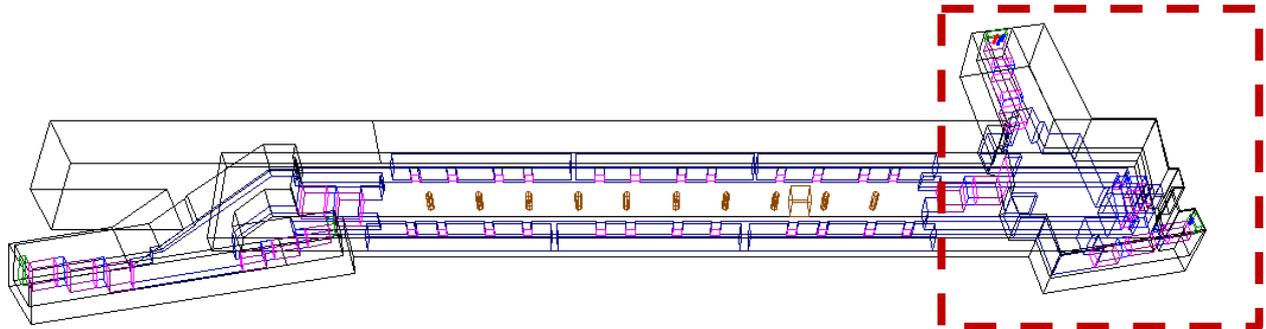


Abbildung 23: Ansicht des Simulationsmodells für die Räumungssimulation

Im Simulationsmodell wurde während des Planungsprozesses die Geometrie der Verteilerebene Nord (rot markiert) in Richtung Flughafen geändert. Hier wurde im Modell der Ausgang in Richtung Nordost in der vorherigen Planung nach Norden geführt. In der aktuellen Planung verläuft der Ausgang aus der Verteilerebene direkt in Richtung Osten.

Vereinfachungen

Im Zuge der Bildung des geometrischen Modells wurden folgende Vereinfachungen zugelassen:

- Räume, in denen sich nur wenige Personen aufhalten oder Räume bei denen es sich nicht um ständige Aufenthaltsräume handelt, wurden weggelassen oder als Hindernis modelliert.
- Im Planungsprozess wurde der rot markierte Ausgang (Abb. 23) gedreht. Dies ist konservativ, da die Personen einen längeren Weg durch die Verteiler zurücklegen müssen. Des Weiteren bewegen sich Personen um langsamer als auf gerader Strecke, somit würde sich die Räumungsdauer eventuell leicht verkürzen.

Die erforderlichen Geometriepunkte wurden maßstäblich aus den zur Verfügung gestellten Plänen zu einem dreidimensionalen Gebäudemodell zusammengefügt.

Farbe	Bedeutung im Modell
Dunkelgrün	Außenbereich
Blau	Flur
Magenta	Tür
Schwarz	Etage
Dunkelblau	Räume
Dunkelmagenta	Treppen

Tabelle 4: Farbcode geometrisches Simulationsmodell

5 Ergebnisse der Simulationen

5.1 Ergebnisse der Brandsimulationen

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

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

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

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

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

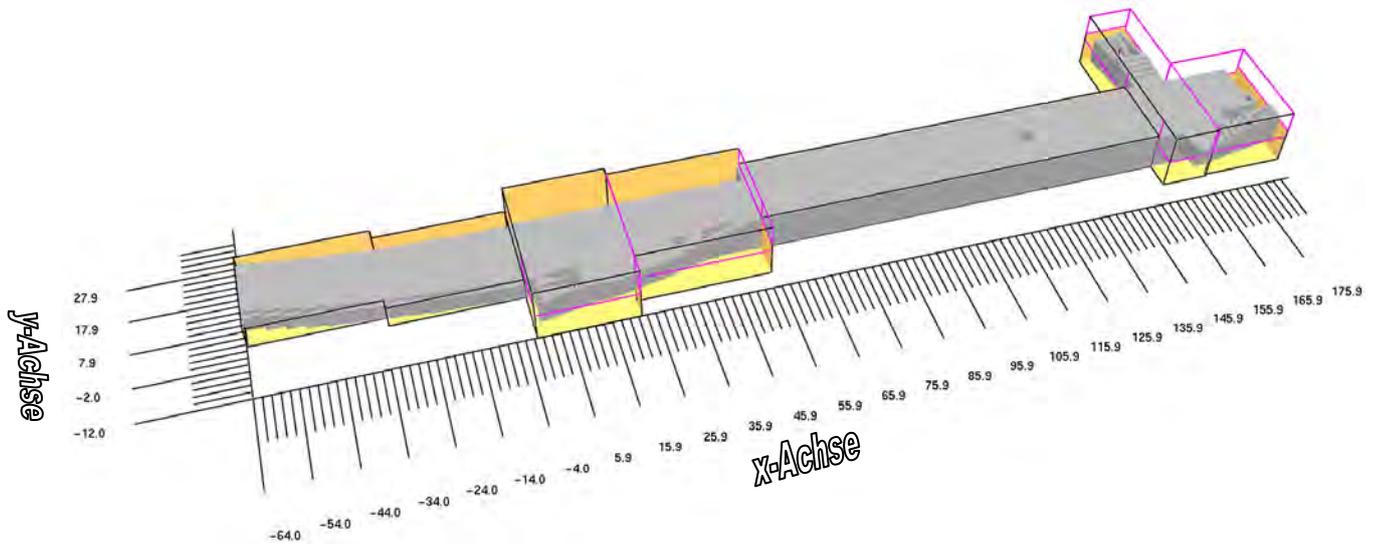


Abbildung 24: Koordinaten (x- und y-Achse) im geometrischen Modell des U 81 – Bahnhofs

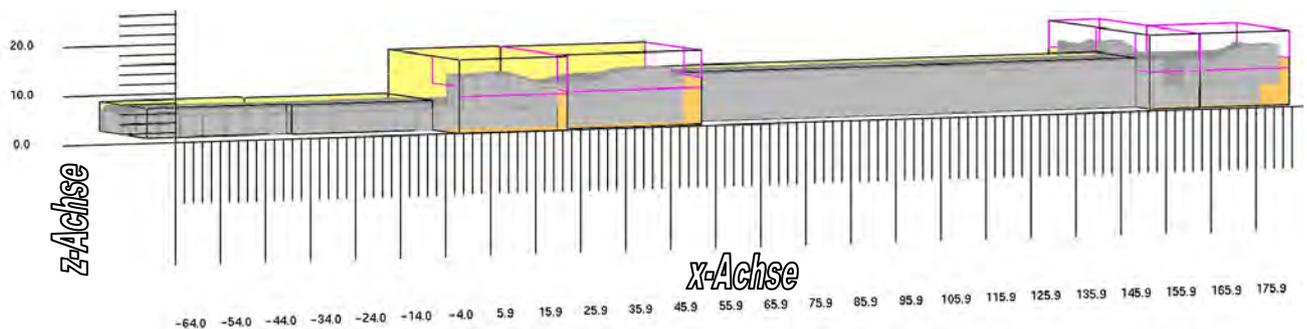


Abbildung 25: Koordinaten (x- und z-Achse) im geometrischen Modell der

Das folgende Schnittbild (Abbildung 26) 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 linken Seite des Bildes ist erkennbar, dass sich die Rauchschicht mit dem Grenzwert zu diesem Zeitpunkt lediglich im Dachbereich der Bahnsteigebene ausgebildet hat.

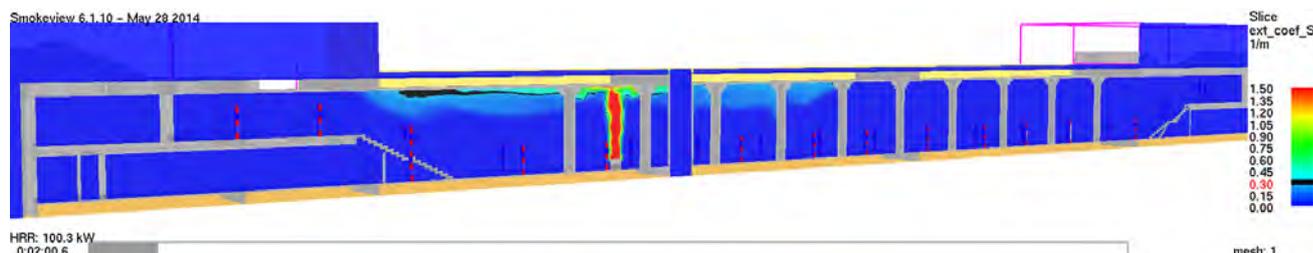


Abbildung 26: Lage des vertikalen Auswerteschnittes im Modell (y = 9,5 m)

Im Beispiel ist eine Schnittebene zur Auswertung des Extinktionskoeffizienten gezeigt. 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 Zuordnung zu den Temperaturwerten. 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. 2 Minute).

Kommentiert und bewertet werden die jeweiligen Schnittbilder mit Hilfe einer Bewertungstabelle. Diese Tabelle stellt neben dem relevanten Schutzziel und einem Kommentar den aktuellen Status der Schutzzieleerfüllung dar. Hierzu wird im rechten Tabellenbereich wie im folgenden Beispiel das Schutzziel „Bahnsteigebene“ in Form eines Ampelsystems in den Farben Grün, Orange und Rot markiert.

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

Abbildung 27: Beispiel für eine Bewertungstabelle

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

Die Auswertung der raucharmen Schichten erfolgt für den Bereich der Bahnsteigebene und der Verteilerebenen im Norden und im Süden. Bei der Auswertung werden die Verteilerebenen mit „VE“ und die Bahnsteigebene mit „BE“ abgekürzt.

5.2 Ergebnisse der Entfluchtungssimulation

Nachfolgend werden die Ergebnisse gesamt Räumung mit ASERI für die o. g. Szenarien dargestellt.

Die grafische Auswertung der Räumungssimulation erlaubt die Darstellung der zeitabhängigen Räumung des:

- Gesamtgebäudes (evakuierte Personen);
- der einzelnen Ebenen.

Die folgende Tabelle erläutert die Kennwerte der ermittelten Räumungsdauern

Bezeichnung	Erläuterung
t_eva	absolute Räumungszeit bis alle Personen den sicheren Außenbereich erreicht haben
t_1.	absolute Räumungszeit bis die erste Person den sicheren Außenbereich erreicht hat
t_50%	absolute Räumungszeit bis 50% aller Person den sicheren Außenbereich erreicht haben
t_95%	absolute Räumungszeit bis 95% aller Person den sicheren Außenbereich erreicht haben
t_98%	absolute Räumungszeit bis 98% aller Person den sicheren Außenbereich erreicht haben
Mittelw	Mittelwert der Räumungszeiten t_eva über 10 Läufe
StAbw	rechnerische Standardabweichung (Maß für die Schwankungsbreite der Ergebnisse)

Die Räumungsdauern beschreiben die Zeit bis alle Personen sichere Bereiche erreicht haben. In diesen Zeiten ist die oben beschriebene „**Pre-Movement**“-Zeit (Zeitdauer von der Alarmierung bis zum Beginn der individuellen Fluchtbewegung) bereits enthalten.

Kommentiert und bewertet werden die jeweiligen Schnittbilder mit Hilfe einer Bewertungstabelle. Diese Tabelle stellt neben dem relevanten Schutzziel und einem Kommentar den aktuellen Status der Schutzzielerfüllung für die Selbst- und Fremdretrungsphase dar. Hierzu wird im rechten Tabellenbereich wie im folgenden Beispiel die Buchstabenkombination „SR“ (Selbstrettung) in Form eines Ampelsystems in den Farben Grün, Orange und Rot markiert. In der letzten Spalte wird das Brandszenario aufgeführt, für welches die vorhergehende Markierung gültig ist. Hier bedeutet die Tabelle, dass die Selbstrettung für das Brandszenario 2 nicht mehr gewährleistet werden kann, aber im Szenario 1 der Brandsimulation keine Beeinträchtigungen für diesen Zeitpunkt während der Selbstrettung zu erwarten sind.

Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.	Beurteilung und ggf. Kommentar: Es haben alle Personen die U-Bahnstation verlassen.	Selbstrettung
--	---	---------------

Abbildung 28: Beispiel für eine Bewertungstabelle

Dabei bedeutet eine grüne Markierung, dass das Schutzziel im vorliegenden Schnittbild erfüllt ist. Eine orange Markierung weist auf eine Grenzwertüberschreitung hin, die aber für das zu erfüllende Schutzziel

(Fremdrettung oder Selbstrettung) noch akzeptabel ist. Eine rote Markierung bedeutet, dass die Erfüllung des Schutzziels nicht mehr gegeben ist. In der letzten Spalte wird das zugehörige Brandszenario genannt, für die die farbige Markierung gültig ist.

5.3 Auswertung Szenario 1 – Brand einer Bahn im Gleisbereich

5.3.1 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 1,5 Minute

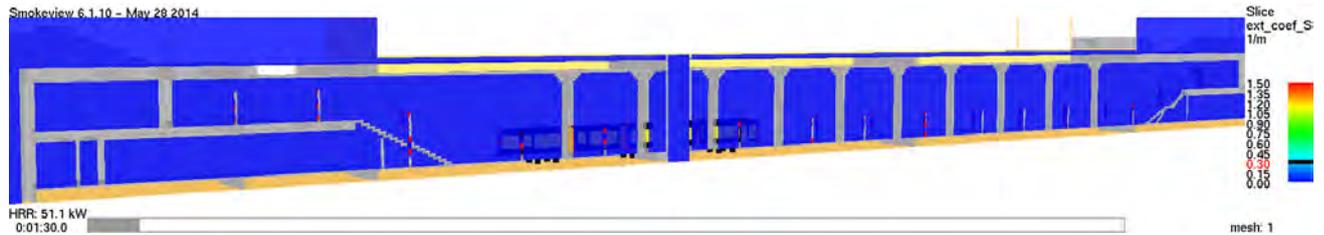


Abbildung 29: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: 1,5 Minuten nach Beginn des Brandereignisses sind noch keine Grenzwertüberschreitungen auf der Bahnsteigebene im Bereich des Auswertungsschnittes vorhanden.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
--	---	---

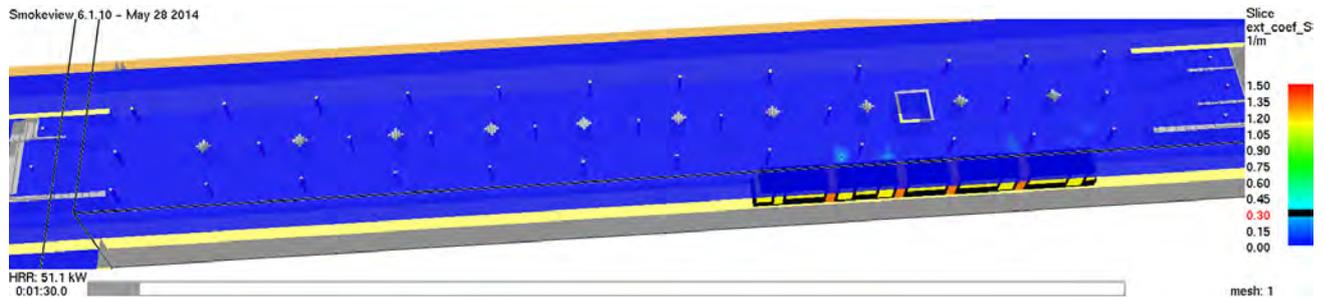


Abbildung 30: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Nach 1,5 Minuten sind in einer Höhe von 2,5 m über der Bahnsteigebene keine Grenzwertüberschreitungen erkennbar.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
--	---	-------------------------

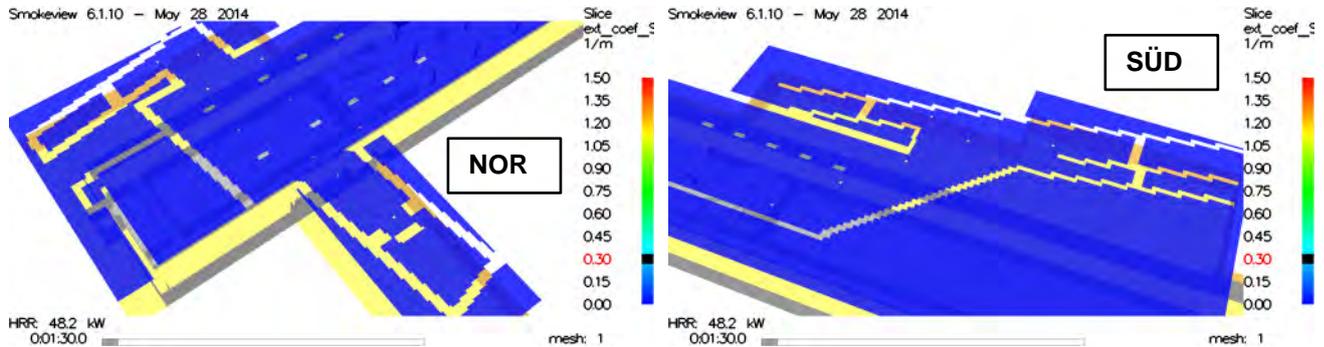


Abbildung 31: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt z = 7,5 m –
Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Auch in einer Höhe von 2,5 m über der Verteilerebene sind keine Rauchgase vorhanden.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------

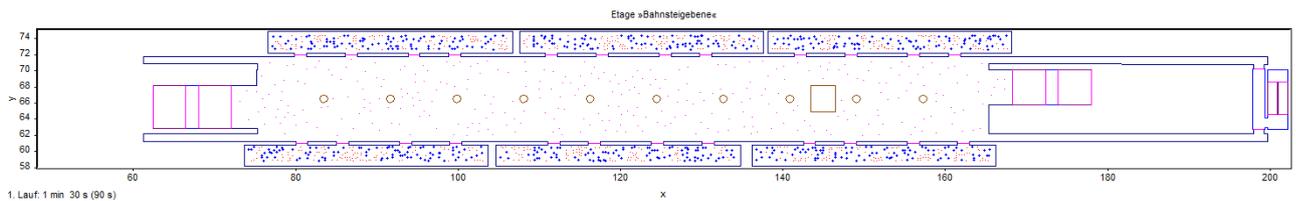


Abbildung 32: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 1,5 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die ersten Personen beginnen mit der Räumung.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

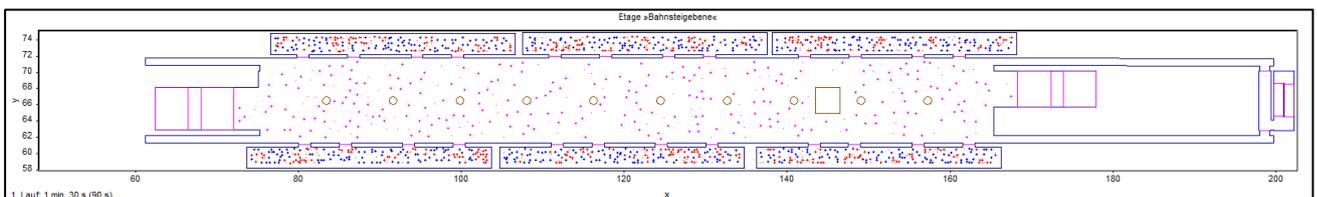


Abbildung 33: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 1,5 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die ersten Personen beginnen mit der Räumung.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

Die Verteilerebenen werden zu diesem Zeitpunkt in der Räumung noch nicht dargestellt, da hier noch keine Personen in diesen Bereich angekommen sind.

5.3.2 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach 3,0 Minuten

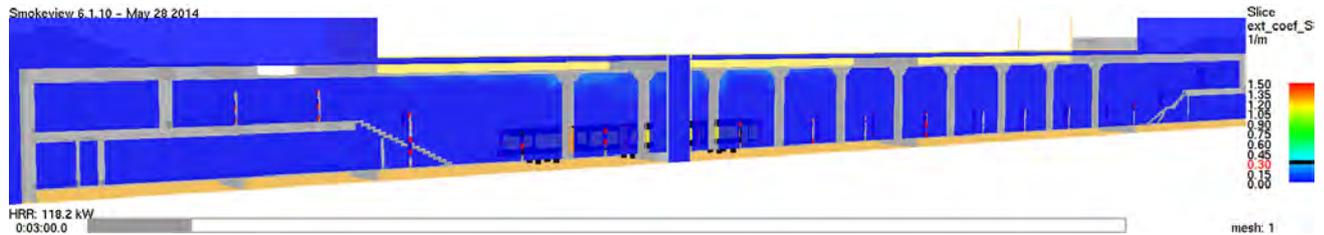


Abbildung 34: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Zu diesem Zeitpunkt erhöht sich unmittelbar über der Bahn die Rauchgaskonzentration. Diese überschreiten nicht den kritischen Wert von $0,3 \text{ m}^{-1}$.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
--	--	---

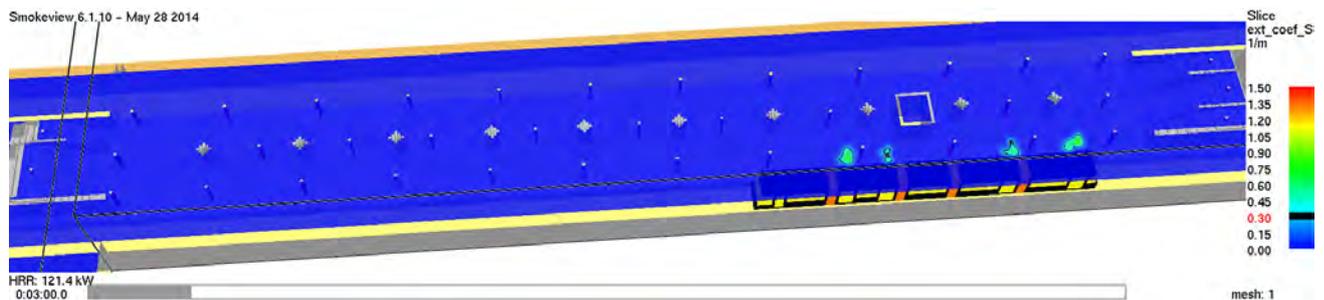


Abbildung 35: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Unmittelbar über der Bahn treten Grenzwertüberschreitungen auf. Bis zu diesem Zeitpunkt beeinflussen diese nicht die Entfluchtung der Bahnsteigebene, da die Überschreitung lokal begrenzt ist.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
--	--	-------------------------

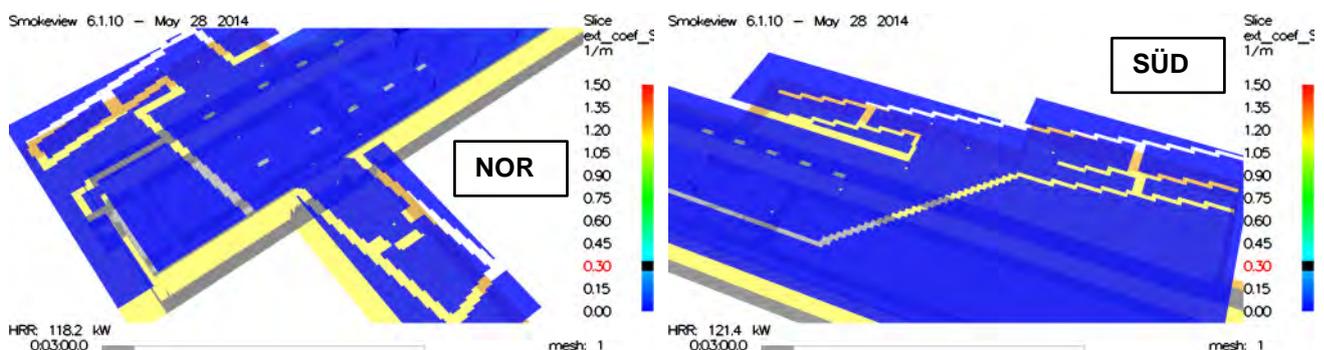


Abbildung 36: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt $z = 7,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es treten weiterhin keine Rauchgase in einer Höhe von 2,5 m über den Verteilerebenen im Norden und im Süden auf.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
--	---	-------------------------

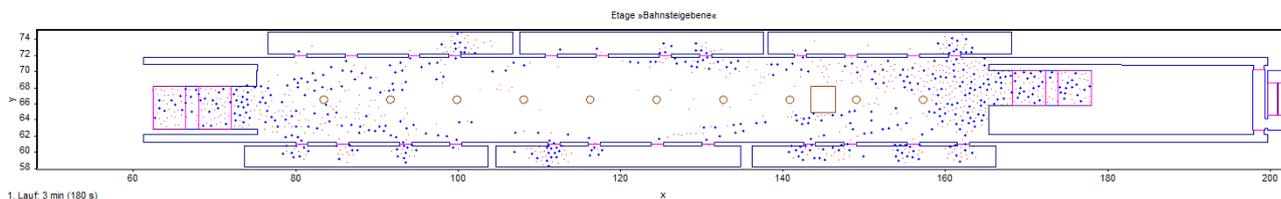


Abbildung 37: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 3 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es haben alle Personen mit der Räumung begonnen und strömen zu den Ausgängen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

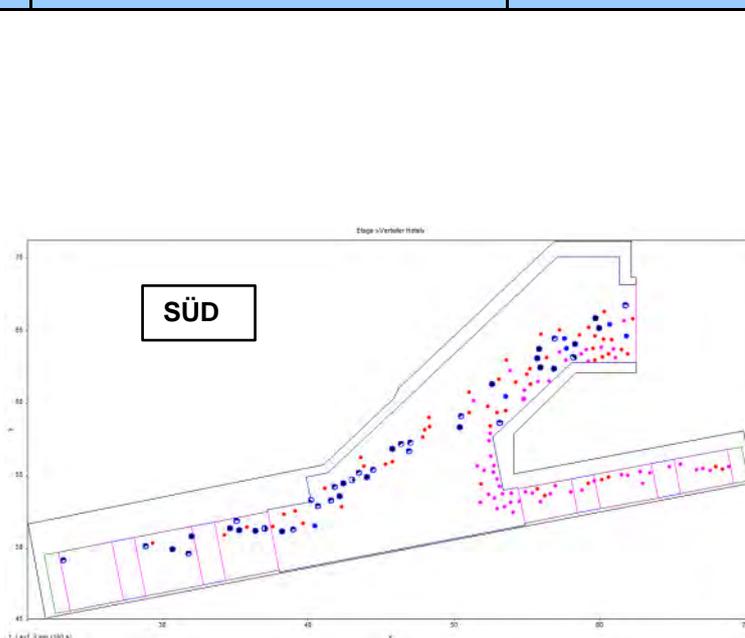
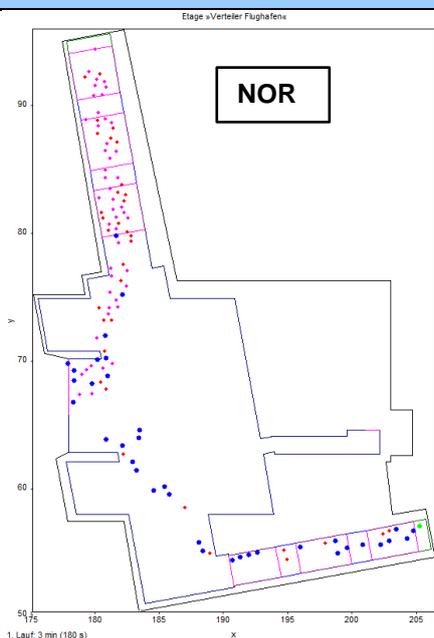


Abbildung 38: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 3 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Verteilerebenen sind keine Ansammlungen vor den Treppen zu erkennen. Die Personen können ungehindert ins Freie abströmen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

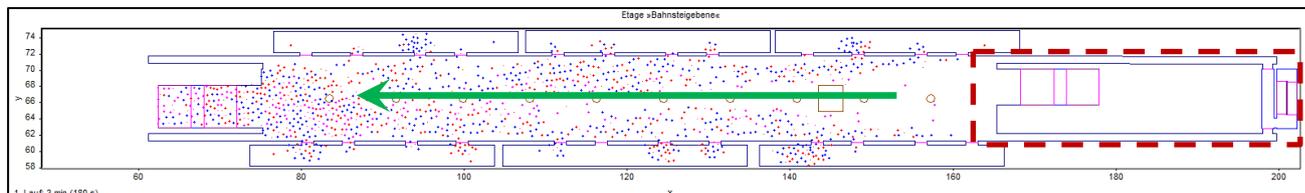


Abbildung 39: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 3 Minuten – Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es ist zu erkennen, dass die alle Personen mit der Räumung begonnen haben. In diesem Szenario ist der rot markierte Ausgang in Richtung Flughafen (Nord) gesperrt, sodass die Personen nur über die Verteilerebene Süd (in Pfeilrichtung) die Station verlassen können.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

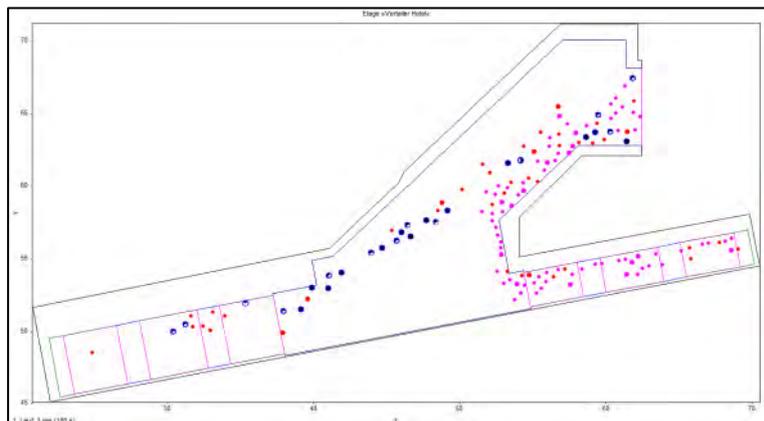


Abbildung 40: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 3 Minuten – Verteilerebene Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In der Verteilerebene Süd verlassen die Personen über beide Aufgänge die Station. Es sind keine Stauungen vor den Treppen zu sehen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

5.3.3 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten

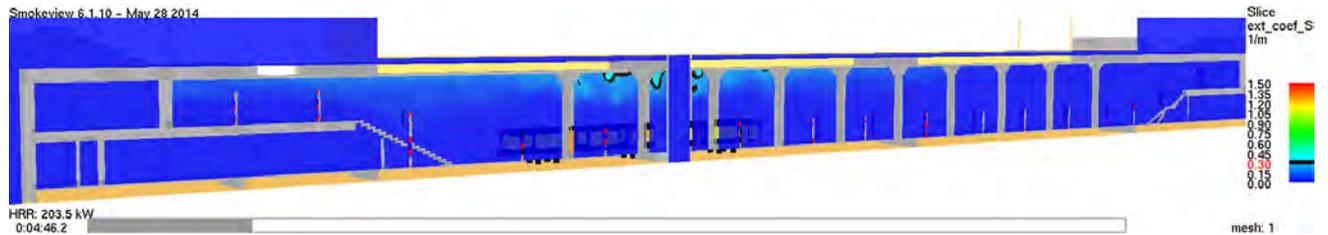


Abbildung 41: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Es treten erste Grenzwertüberschreitungen unter der Decke auf. Die Rettungswege sind frei von kritischen Rauchgasen.	Selbstrettung BE Selbstrettung VE

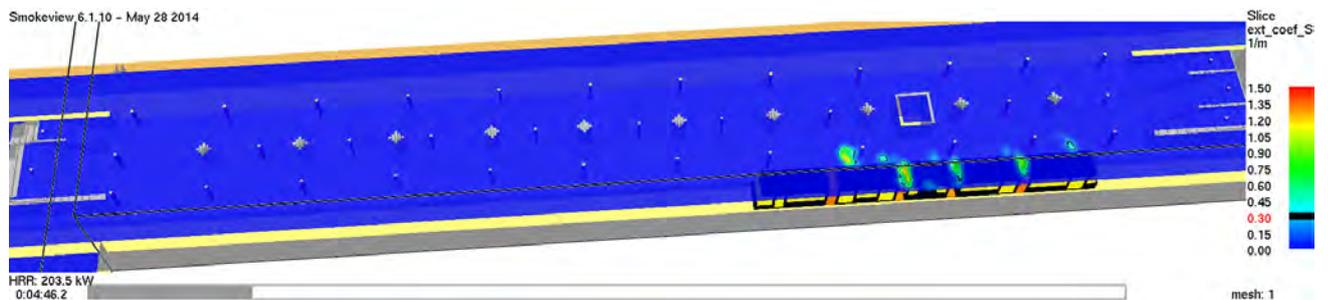


Abbildung 42: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Die Bereiche, in denen der Grenzwert überschritten wird, haben sich nur geringfügig vergrößert. Die Grenzwertüberschreitungen treten weiterhin nur unmittelbar über der Bahn auf.	Selbstrettung BE

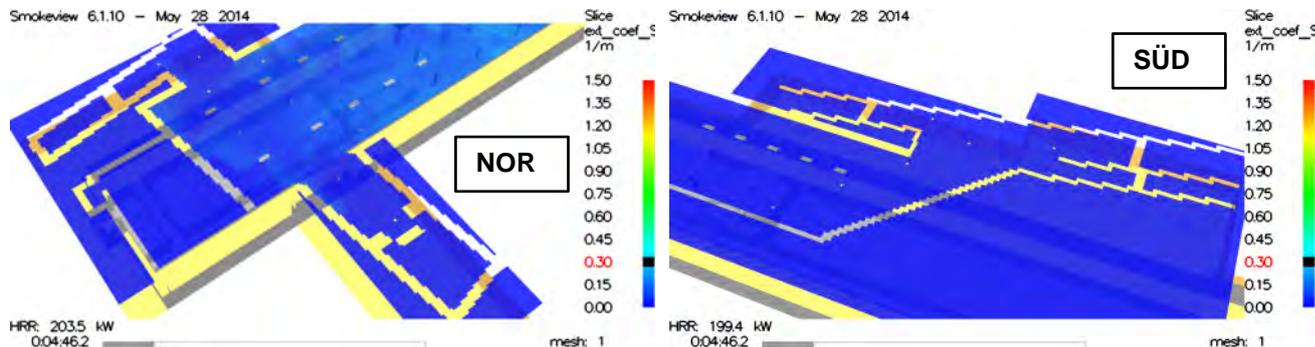


Abbildung 43: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt z = 7,5 m –
Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Rauchgaskonzentration in der nördlichen Verteilerebene erhöht sich, jedoch werden keine Grenzwertüberschreitungen erreicht. In der südlichen Verteilerebene sind keine Rauchgase vorhanden.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	--	-------------------------

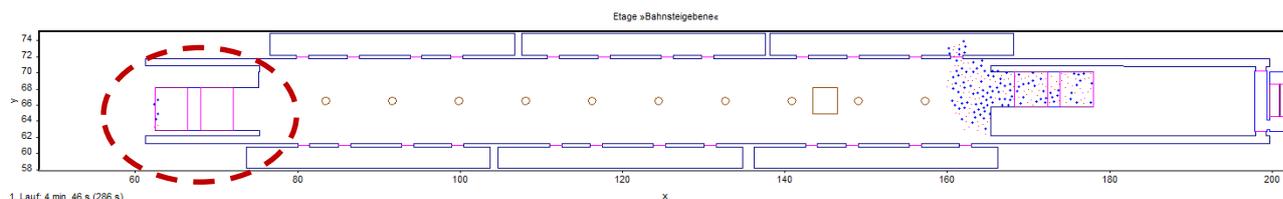


Abbildung 44: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten - Bahnsteige Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Personen, die über die Verteilerebene Süd (rot markiert) die Station verlassen, haben den Treppenaufgang und damit die Bahnsteige Ebene verlassen. Am Ausgang in Richtung Norden befinden sich noch Personen in der Bahn und vor dem Ausgang.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

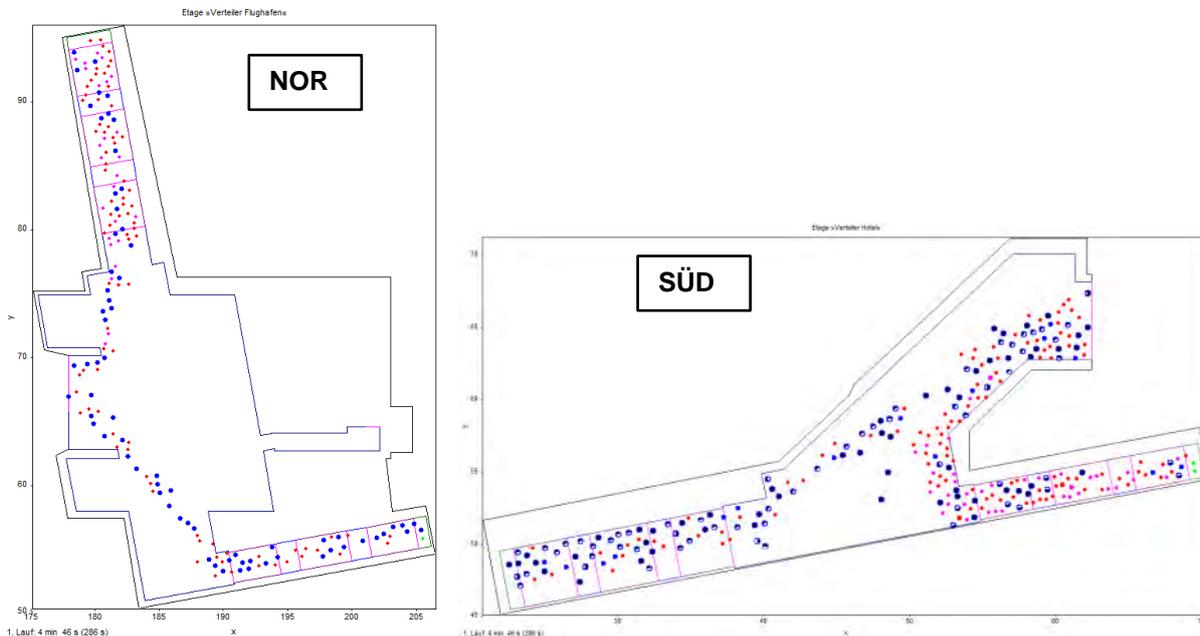


Abbildung 45: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Verteilerebenen sind keine Ansammlungen vor den Treppen zu erkennen. Die Personen können ungehindert ins Freie abströmen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

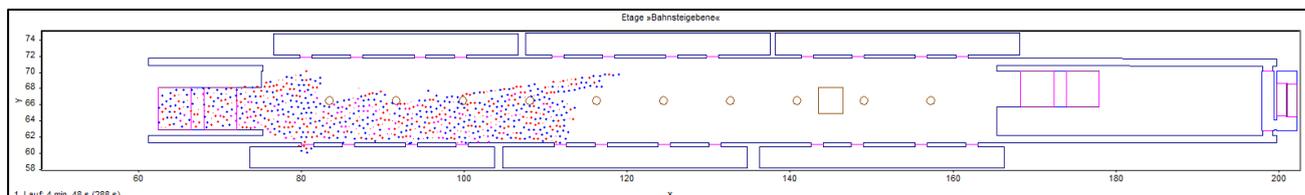


Abbildung 46: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es haben fast alle Personen die Bahnen verlassen und sich vor dem Treppenaufgang gesammelt. Die Personenansammlung hat eine Länge von ca. 30 m.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

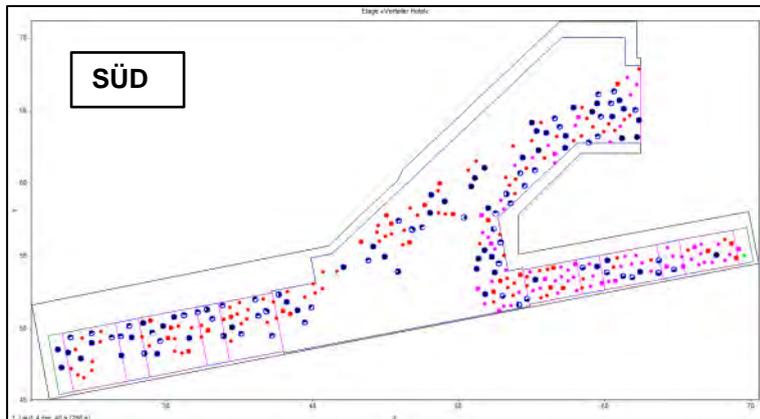


Abbildung 47: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Personen strömen weiterhin über beide Treppenaufgänge ins Freie. Zudem sind keine Stauungen vor den Aufgängen vorhanden.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

5.3.4 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 5,8 Minuten

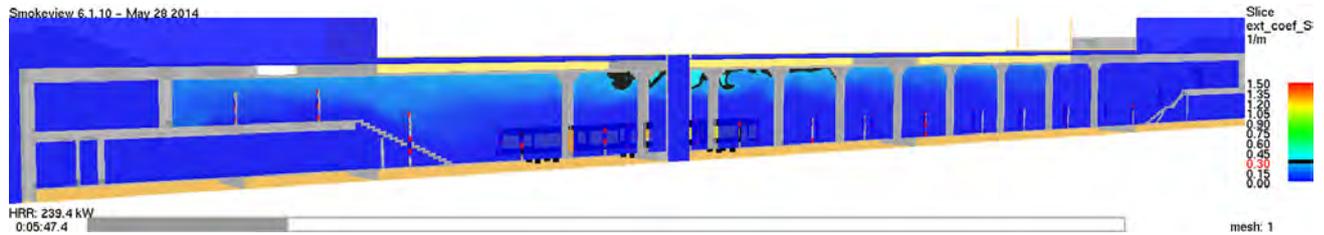


Abbildung 48: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Im Deckenbereich erhöht sich die Rauchgaskonzentration. Die Bereiche der Grenzwertüberschreitung haben sich nur minimal vergrößert.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
--	--	---

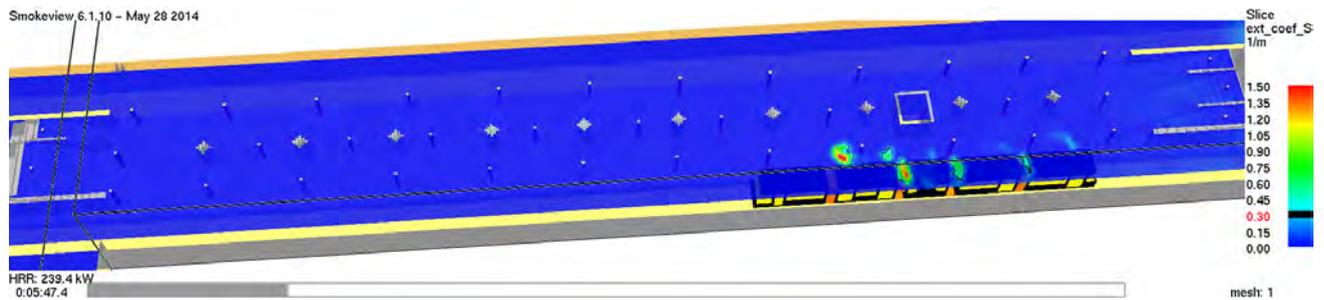


Abbildung 49: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Im Vergleich zu dem vorherigen Auswertungszeitpunkt hat sich das Schnittbild unwesentlich verändert.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
--	---	-------------------------

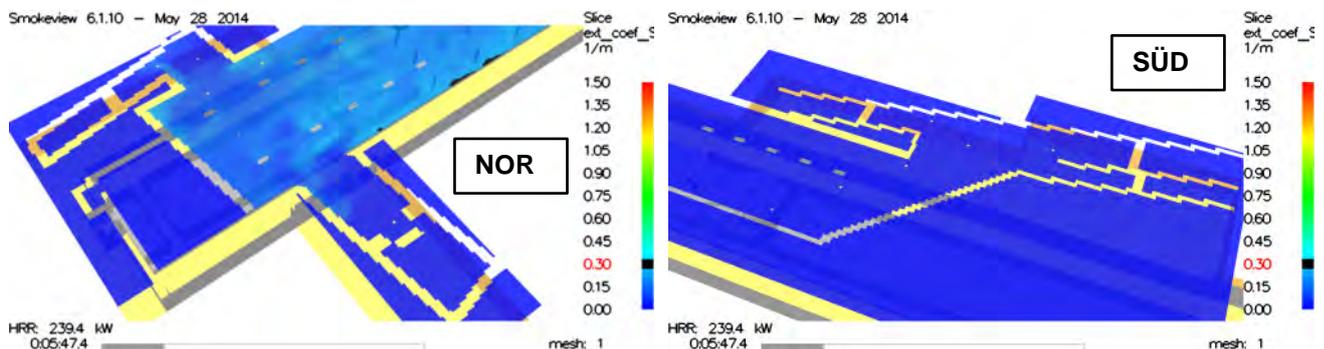


Abbildung 50: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt $z = 7,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In beiden Verteilerebenen kommt es zu keiner Überschreitung des Extinktionskoeffizienten von $0,3 \text{ m}^{-1}$. Die Selbstrettung kann gewährleistet werden.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
--	---	-------------------------

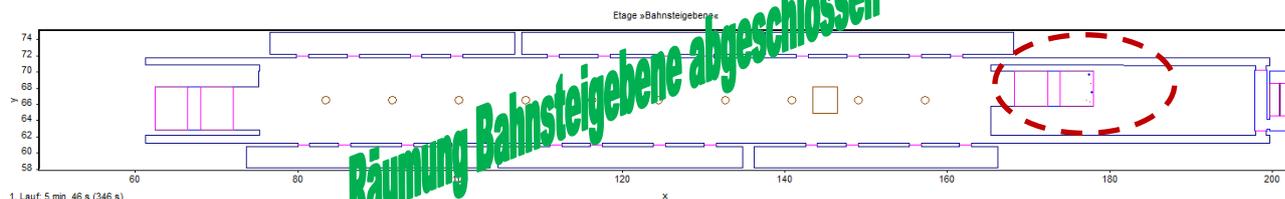


Abbildung 51: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person hat den Treppenaufgang zur nördlichen Verteilerebene (rot markiert) verlassen. Die Bahnsteigebene ist vollständig geräumt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

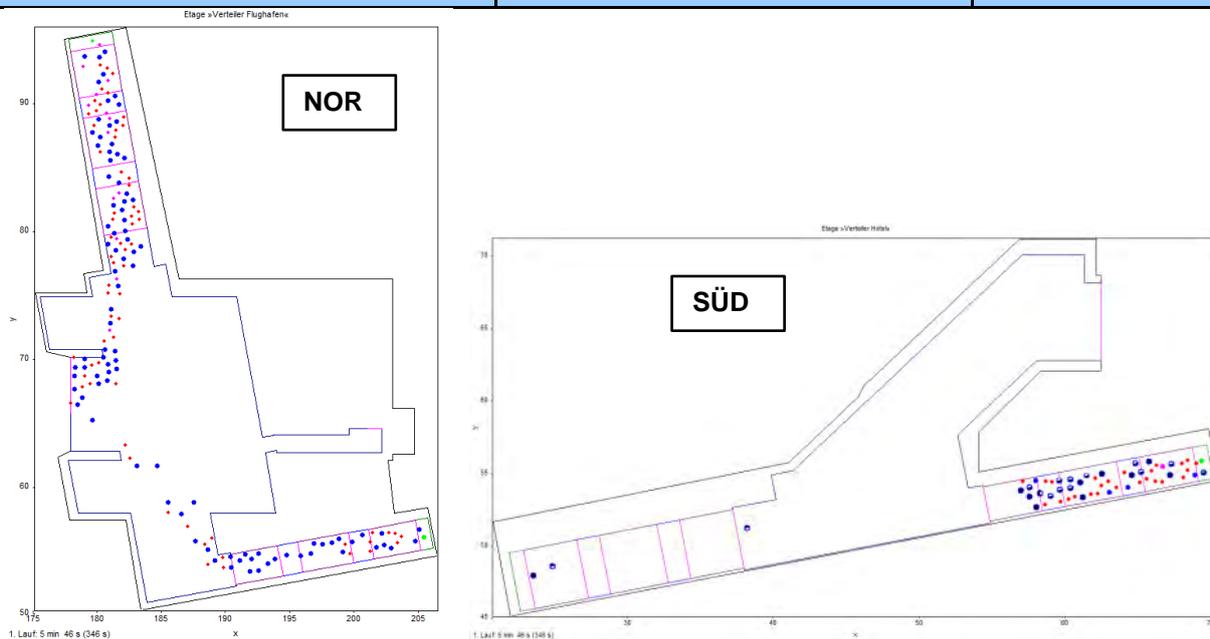


Abbildung 52: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Verteilerebenen sind keine Ansammlungen vor den Treppen zu erkennen. Die Personen können ungehindert ins Freie abströmen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

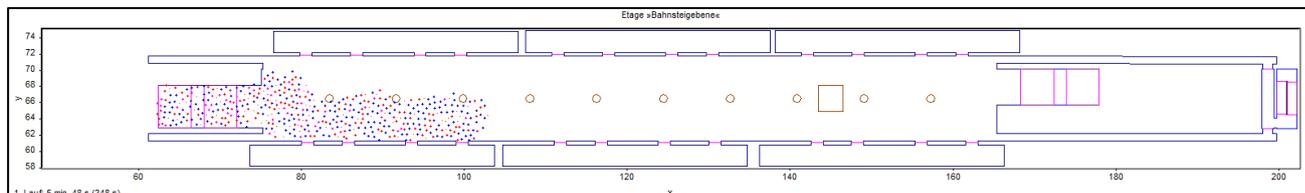


Abbildung 53: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Personenansammlung vor der Treppe in Richtung Verteilerebene Süd verkürzt sich auf ca. 20 m. Die Bahnen sind vollständig geräumt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

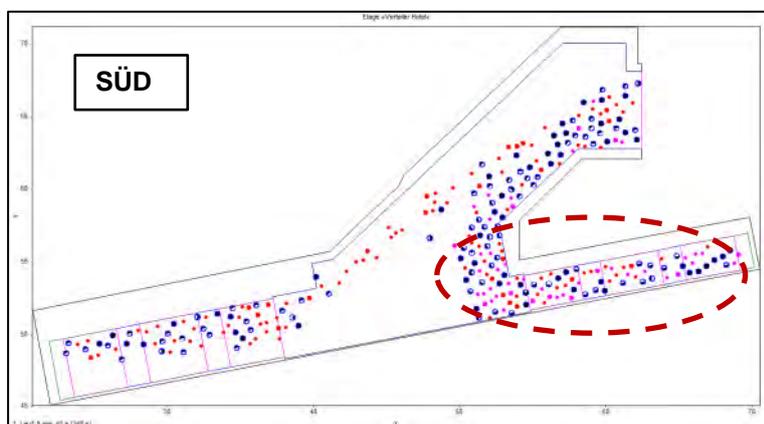


Abbildung 54: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Am rot markierten Ausgang ist eine Personenansammlung zu erkennen, am gegenüberliegenden Ausgang ist ein ungehindertes Abströmen weiterhin möglich.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

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

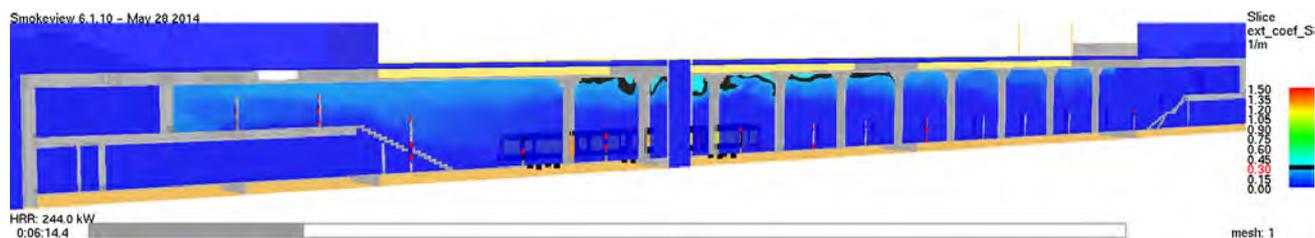


Abbildung 55: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt y = 9,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Schutzziele werden weiterhin erfüllt.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
---	--	---

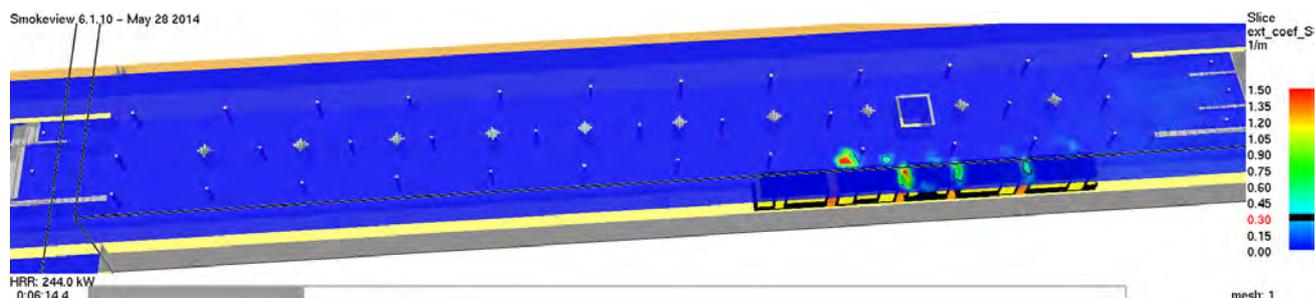


Abbildung 56: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Räumung der Bahnsteigebene ist bereits abgeschlossen. Die Schutzziele werden erfüllt.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
---	--	-------------------------

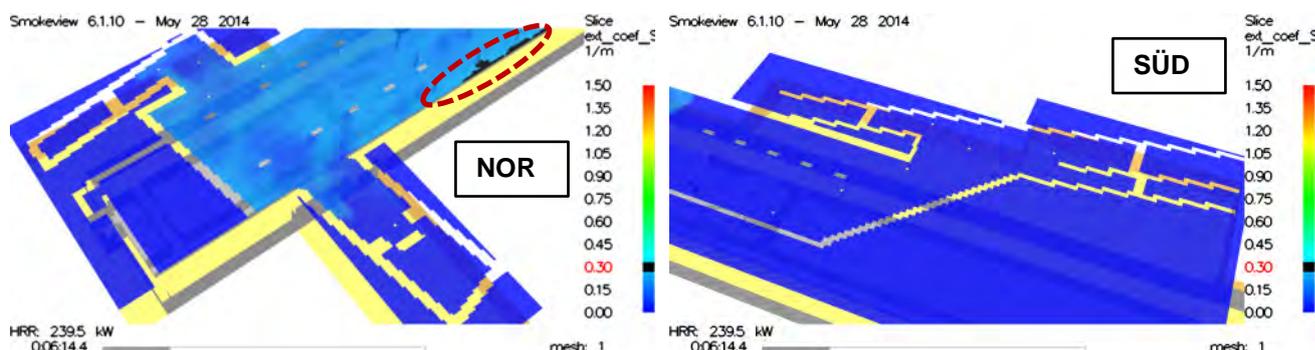


Abbildung 57: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Im Schnittbild der nördlichen Verteilerebene kommt es zu ersten Grenzwertüberschreitungen (rot markiert). Diese liegen jedoch über der Treppe, dieser Bereich ist nicht für Personen begehbar. In der südlichen Verteilerebene sind weiterhin keine Überschreitungen des Grenzwertes erkennbar.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	--	-------------------------

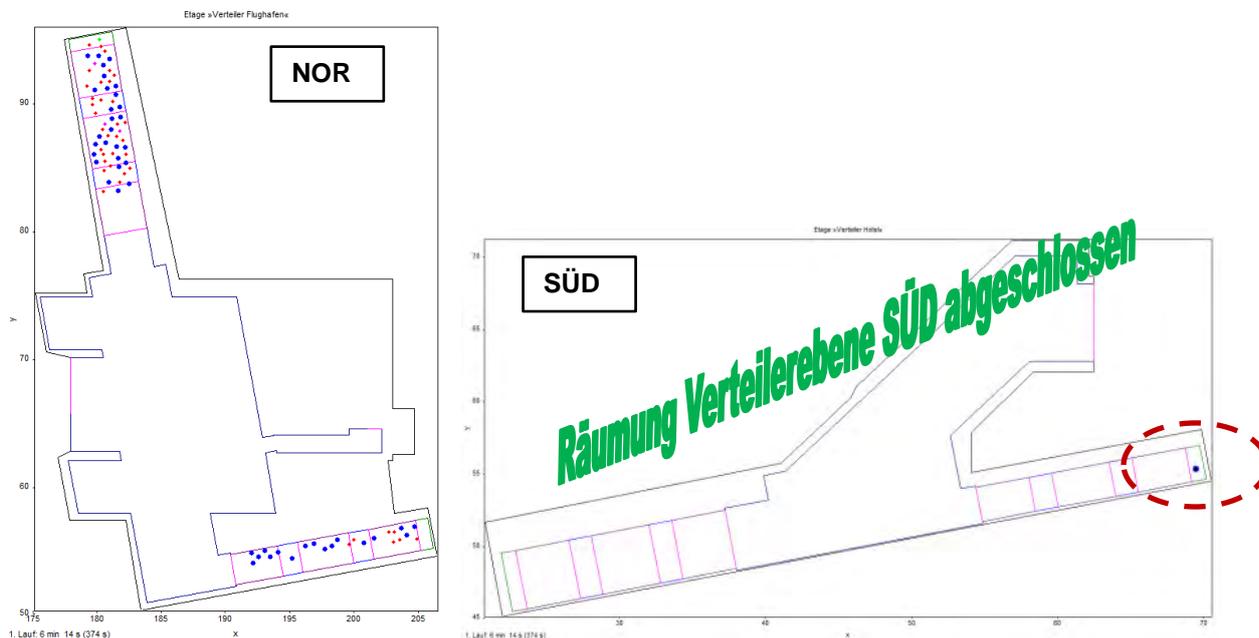


Abbildung 58: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 6,2 Minuten - Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Verteilerebene Süd ist vollständig geräumt. Die letzte Person (rot markiert) hat das Freie erreicht.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

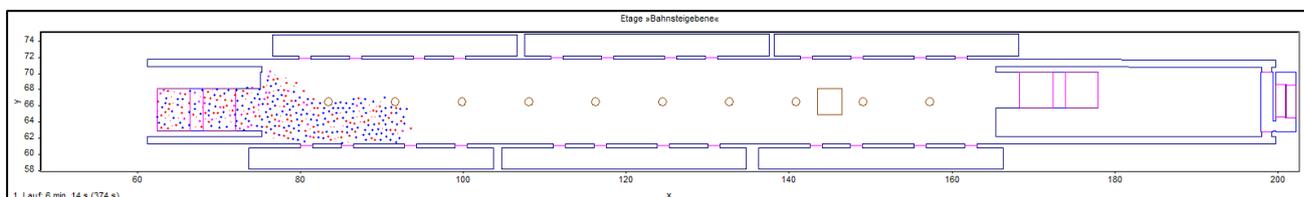


Abbildung 59: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,2 Minuten – Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung vor der Treppe verringert sich auf ca. 15 m. Durch die Ansammlung vor dem Ausgang in der Verteilerebene wird das Abströmen über diese Treppe leicht behindert.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

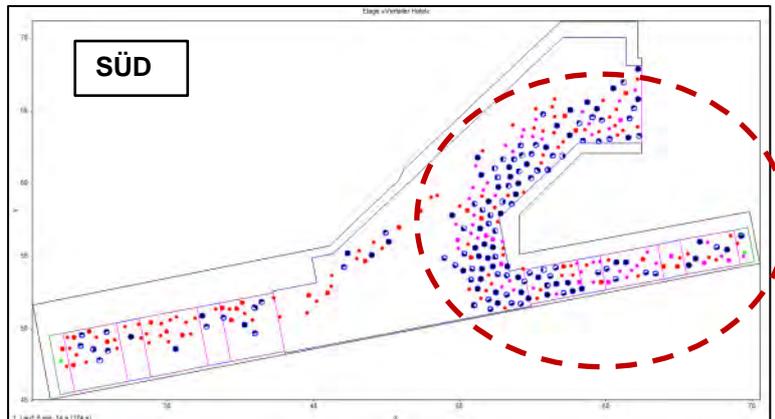


Abbildung 60: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,2 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung vor dem rot markierten Ausgang ist weiterhin vorhanden und beeinflusst das Abströmverhalten auf der Treppe zwischen Bahnsteig und Verteilerebene. Am zweiten Ausgang sind keine Ansammlungen zu erkennen. Hier ist ein ungehindertes Verlassen der Station möglich.</p>	<p style="text-align: center; color: green;">Selbstrettung</p>
---	---	--

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

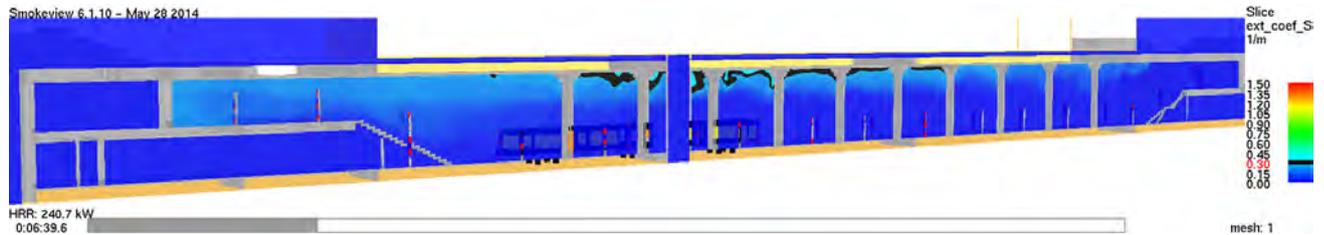


Abbildung 61: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Weiterhin sind keine Einschränkungen der Räumung durch Grenzwertüberschreitungen zu erwarten.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
--	--	---

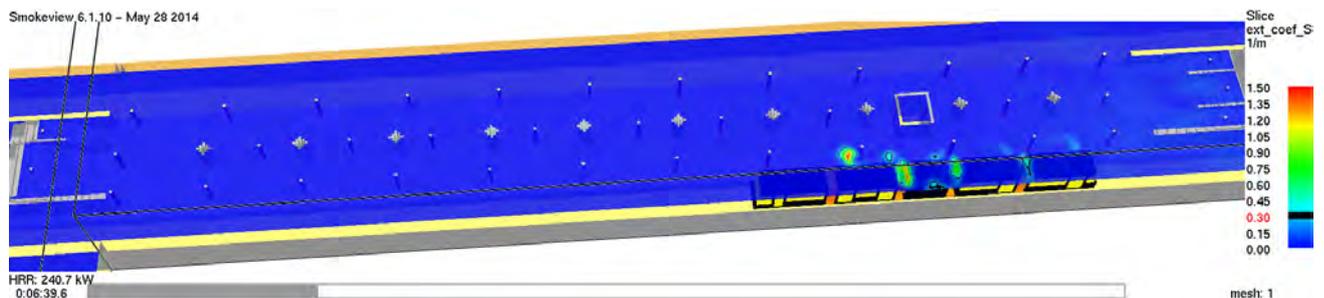


Abbildung 62: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Bereiche der Grenzwertüberschreitung haben sich nicht weiter vergrößert.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
--	---	-------------------------

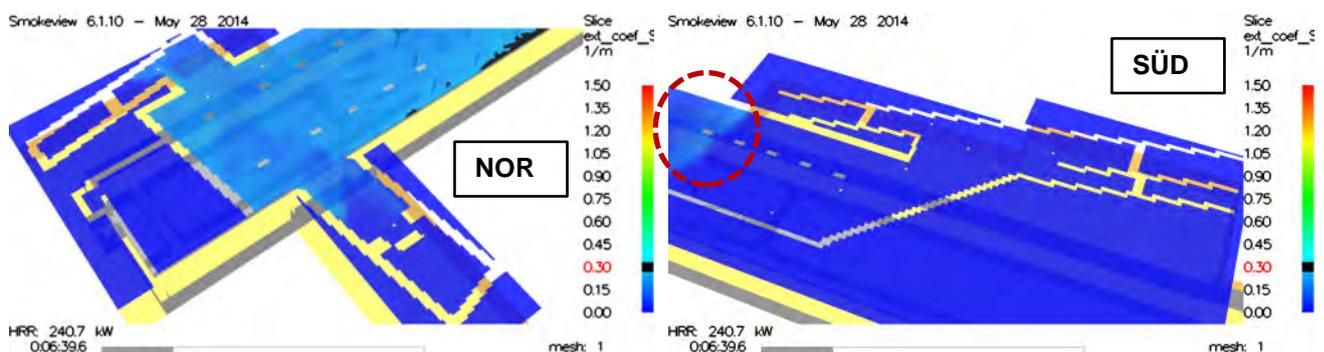
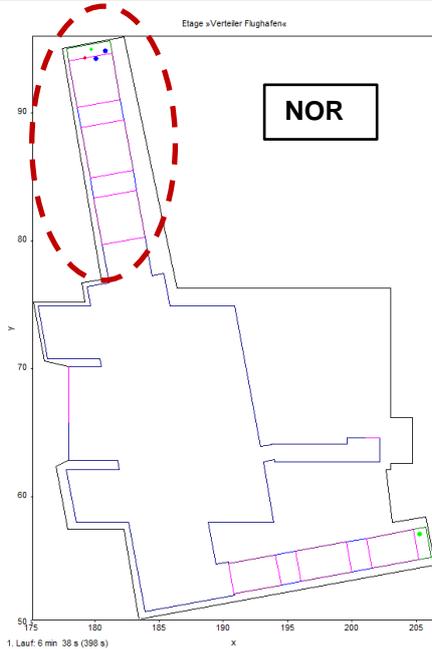


Abbildung 63: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt $z = 7,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Bezogen auf die Schutzziele ergeben sich keine wesentlichen Veränderungen gegenüber dem letzten Auswertungszeitpunkt. Lediglich ist auf der südlichen Verteilerebene zu erkennen, dass die ersten Rauchgase den Bereich der Verteilerebene erreichen (rot markiert).</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
--	---	-------------------------



Räumung vollständig abgeschlossen

Abbildung 64: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 6,6 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Station ist vollständig geräumt. Die letzte Person hat über den nordwestlichen Ausgang (rot markiert) das Freie erreicht.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

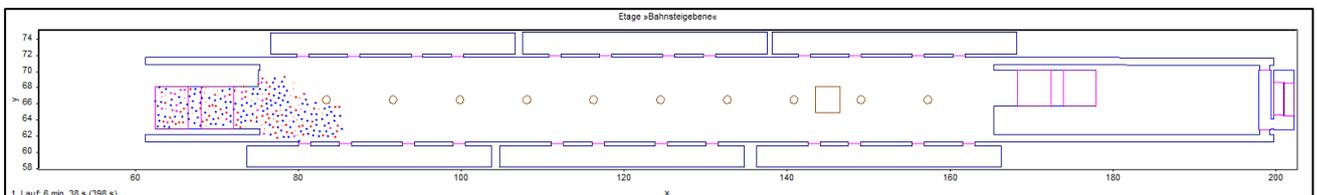


Abbildung 65: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,6 Minuten – Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung hat sich bereits auf ca. 10 m verkürzt. Eine Gefährdung der Personen durch Rauchgase liegt nicht vor, da auf der Bahnsteigebene keine Grenzwertüberschreitungen vorliegen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

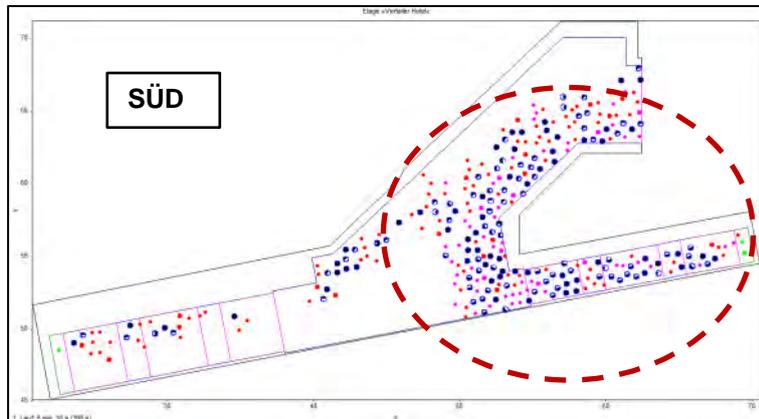


Abbildung 66: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,6 Minuten – Verteilebene Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung vor dem rot markierten Ausgang ist weiterhin vorhanden. Auch hier ist keine Gefährdung der Personen gegeben, da ebenfalls keine Grenzwertüberschreitungen der Rauchgaskonzentration vorliegen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

Ab diesem Zeitpunkt wird in der Räumungssimulation das Szenario 1 nicht mehr dargestellt, da hier alle Personen die Station verlassen haben.

5.3.7 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 7,6 Minuten

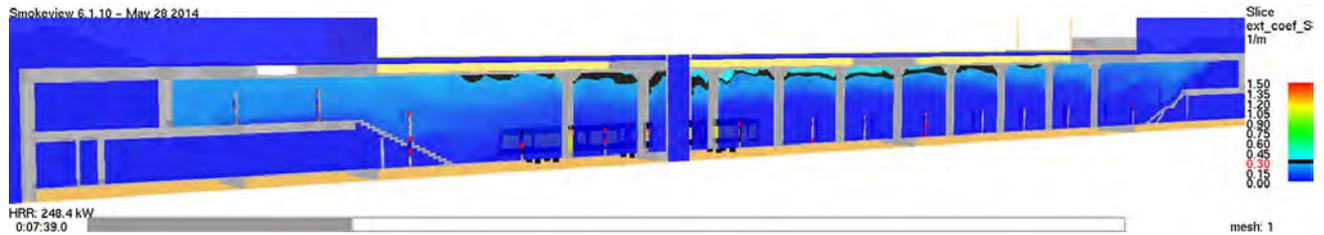


Abbildung 67: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Der Bereich der Grenzwertüberschreitung weitet sich im Deckenbereich weiter aus.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
--	---	---

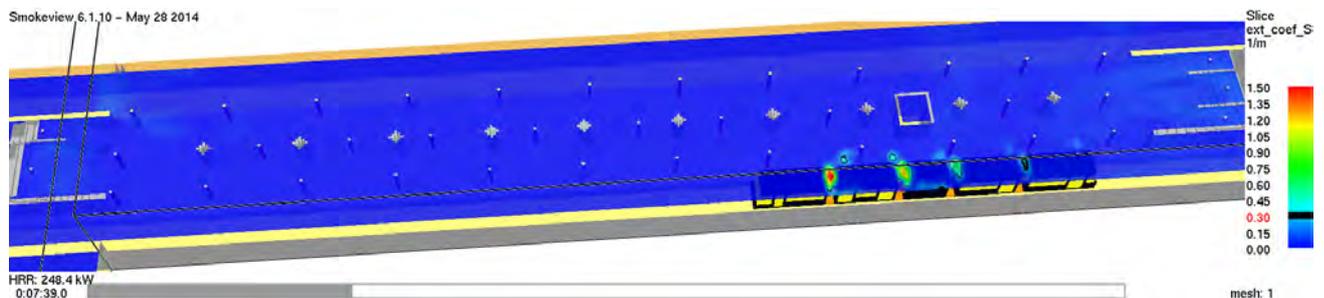


Abbildung 68: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es sind noch keine Annäherungen der Rauchgase an die Grenzhöhe von 2,5 m raucharme Schicht über dem Boden zu erkennen.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
--	---	-------------------------

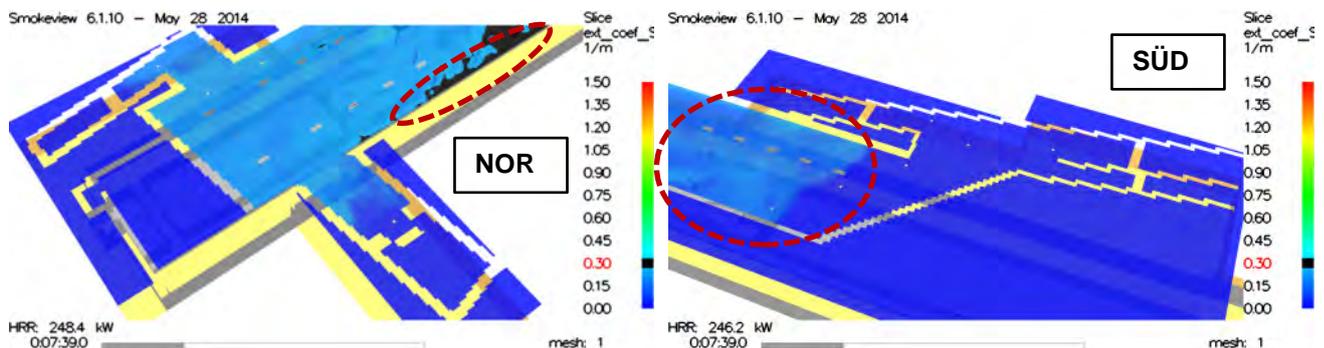


Abbildung 69: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt $z = 7,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In beiden Verteilerebenen erhöht sich die Rauchgaskonzentration nur in einem geringen Maße. Der Extinktionskoeffizient von $0,3 \text{ m}^{-1}$ wird nicht auf den Rettungswegen überschritten.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
--	---	-------------------------

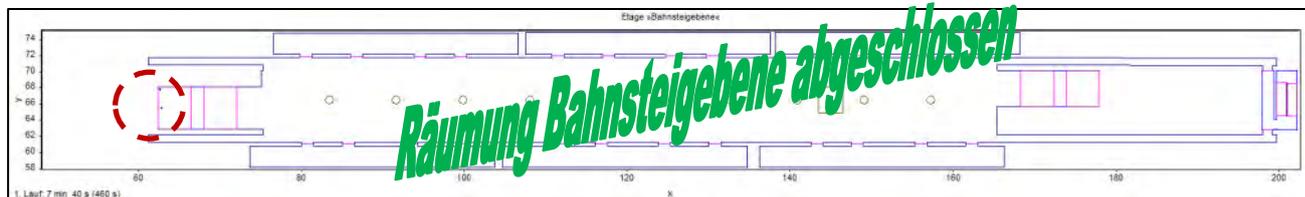


Abbildung 70: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 7,6 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person (rot markiert) hat die Bahnsteigebene verlassen, und die Verteilerebene Süd betreten.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

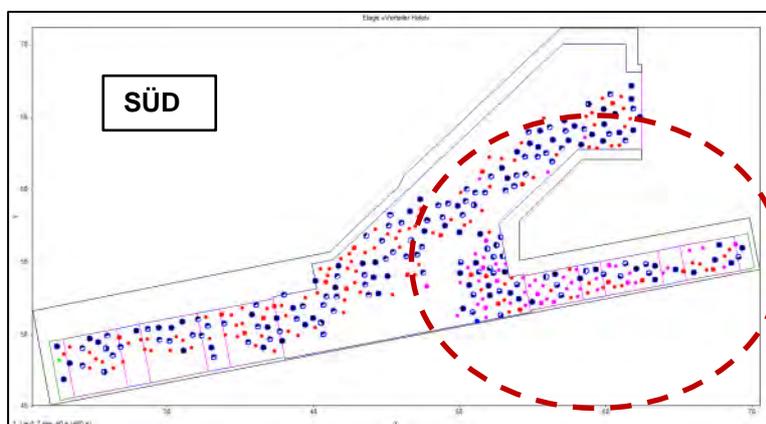


Abbildung 71: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 7,6 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es ist weiterhin eine Ansammlung vor dem rot markierten Ausgang vorhanden. Diese ist aber mittlerweile stark verkürzt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

5.3.8 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 9,0 Minuten

Die TR Strab BS von Juni 2014 gibt vor, dass die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahme 10 % länger, mindestens aber eine Minute länger als die Bemessungszeit der vollständigen Räumung sein soll. Aufgrund dessen wird nach 9,0 Minuten geprüft, ob weiterhin eine raucharme Schicht von 2,5 m über dem Boden auf der Bahnsteigebene, für das Räumungsszenario 2, gewährleistet wird. Gilt dieser Nachweis auf der Bahnsteigebene für das Räumungsszenario 2 als erfüllt, so gilt das Schutzziel ebenfalls für das Räumungsszenario 1, aufgrund der geringeren Räumungsdauer, als nachgewiesen.

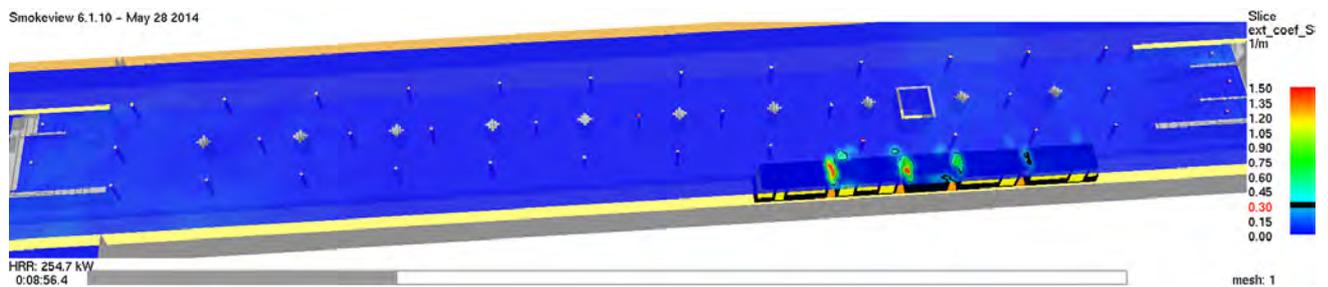


Abbildung 72: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Es sind noch keine Annäherungen an die Grenzhöhe, von 2,5 m raucharme Schicht über dem Boden, zu erkennen.	Selbstrettung BE

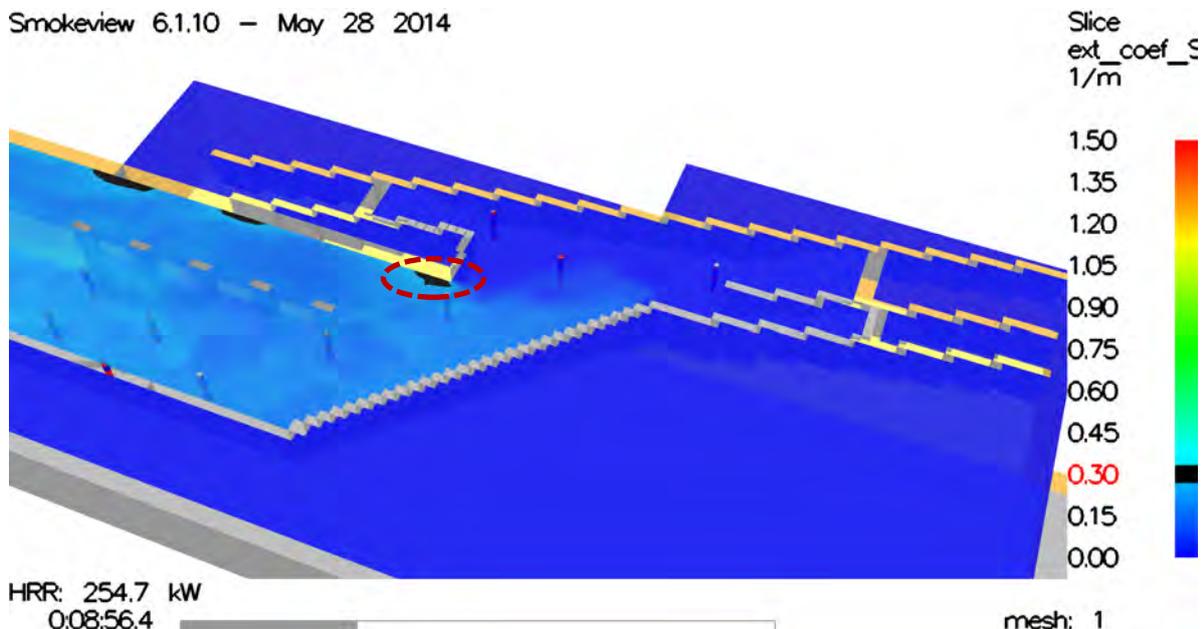


Abbildung 73: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	In der südlichen Verteilerebene kommt es nur geringfügig zu einer lokalen und temporären Überschreitung (rot markiert) des Grenzwertes.	Selbstrettung VE

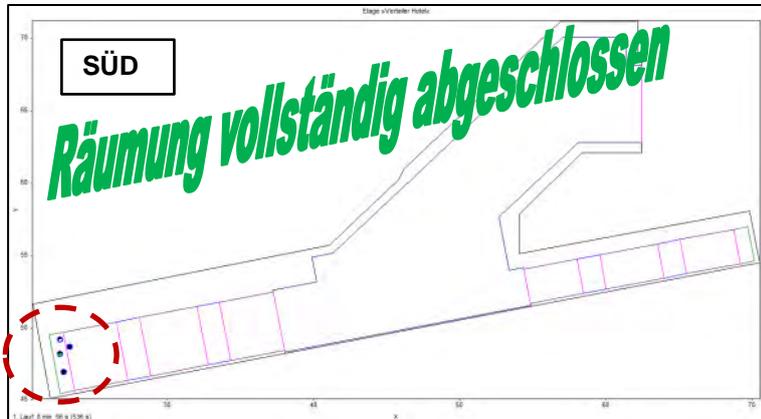


Abbildung 74: Szenario 2 - Räumungssimulation nach ca. 9 Minuten – Verteilerebene Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person (rot markiert) hat die Verteilerebene Süd verlassen. Die Station ist vollständig geräumt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

5.3.9 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 10,0 Minuten

Die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahme muss bezogen auf die Räumungsdauer eine Minute länger als die Bemessungszeit der vollständigen Räumung sein. Aus diesem Grund wird geprüft, ob nach 10 Minuten auf der südliche Verteilerebene, eine Minute nach Beendigung der Räumung im 2. Räumungsszenario, weiterhin eine raucharme Schicht von 2,5 m gewährleistet wird.

Smokeview 6.1.10 – May 28 2014

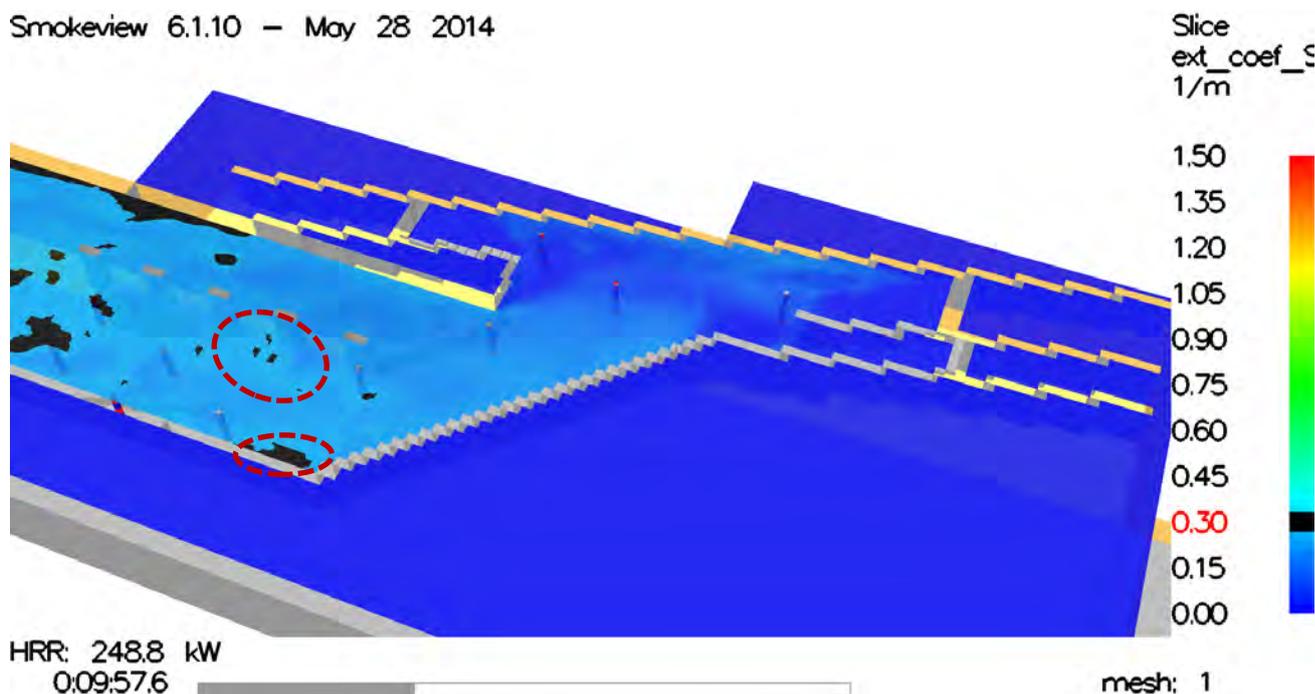


Abbildung 75: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Bis zu diesem Zeitpunkt kommt es nur lokal und räumlich stark begrenzt zu Grenzwertüberschreitungen.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------

5.3.10 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 15,0 Minuten

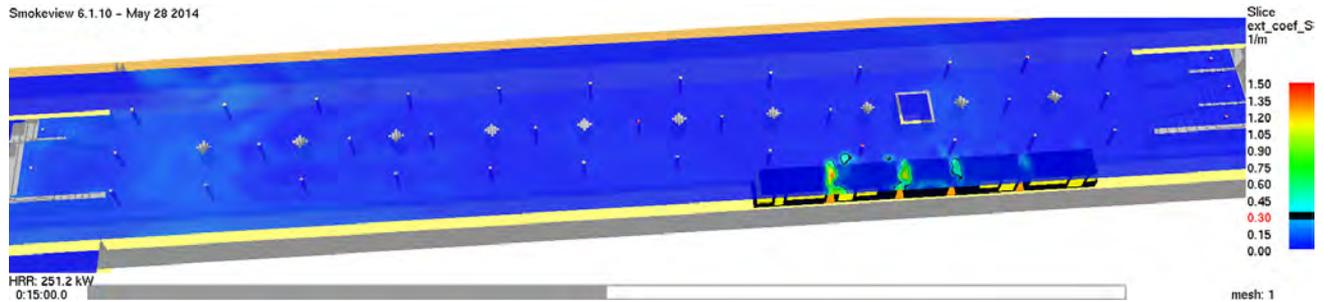


Abbildung 76: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Fremdrettung wird auf der Bahnsteigebene durch eine Höhe der raucharmen Schicht von 2,5 m über dem Boden sichergestellt.</p>	<p>Fremdrettung BE</p>
--	---	------------------------

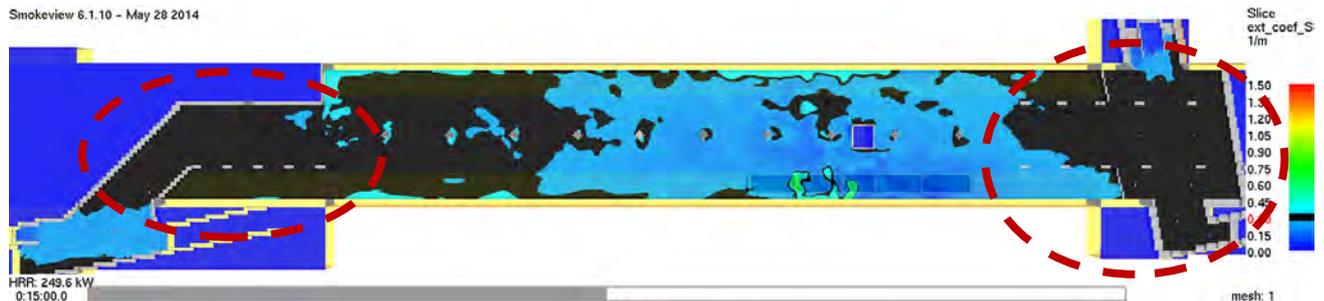


Abbildung 77: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt $z = 6,0 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Ab der 14. Minute erhöht sich die Rauchgaskonzentration auf den Verteilerebenen, sodass der Extinktionskoeffizient gerade den Grenzwert von $0,3 \text{ m}^{-1}$ überschreitet. Zu diesem Zeitpunkt wird das Ziel Fremdrettung aufgrund einer raucharmen Schicht von ca. 1,0 m über dem Boden der Verteilerebenen unter mäßiger Beeinträchtigung erfüllt.</p>	<p>Fremdrettung VE</p>
--	---	------------------------

5.3.11 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 20,0 Minuten

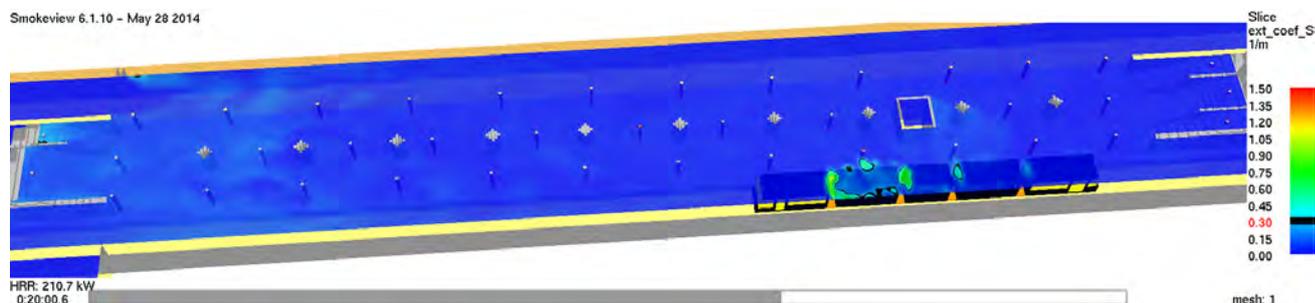


Abbildung 78: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Weiterhin wird der Grenzwert des Extinktionskoeffizienten von 0,3 m⁻¹ bis zu diesem Zeitpunkt nicht erreicht. Die Feuerwehr kann so ungehindert den Brandherd auffinden.</p>	<p>Fremdrettung BE</p>
---	--	------------------------

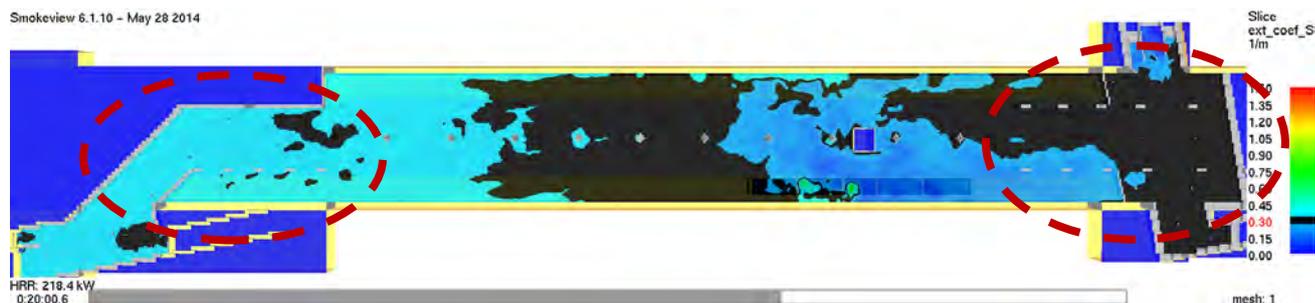


Abbildung 79: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 6,0 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Höhe der raucharmen Schicht auf der südlichen Verteilerebene verringert weiter. Auf der nördlichen Verteilerebene wird gerade der Extinktionskoeffizient überschritten, sodass die Fremdrettung eingeschränkt möglich ist. Außerdem handelt es sich bei den Verteilerebenen um relativ kurze Abschnitte welche passiert werden müssen, um auf die Bahnsteigebene zu kommen.</p>	<p>Fremdrettung VE</p>
---	--	------------------------

5.3.12 Szenario 1 - Zustand im Objekt nach ca. 30,0 Minuten

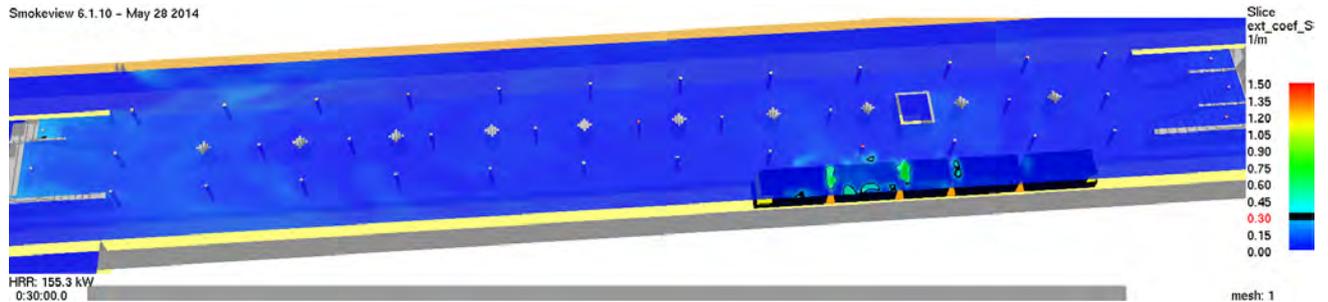


Abbildung 80: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Bis zum Ende der Brandsimulation sind keine Überschreitungen des Grenzwertes bzw. Unterschreitungen der raucharmen Schichthöhe von 2,5 m über dem Boden zu erwarten.</p>	<p>Fremdrettung VE</p>
---	---	------------------------

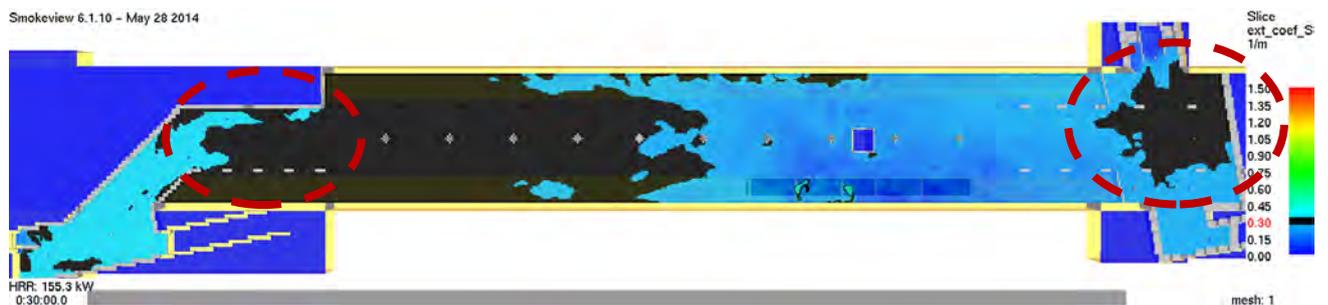


Abbildung 81: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 6,0 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Ab der 28. Minute steigt die raucharme Schicht auf der südlichen Verteilerebene teilweise wieder auf ca. 1,0 m an. Gleichzeitig wird die nördliche Verteilerebene für die Feuerwehr wieder passierbar.</p>	<p>Fremdrettung VE</p>
---	---	------------------------

5.4 Auswertung Szenario 2 – Brand eines selbstverlöschenden Mülleimers

5.4.1 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 1,5 Minute

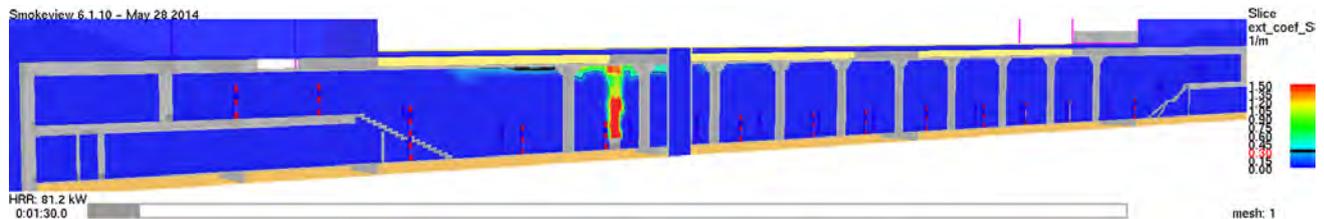


Abbildung 82: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	1,5 Minuten nach Beginn des Brandereignisses sind unmittelbar über der Brandquelle Grenzwertüberschreitungen im Deckenbereich zu erkennen.	Selbstrettung BE Selbstrettung VE

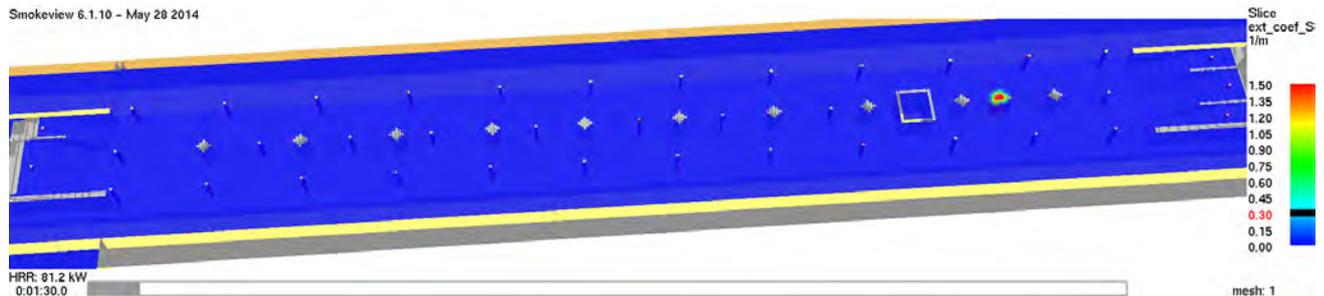


Abbildung 83: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	In einer Höhe von 2,5 m über dem Boden der Bahnsteigebene wird der Grenzwert nicht überschritten.	Selbstrettung BE

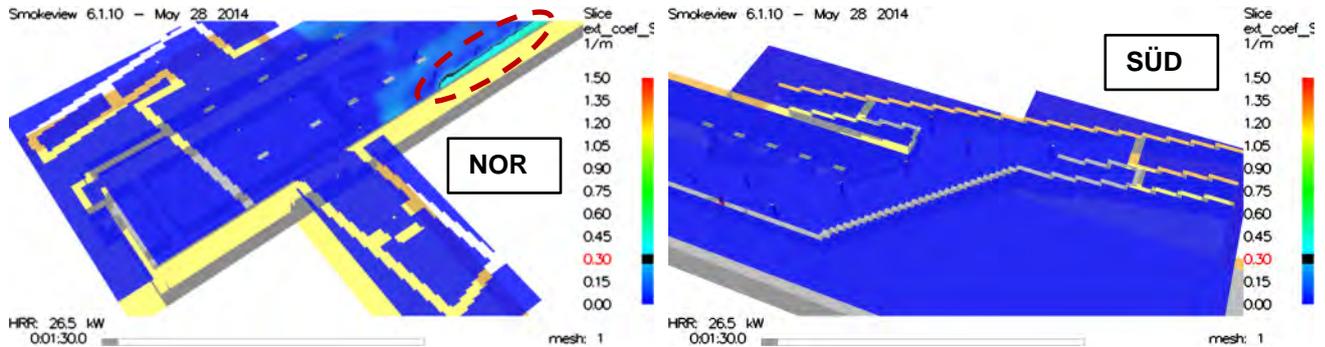


Abbildung 84: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt z = 7,5 m –
Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Auch in einer Höhe von 2,5 m über der Verteilerebene erreichen die Rauchgase nicht die kritische Dichte. Lediglich in der nördlichen Verteilerebene sind Grenzwertüberschreitungen (rot markiert) zu erkennen. Hier wird an der Tunnelwand der Grenzwert erreicht.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------

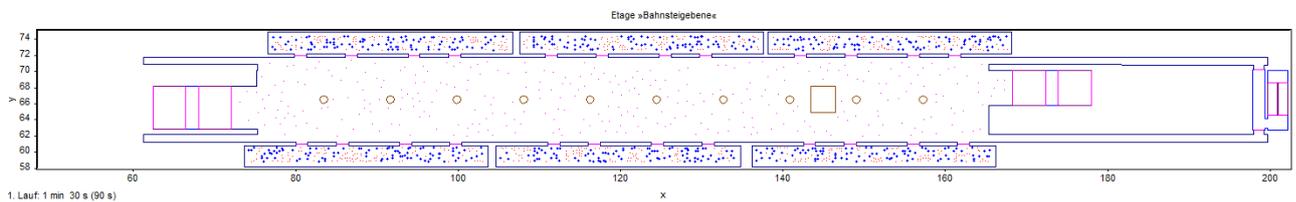


Abbildung 85: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 1,5 Minuten - Bahnsteige Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die ersten Personen beginnen mit der Räumung.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

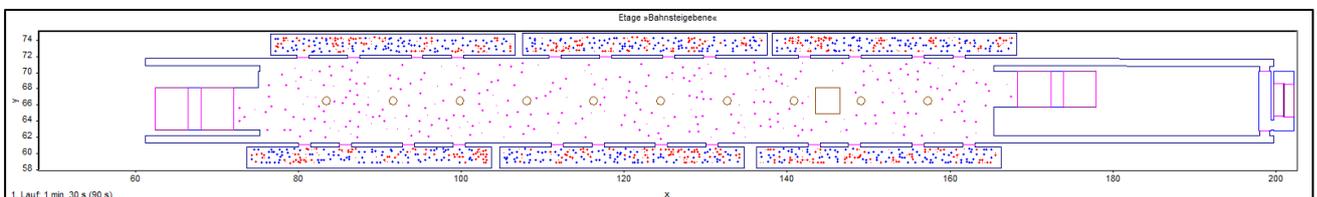


Abbildung 86: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 1,5 Minuten - Bahnsteige Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die ersten Personen beginnen mit der Räumung.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

Die Verteilerebenen werden zu diesem Zeitpunkt in der Räumung noch nicht dargestellt, da hier noch keine Personen in diesen Bereich angekommen sind.

BRANDSIMULATIONSBERICHT
U 81 – Bahnhof Düsseldorf
Flughafen Terminal
Leistungsphase 3 / 4
Datum: **07.09.2015**
Projekt: **6017**
Status: **Version 1**



Staatlich anerkannte Sachverständige
für die Prüfung des Brandschutzes

5.4.2 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach 3,0 Minuten

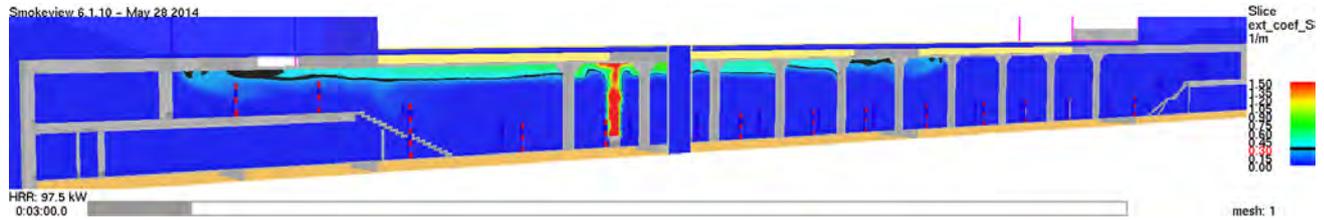


Abbildung 87: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt y = 9,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Rauchgase breiten sich weiter unter der Decke der Bahnsteigebene aus. Diese fallen jedoch nicht unter eine Höhe von 2,5 m über dem Boden der Verteilerebene und der Bahnsteigebene.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE</p>
---	--	---

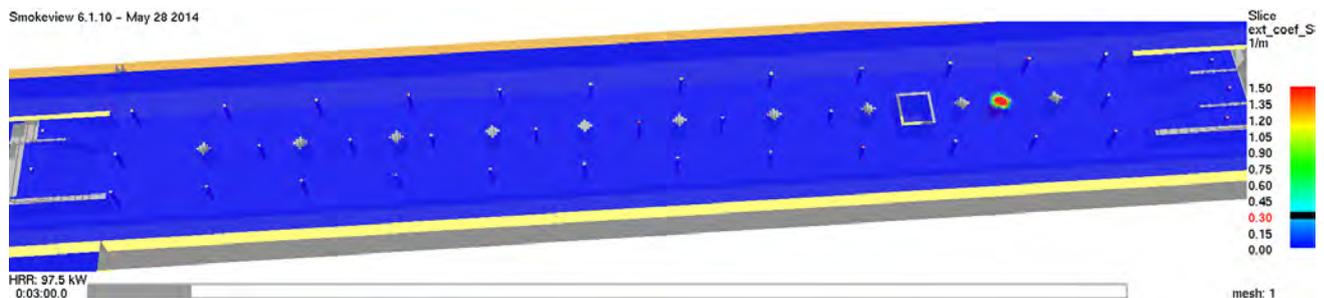


Abbildung 88: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es sind keine weiteren Grenzwertüberschreitungen erkennbar.</p>	<p>Selbstrettung BE</p>
---	--	-------------------------

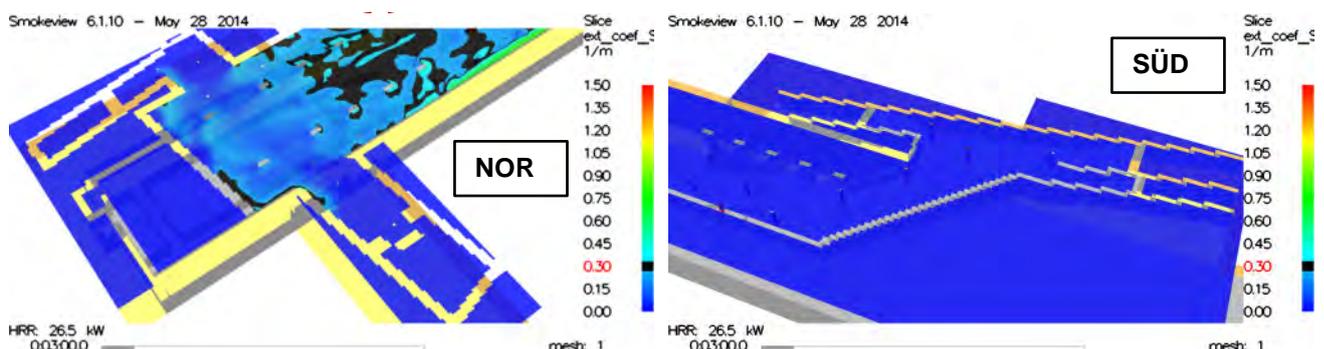


Abbildung 89: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es treten erste Grenzwertüberschreitungen im Bereich des Treppenaufgangs an der nördlichen Verteilerebene auf. Zu diesem Zeitpunkt werden diese über der Treppe (rot markiert) in einer Höhe von 2,5 m über dem Boden der Verteilerebene überschritten. Die Schutzziele können eingehalten werden, da</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	--	-------------------------

über dem Rettungsweg mehr als 2,5 m rauchfreie Schicht vorhanden sind.

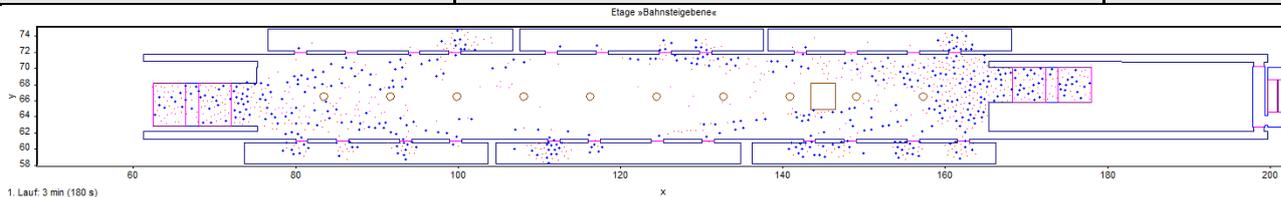


Abbildung 90: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 3 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es haben alle Personen mit der Räumung begonnen und strömen zu den Ausgängen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
--	---	----------------------

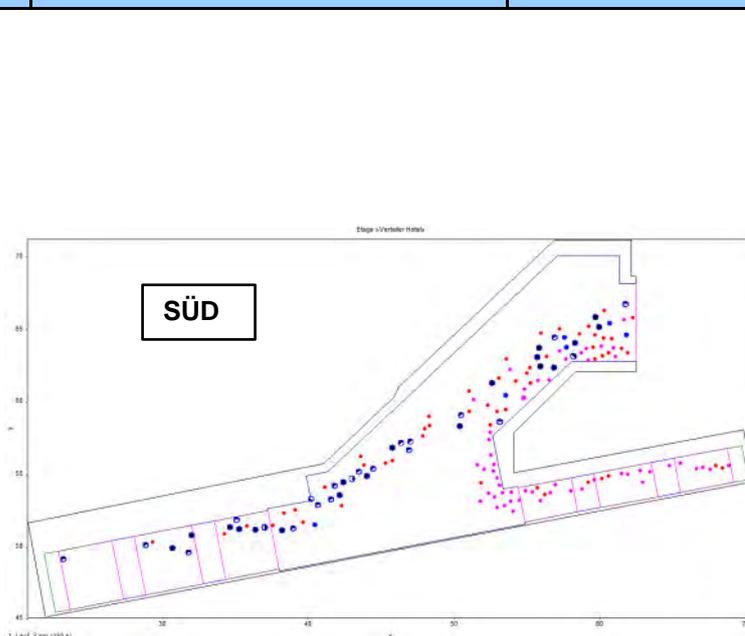
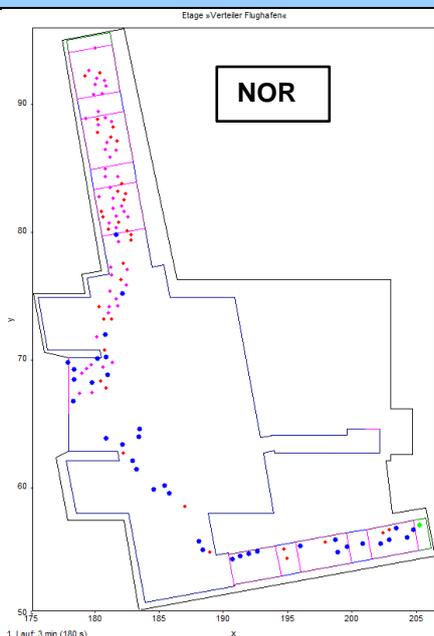


Abbildung 91: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 3 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Verteilerebenen sind keine Ansammlungen vor den Treppen zu erkennen. Die Personen können ungehindert ins Freie abströmen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
--	--	----------------------

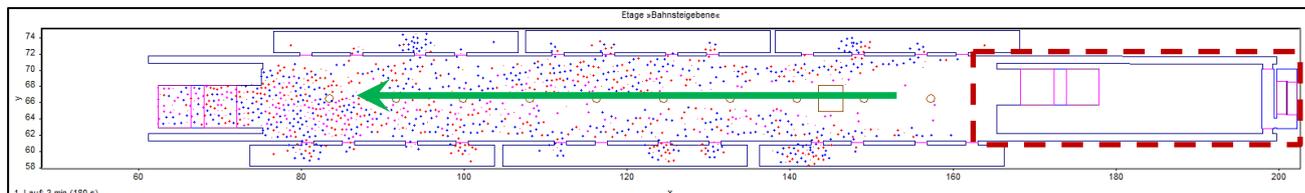


Abbildung 92: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 3 Minuten – Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es ist zu erkennen, dass die alle Personen mit der Räumung begonnen haben. In diesem Szenario ist der rot markierte Ausgang in Richtung Flughafen (Nord) gesperrt, sodass die Personen nur über die Verteilerebene Süd (in Pfeilrichtung) die Station verlassen können.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

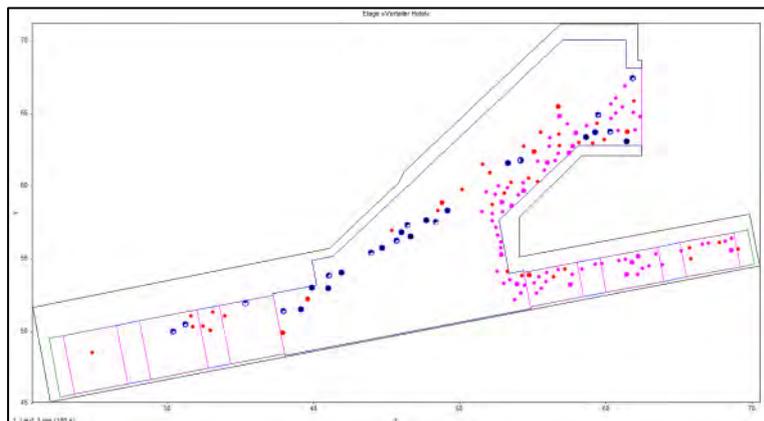


Abbildung 93: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 3 Minuten – Verteilerebene Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In der Verteilerebene Süd verlassen die Personen über beide Aufgänge die Station. Es sind keine Stauungen vor den Treppen zu sehen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

5.4.3 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 4,8 Minuten

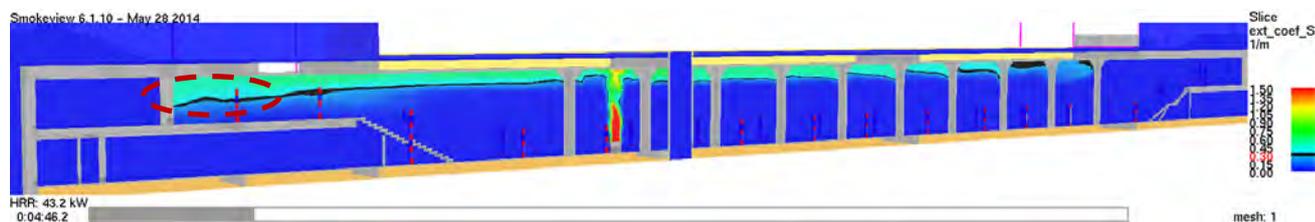


Abbildung 94: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt y = 9,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Auf der Bahnsteigebene kommt es zu keiner Überschreitung der Grenzwerte. In der nördlichen Verteilerebene fallen die Rauchgase in einer kritischen Konzentration auf ca. 2 m ab. Weiterhin kann durch die Übersichtlichkeit der Verteilerebene Nord das Schutzziel Selbstrettung eingehalten werden.	Selbstrettung BE Selbstrettung VE

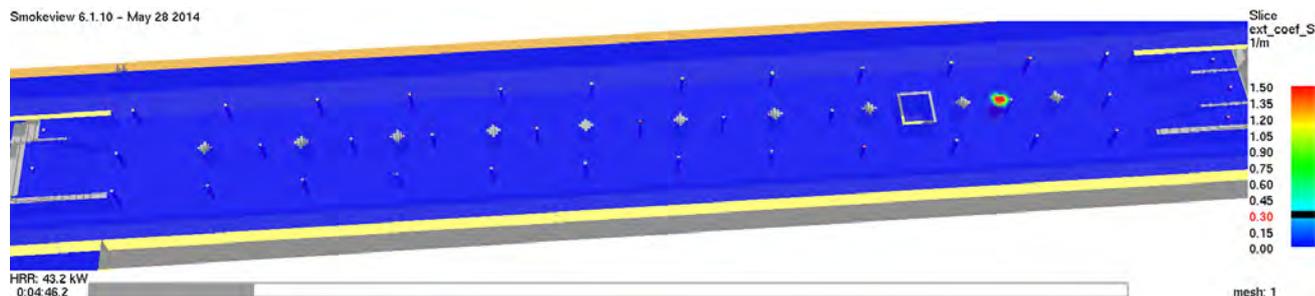


Abbildung 95: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Die Rauchgase sind bis zu diesem Zeitpunkt nicht unter der Höhe von 2,5 m über der Bahnsteigebene herab gesunken.	Selbstrettung BE

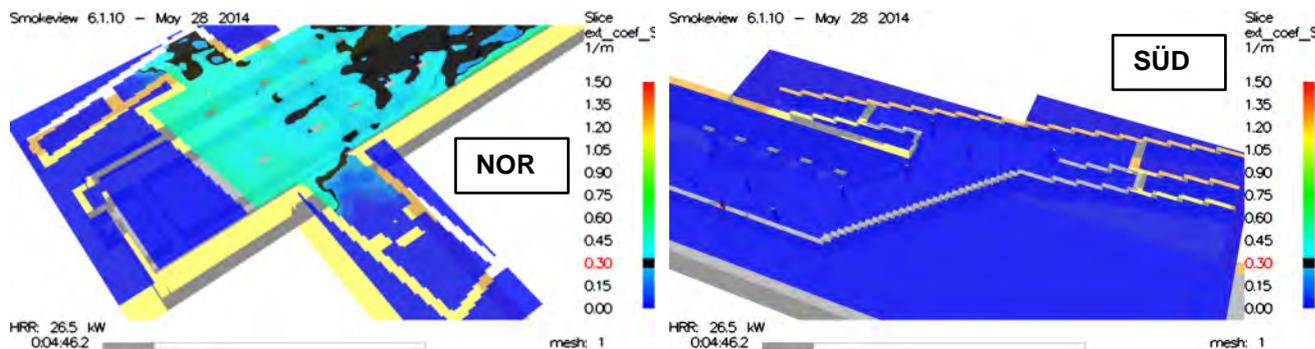


Abbildung 96: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Horizontalschnitt z = 7,5 m –
Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Rauchgase mit einem Extinktionskoeffizient von > 0,3 m⁻¹ sinken in der Verteilerebene Nord bis auf eine Höhe von 2,0 m ab (s. Abb. 94). In beiden Räumungsszenarien wird bis zu diesem Zeitpunkt die Selbstrettung gewährleistet. Wobei in Räumungsszenario 1 die Selbstrettung durch die Überschreitung lediglich eingeschränkt möglich ist. In Räumungsszenario 2 ist durch den vorher festgelegten Ausfall der nördlichen Verteilerebene die Selbstrettung uneingeschränkt möglich.</p>	<p>Selbstrettung in VE in Räumungsszenario 1 Selbstrettung in VE in Räumungsszenario 2</p>
---	---	---

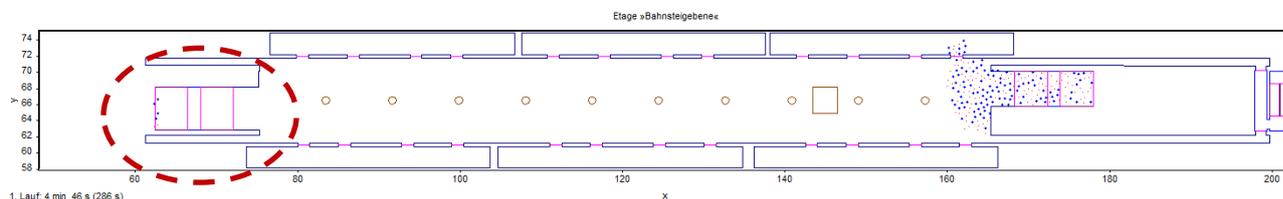


Abbildung 97: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten - Bahnsteige Ebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Personen, die über die Verteilerebene Süd (rot markiert) die Station verlassen, haben den Treppenaufgang und damit die Bahnsteigebene verlassen. Am Ausgang in Richtung Norden befinden sich noch Personen in der Bahn und vor dem Aufgang.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

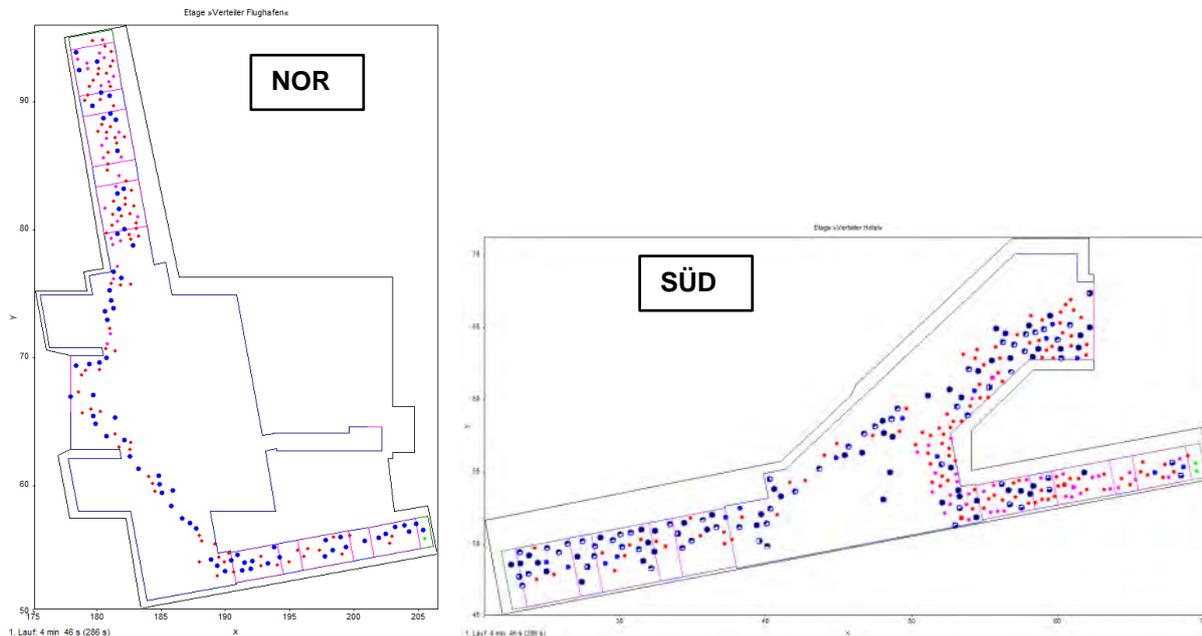


Abbildung 98: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Verteilerebenen sind keine Ansammlungen vor den Treppen zu erkennen. Die Personen können ungehindert ins Freie abströmen.</p>	<p>Selbstrettung VE NORD Selbstrettung VE SÜD</p>
---	---	--

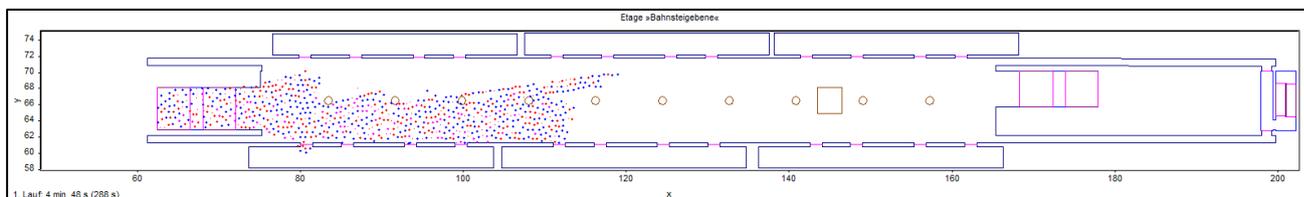


Abbildung 99: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es haben fast alle Personen die Bahnen verlassen und sich vor dem Treppenaufgang gesammelt. Die Personenansammlung hat eine Länge von ca. 30 m.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

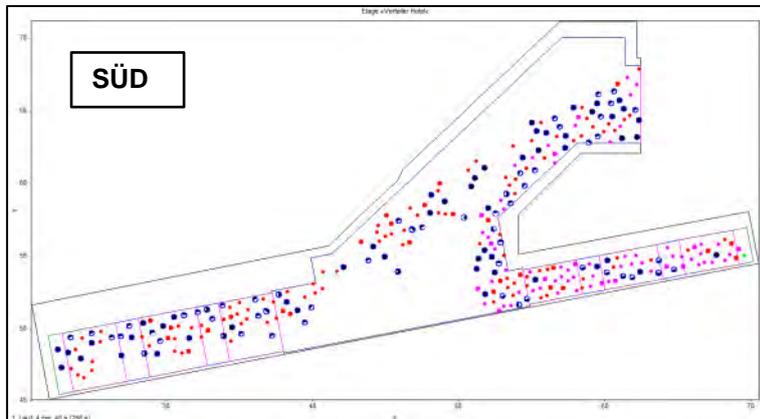


Abbildung 100: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 4,7 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Personen strömen weiterhin über beide Treppenaufgänge ins Freie. Zudem sind keine Stauungen vor den Aufgängen vorhanden.</p>	<p style="text-align: center; color: green;">Selbstrettung</p>
---	---	--

5.4.4 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 5,8 Minuten

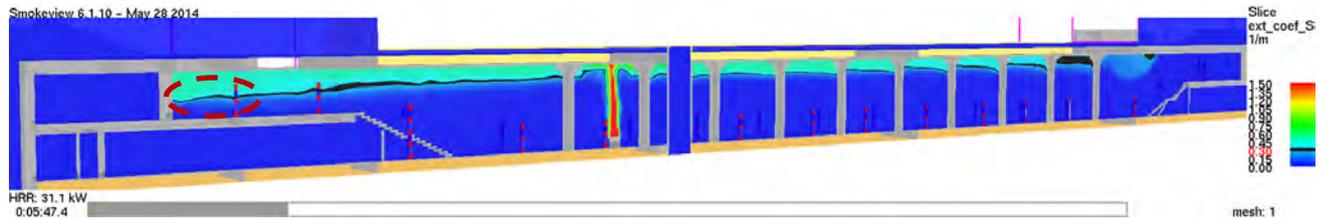


Abbildung 101: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Die Rauchgase senken sich in der nördlichen Verteilerebene weiter ab. Im Wandbereich (rot markiert) ist eine raucharme Schicht von 1,5 m und im restlichen Bereich noch eine Schichthöhe von 2,0 m vorhanden. Der Grenzwert für die Selbstrettung wird in der Verteilerebene Nord überschritten.	Selbstrettung BE

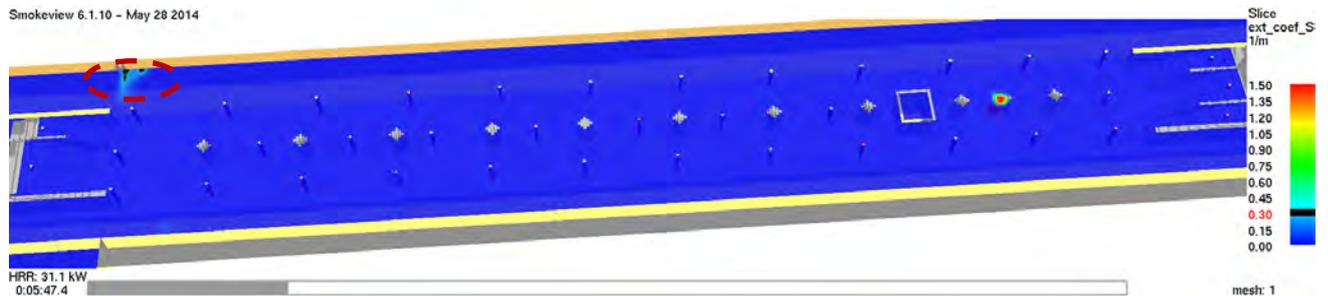


Abbildung 102: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Es kommt zur ersten Grenzwertüberschreitung. Dieser eng begrenzte Bereich liegt außerhalb der Rettungswege, daher kommt es zu keiner Beeinträchtigung der Räumung.	Selbstrettung BE

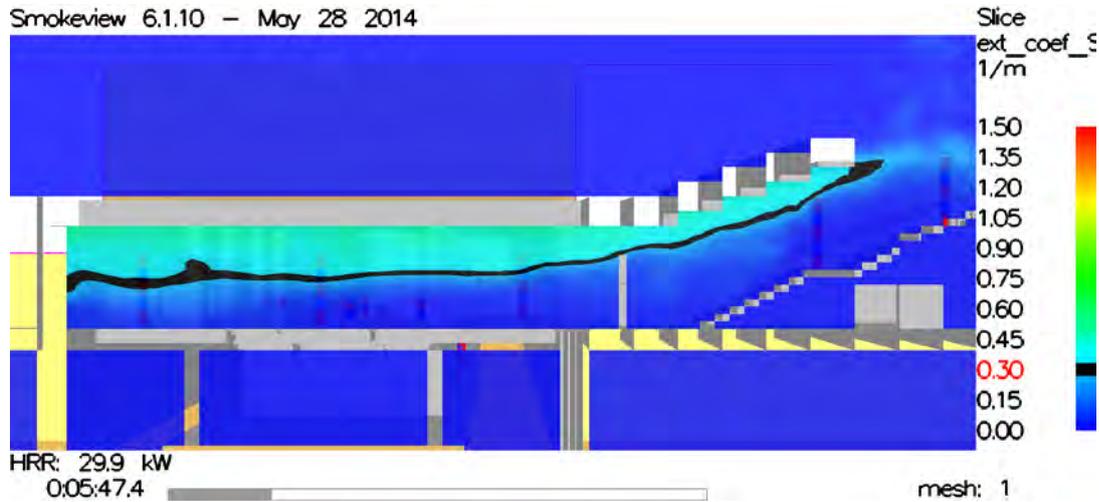


Abbildung 103: Schnittbild Extinktionskoeffizient –Verteilerebene Nord Vertikalschnitt y = 161,5 – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In der Verteilerebene im Norden beträgt mittig der Ebene die Höhe der raucharmen Schicht 1,5 – 2,5 m. Damit wird die Selbstrettung für das Räumungsszenario 1 nicht mehr gewährleistet. Im 2. Räumungsszenario wird mit dem einkalkulierten Ausfall der nördlichen Verteilerebene die Selbstrettung gewährleistet.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------

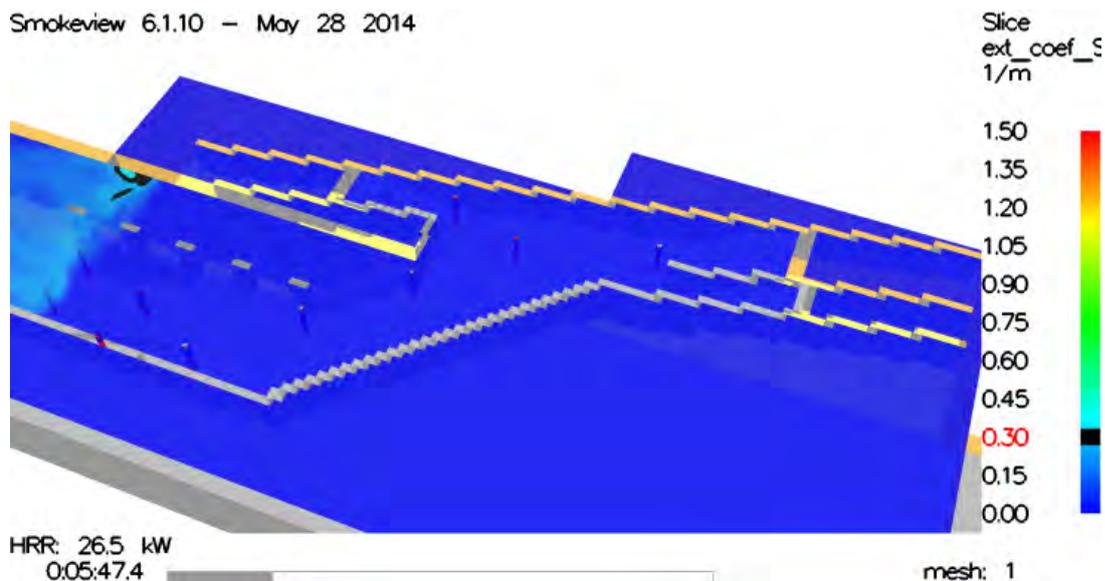


Abbildung 104: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Süd Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Verteilerebene Süd ist weiterhin frei von Rauchgasen in einer kritischen Konzentration.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	--	-------------------------

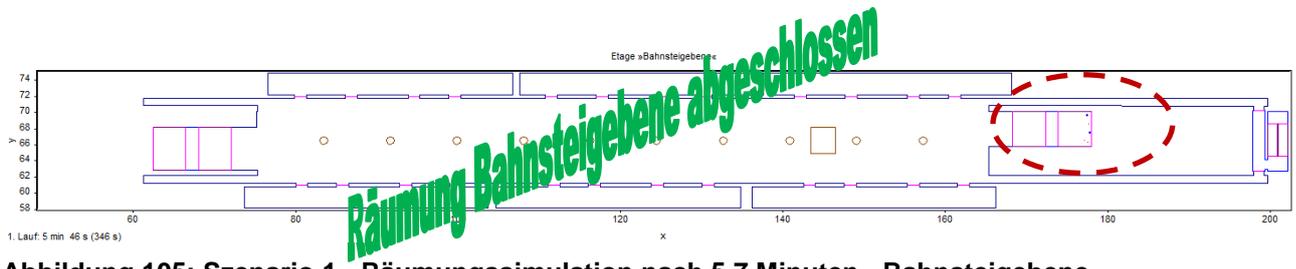


Abbildung 105: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person hat den Treppenaufgang zur nördlichen Verteilerebene (rot markiert) verlassen. Die Bahnsteigebene ist vollständig geräumt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

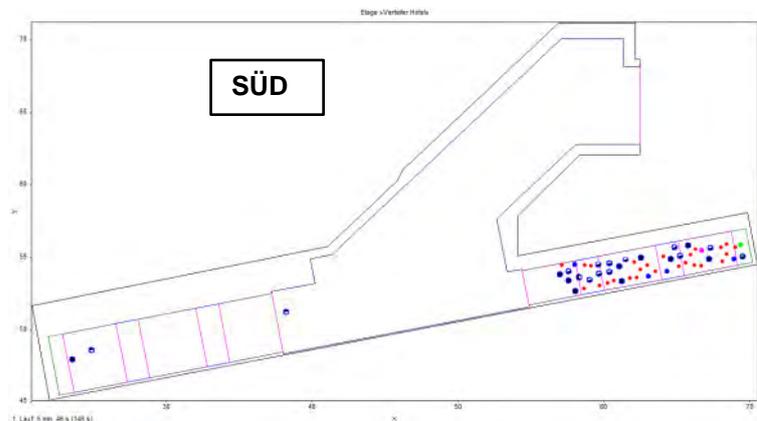
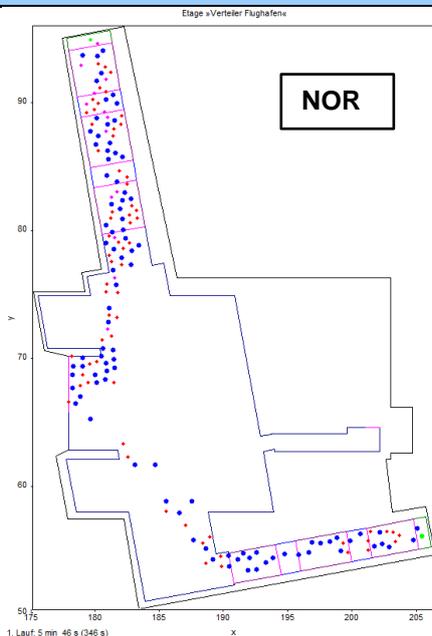


Abbildung 106: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: In den Verteilerebenen sind keine Ansammlungen vor den Treppen zu erkennen. Die Personen können ungehindert ins Freie abströmen.</p>	<p>Selbstrettung VE NORD Selbstrettung VE SÜD</p>
---	---	--

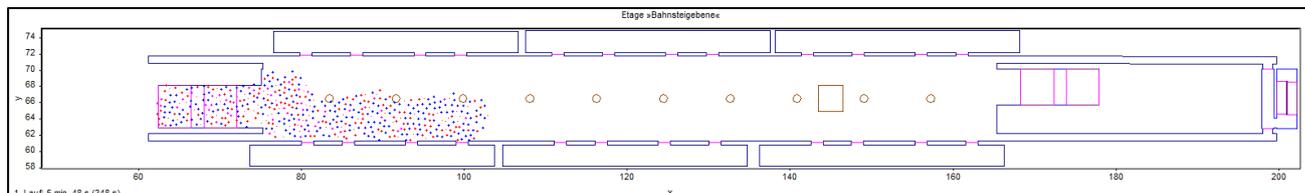


Abbildung 107: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Personenansammlung vor der Treppe in Richtung Verteilerebene Süd verkürzt sich auf ca. 20 m. Die Bahnen sind vollständig geräumt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

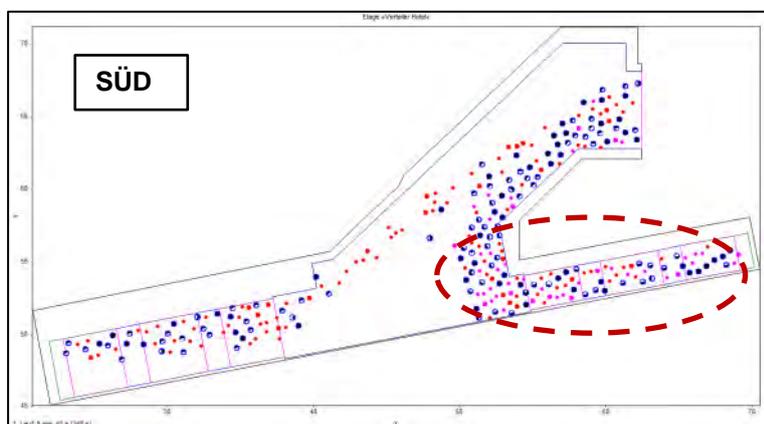


Abbildung 108: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 5,7 Minuten – Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Am rot markierten Ausgang ist eine Personenansammlung zu erkennen, am gegenüberliegenden Ausgang ist ein ungehindertes Abströmen weiterhin möglich.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

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

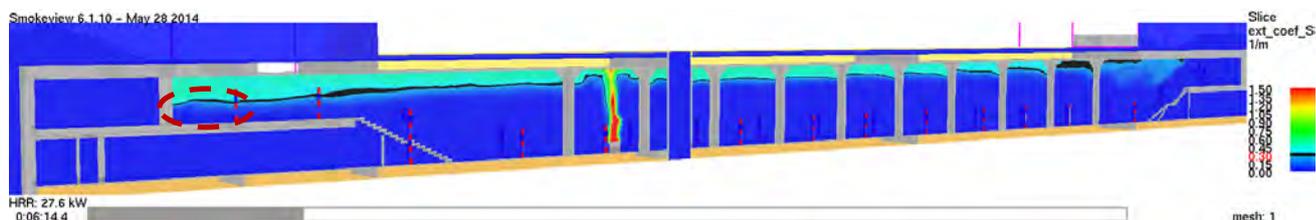


Abbildung 109: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Das Schnittbild zeigt keine wesentlichen Veränderungen gegenüber dem vorherigen Auswertungsschnitt. Die Schutzziele werden weiterhin ohne Einschränkung auf der Bahnsteigebene erfüllt.	Selbstrettung BE

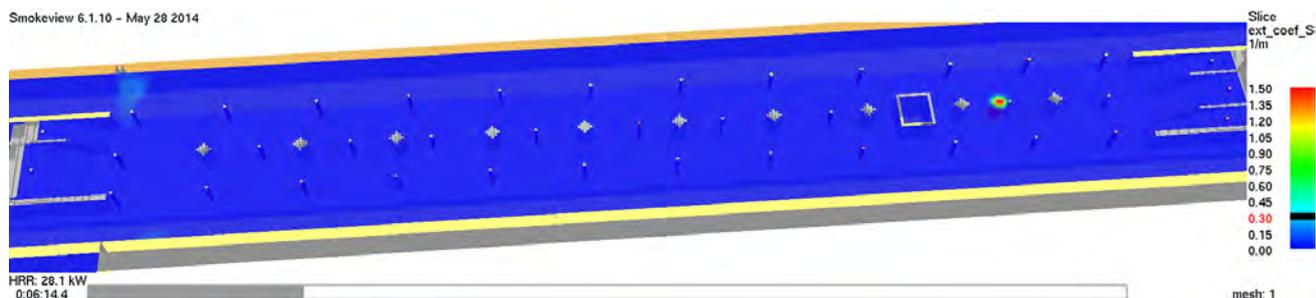
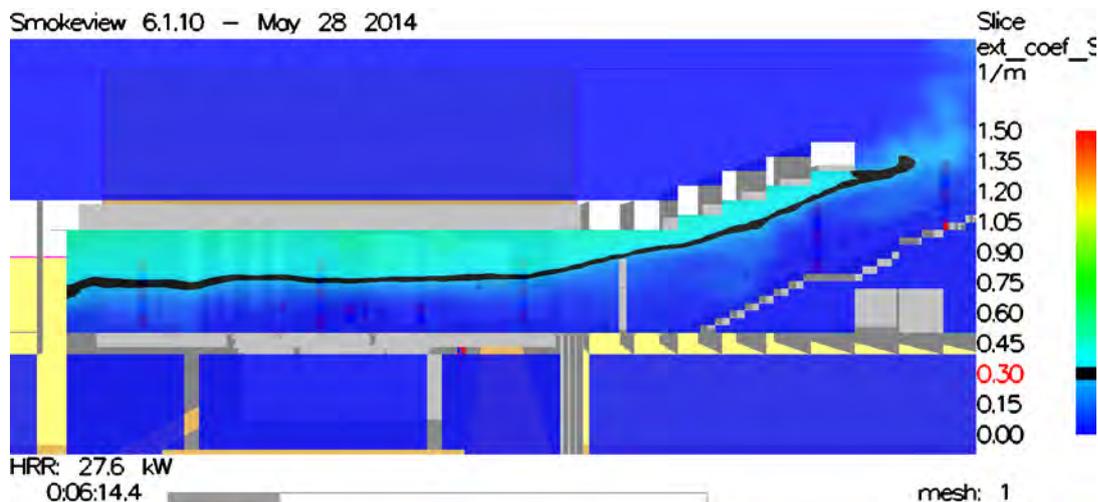


Abbildung 110: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Die Räumung der Bahnsteigebene ist bereits abgeschlossen. Die Schutzziele werden weiterhin ohne Einschränkung erfüllt.	Selbstrettung BE



**Abbildung 111: Schnittbild Extinktionskoeffizient –Verteilerebene Nord Vertikalschnitt y = 161,5 –
 Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹**

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	In der Verteilerebene im Norden bleibt die Schichthöhe der Rauchgase konstant. Somit wird das Schutzziel der Selbstrettung im Räumungsszenario 1 eingeschränkt gewährleistet. Die Verteilerebene Nord wird in der weiteren Untersuchung nicht mehr näher betrachtet, da sich für das zweite Brandszenario keine wesentlichen Veränderungen der Schichthöhe in diesem Bereich ergeben. Dennoch wird durch die Berücksichtigung des Ausfalls der verteilerebene Nord bis zu diesem Zeitpunkt im 2. Räumungsszenarios das Schutzziel generell für den U-Bahnhof erfüllt.	Selbstrettung VE

Smokeyview 6.1.10 – May 28 2014

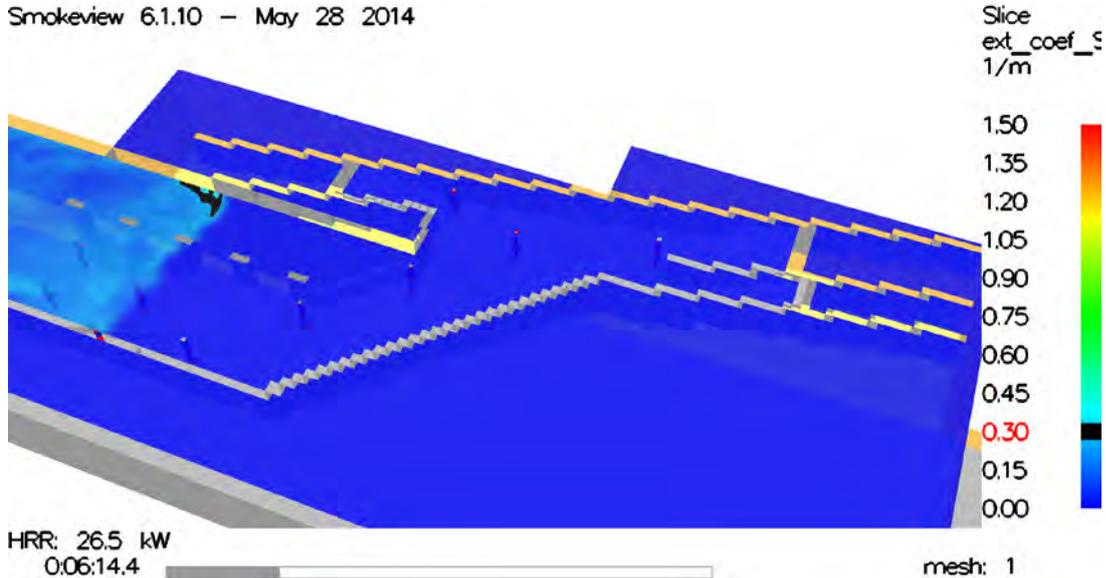


Abbildung 112: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Süd Horizontalschnitt z = 7,5 m –
 Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Verteilerebene Süd ist weiterhin frei von Rauchgasen, sodass das Räumungsszenario 2, mit dem Ausfall der Verteilerebene Nord, weiterhin die Selbstrettung vollständig gewährleistet.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------

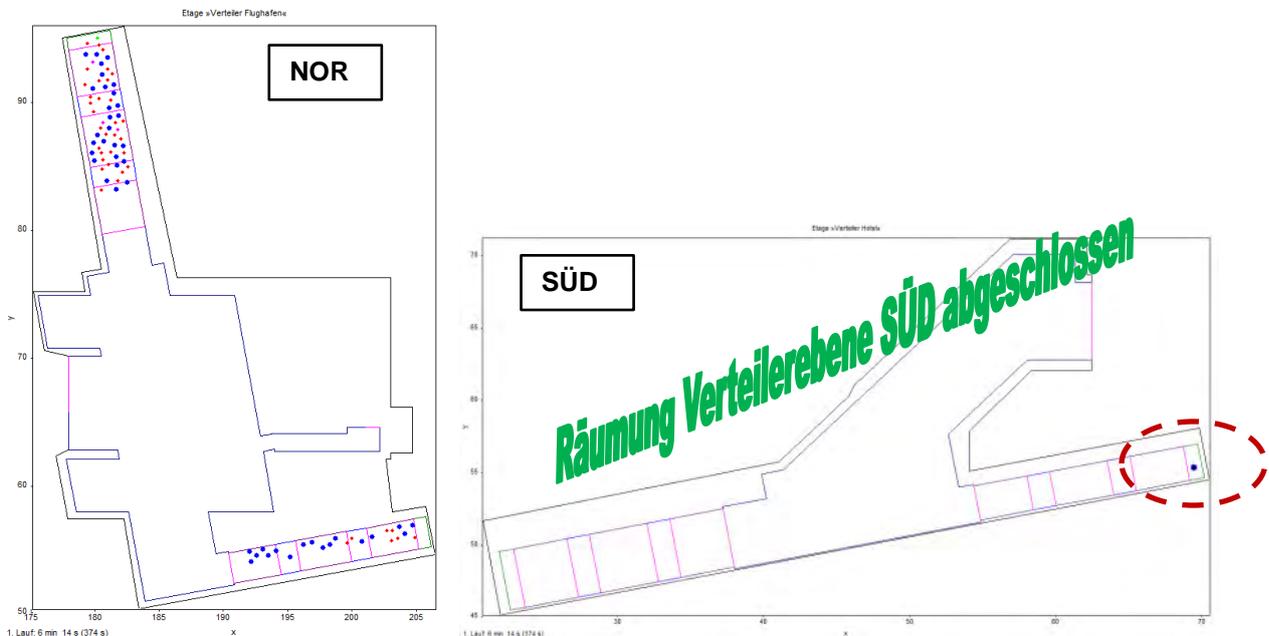


Abbildung 113: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 6,2 Minuten - Verteilerebenen (Nord und Süd)

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Verteilerebene Süd ist vollständig geräumt. Die letzte Person (rot markiert) hat das Freie erreicht.</p>	<p>Selbstrettung VE NORD</p>
---	--	------------------------------

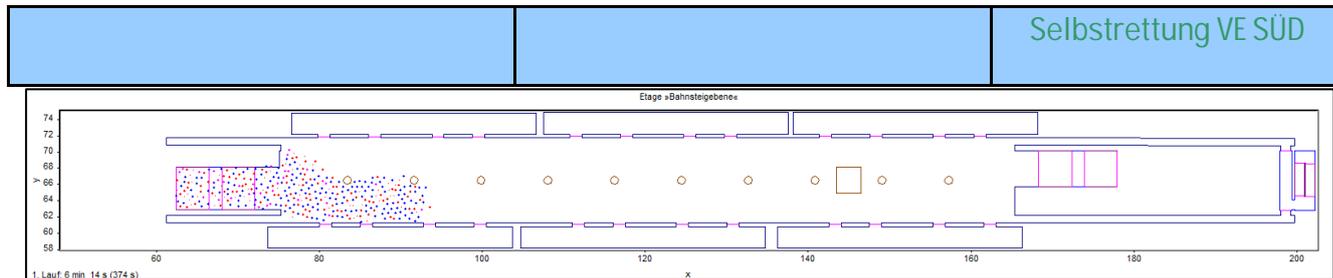


Abbildung 114: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,2 Minuten – Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung vor der Treppe verringert sich auf ca. 15 m. Durch die Ansammlung vor dem Ausgang in der Verteilerebene wird das Abströmen über diese Treppe leicht behindert.</p>	Selbstrettung
---	--	---------------

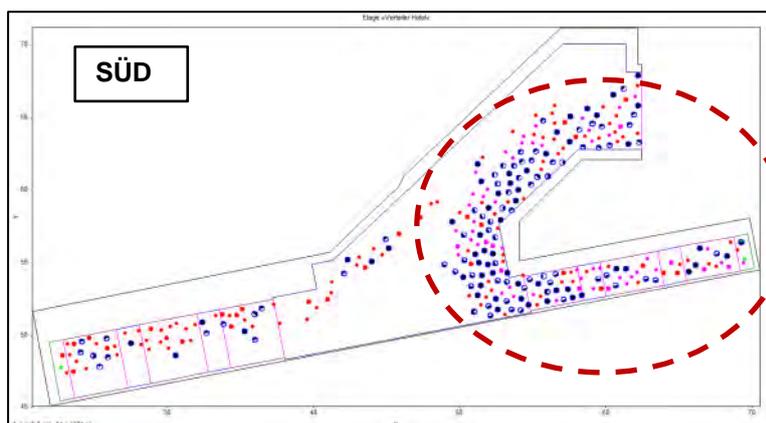


Abbildung 115: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,2 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung vor dem rot markierten Ausgang ist weiterhin vorhanden und beeinflusst das Abströmverhalten auf der Treppe zwischen Bahnsteig und Verteilerebene. Am zweiten Ausgang sind keine Ansammlungen zu erkennen. Hier ist ein ungehindertes Verlassen der Station möglich.</p>	Selbstrettung
---	---	---------------

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

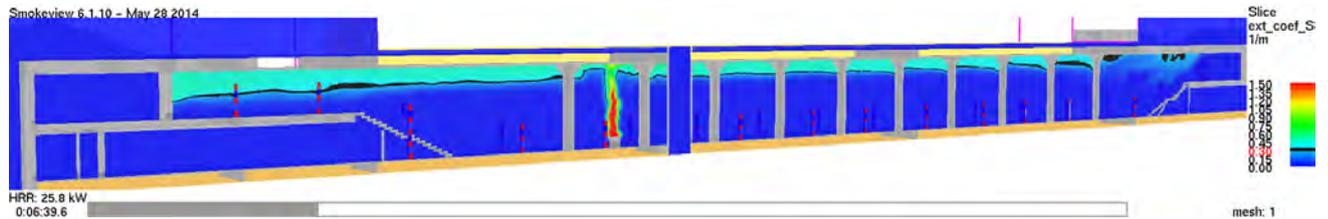


Abbildung 116: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Weiterhin sind keine Einschränkungen der Räumung auf dem Bahnsteig aufgrund der Höhe der Bereiche der Grenzwertüberschreitungen zu erwarten.	Selbstrettung BE

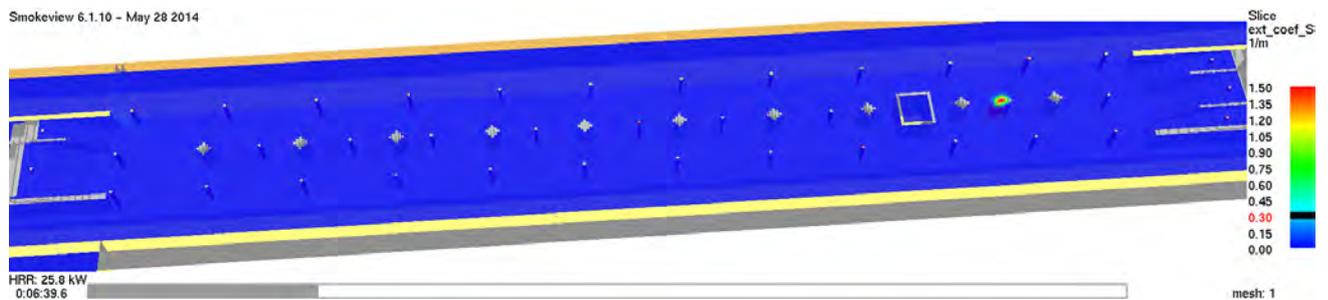


Abbildung 117: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Die Bereiche der Grenzwertüberschreitung haben sich nicht weiter vergrößert.	Selbstrettung BE

Smokeview 6.1.10 – May 28 2014

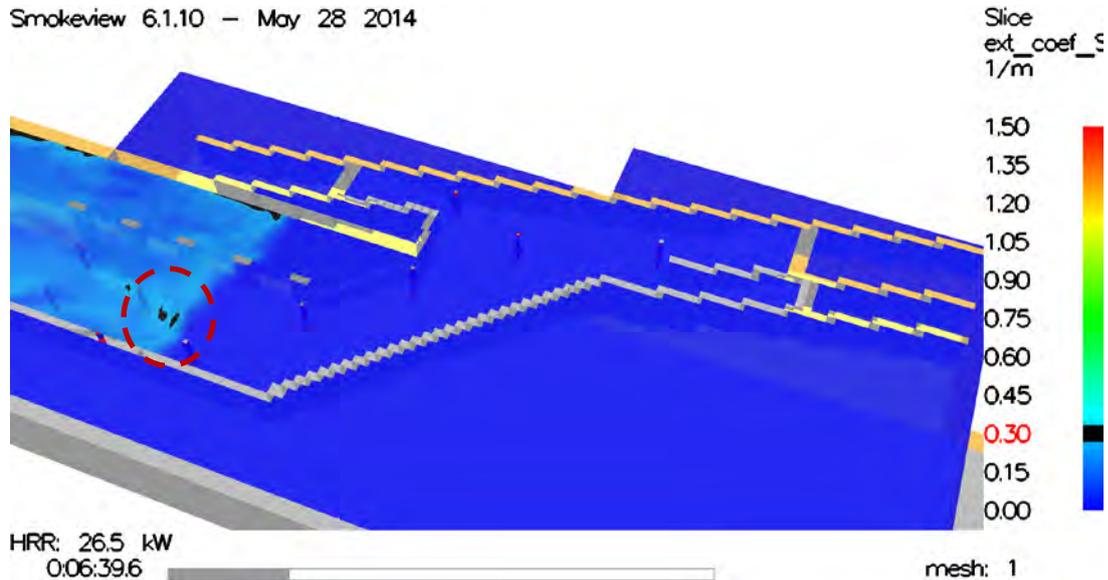
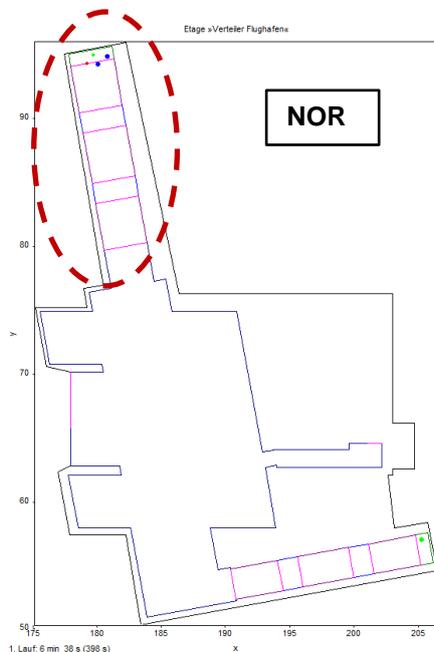


Abbildung 118: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Süd Horizontalschnitt z = 7,5 m –
 Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Verteilerebene Süd ist weiterhin frei von Rauchgasen in einer kritischen Konzentration. Lediglich lokal eng begrenzte Bereiche überschreiten minimal den Grenzwert des Extinktionskoeffizienten.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------



Räumung Verteilerebene NORD abgeschlossen

Abbildung 119: Szenario 1 - Räumungssimulation nach 6,6 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Station ist vollständig geräumt. Die letzte Person hat über den nordwestlichen Ausgang (rot markiert) das Freie erreicht.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

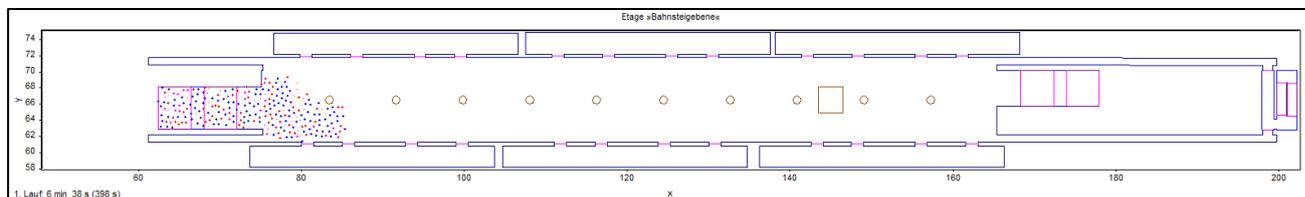


Abbildung 120: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,6 Minuten – Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung hat sich bereits auf ca. 10 m verkürzt. Eine Gefährdung der Personen durch Rauchgase liegt nicht vor, da auf der Bahnsteigebene keine Grenzwertüberschreitungen vorliegen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

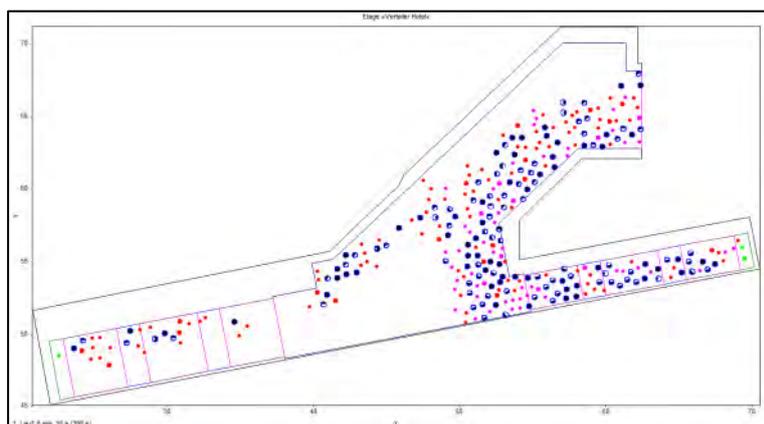


Abbildung 121: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 6,6 Minuten – Verteilebene Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die Ansammlung vor dem rot markierten Ausgang ist weiterhin vorhanden. Auch hier ist keine Gefährdung der Personen gegeben, da ebenfalls keine Grenzwertüberschreitungen der Rauchgaskonzentration vorliegen.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

Ab diesem Zeitpunkt wird in der Räumungssimulation das Szenario 1 nicht mehr dargestellt, da hier alle Personen die Station verlassen haben.

5.4.7 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 7,6 Minuten

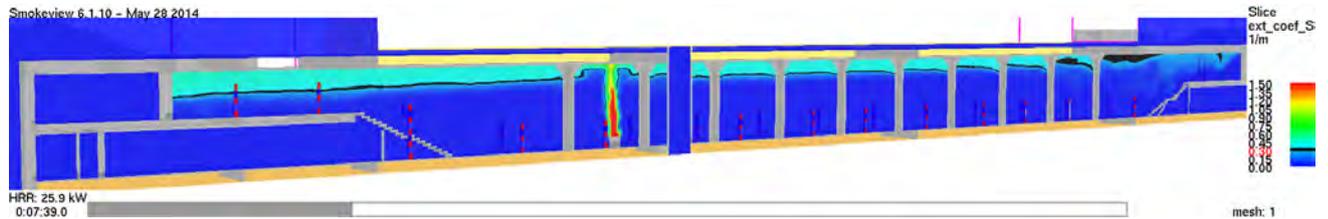


Abbildung 122: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Vertikalschnitt $y = 9,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Der Bereich der Grenzwertüberschreitung im Deckenbereich bleibt annähernd konstant.	Selbstrettung BE

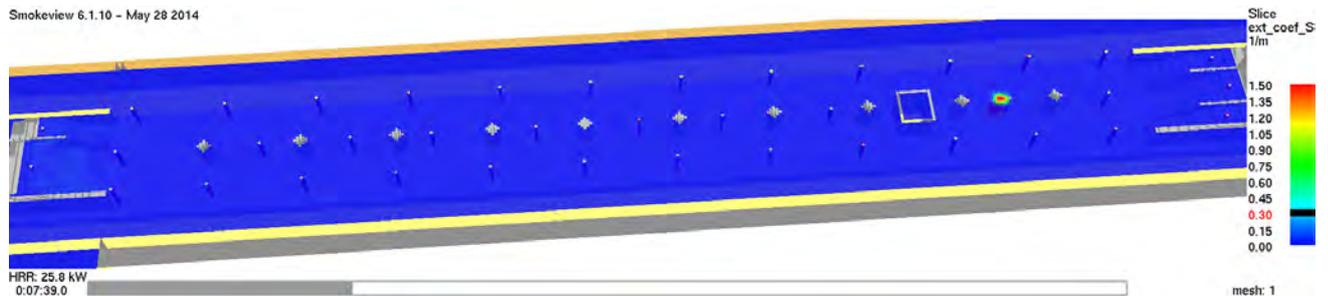


Abbildung 123: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt $z = 3,5 \text{ m}$ – Grenzwert: $\text{Ext}=0,3 \text{ m}^{-1}$

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase $< 0,3 \text{ m}^{-1}$	Es sind noch keine Annäherungen an die Grenzhöhe, von 2,5 m raucharme Schicht über dem Boden, zu erkennen.	Selbstrettung BE

Smokeview 6.1.10 – May 28 2014

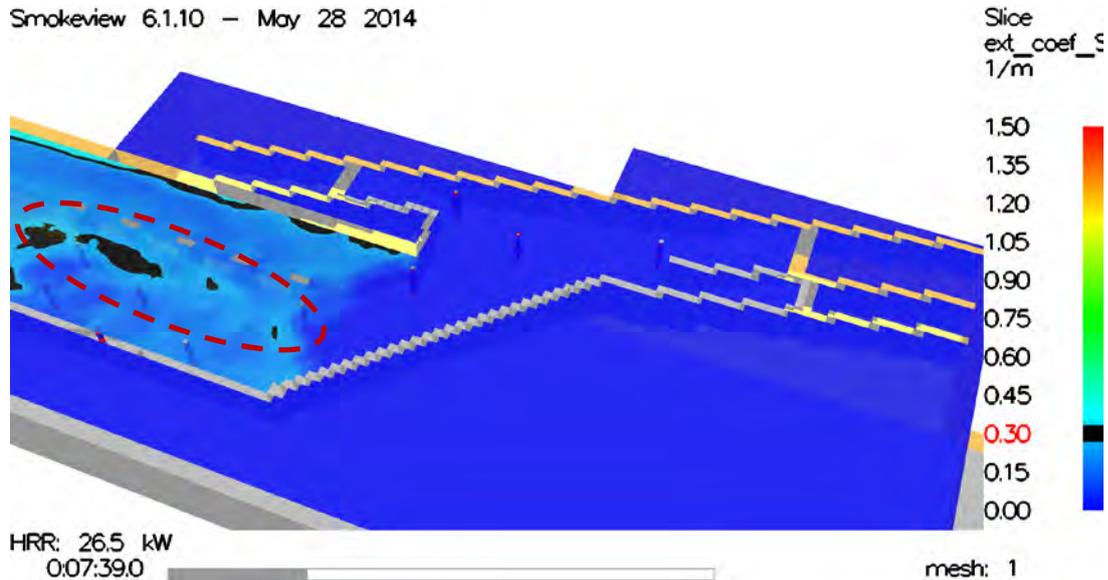


Abbildung 124: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebenen Süd Horizontalschnitt z = 7,5 m –
 Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Noch immer ist die Verteilerebene im Süden weitestgehend frei von Rauchgasen in einer kritischen Konzentration. Des Weiteren treten lediglich temporäre und lokale Grenzwertüberschreitungen auf.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	--	-------------------------

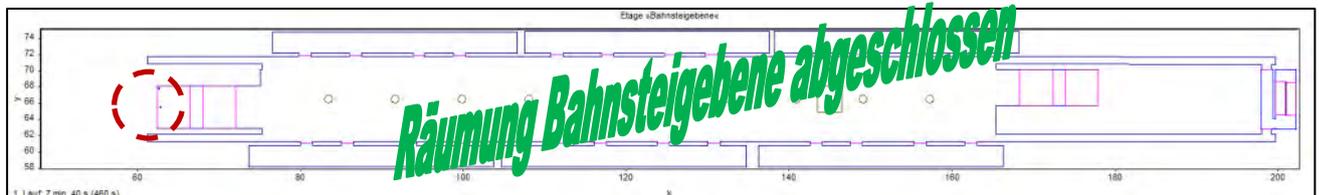


Abbildung 125: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 7,6 Minuten - Bahnsteigebene

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person (rot markiert) hat die Bahnsteigebene verlassen, und die Verteilerebene Süd betreten.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	--	----------------------

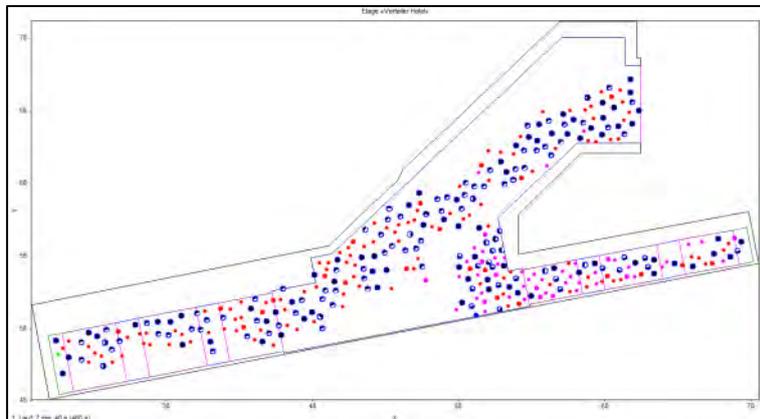


Abbildung 126: Szenario 2 - Räumungssimulation nach 7,6 Minuten – Verteilerebenen Süd

<p>Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Es ist weiterhin eine Ansammlung vor dem rot markierten Ausgang vorhanden. Diese ist aber mittlerweile stark verkürzt.</p>	<p>Selbstrettung</p>
---	---	----------------------

5.4.8 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 9,0 Minuten

Die TR Strab BS von Juni 2014 gibt vor, dass die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahme 10 % länger, mindestens aber eine Minute länger als die Bemessungszeit der vollständigen Räumung sein soll. Aufgrund dessen wird nach 9,0 Minuten geprüft, ob weiterhin eine raucharme Schicht von 2,5 m über dem Boden auf der Bahnsteigebene, für das Räumungsszenario 2, gewährleistet wird. Gilt dieser Nachweis auf der Bahnsteigebene für das Räumungsszenario 2 als erfüllt, so gilt auch der Nachweis für das Räumungsszenario 1 aufgrund der geringeren Räumungsdauer als erfüllt.

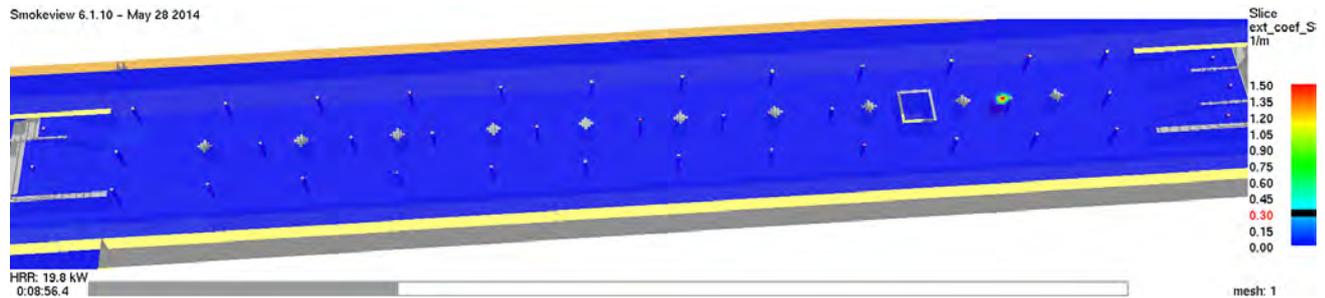


Abbildung 127: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Es sind noch keine Annäherungen an die Grenzhöhe, von 2,5 m raucharme Schicht über dem Boden, zu erkennen.	Selbstrettung BE

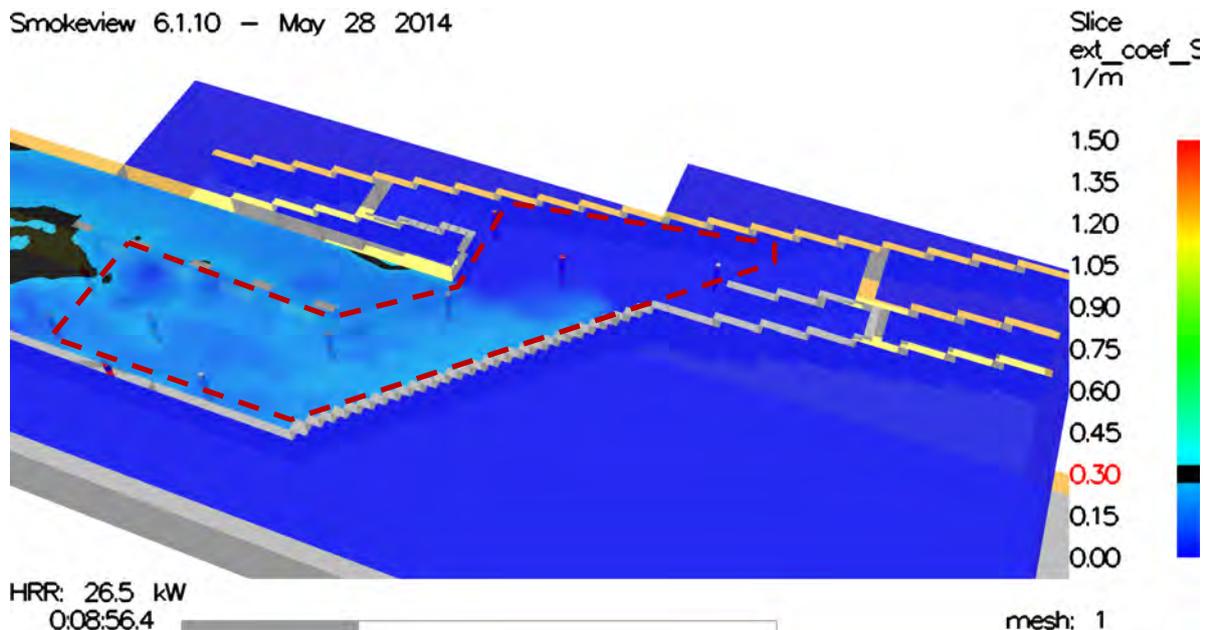


Abbildung 128: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Das Schutzziel Selbstrettung wird noch immer nahezu uneingeschränkt gewährleistet. Im rot markierten Bereich	Selbstrettung VE

	(Rettungsweg auf der Verteilerebene Süd) liegen die Werte für den Extinktionskoeffizienten unter dem Grenzwert.	
--	---	--

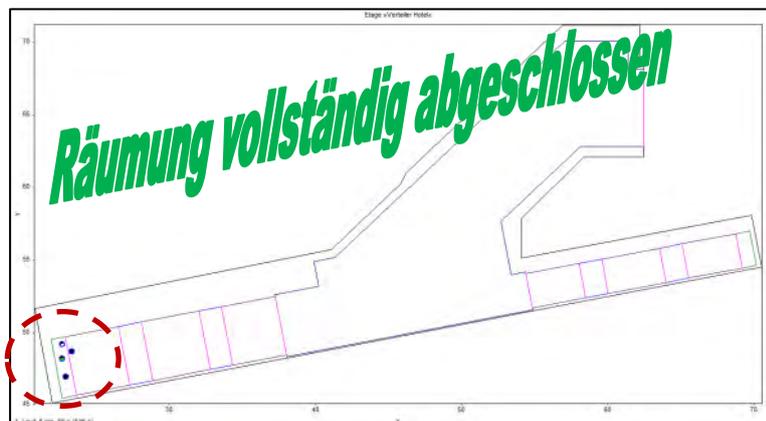


Abbildung 129: Szenario 2 - Räumungssimulation nach ca. 9 Minuten – Verteilerebene Süd

Schutzziel Selbstrettung: Erreichen eines sicheren Bereichs bevor eine kritische Verrauchung eintritt.	Beurteilung und ggf. Kommentar: Die letzte Person (rot markiert) hat die Verteilerebene Süd verlassen. Die Station ist vollständig geräumt.	Selbstrettung
--	---	----------------------

5.4.9 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 10,0 Minuten

Die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahme muss bezogen auf die Räumungsdauer eine Minute länger als die Bemessungszeit der vollständigen Räumung sein. Aus diesem Grund wird geprüft, ob nach 10 Minuten auf der südliche Verteilerebene, eine Minute nach Beendigung der Räumung im 2. Räumungsszenario, weiterhin eine raucharme Schicht von 2,5 m gewährleistet wird.

Smokeview 6.1.10 – May 28 2014

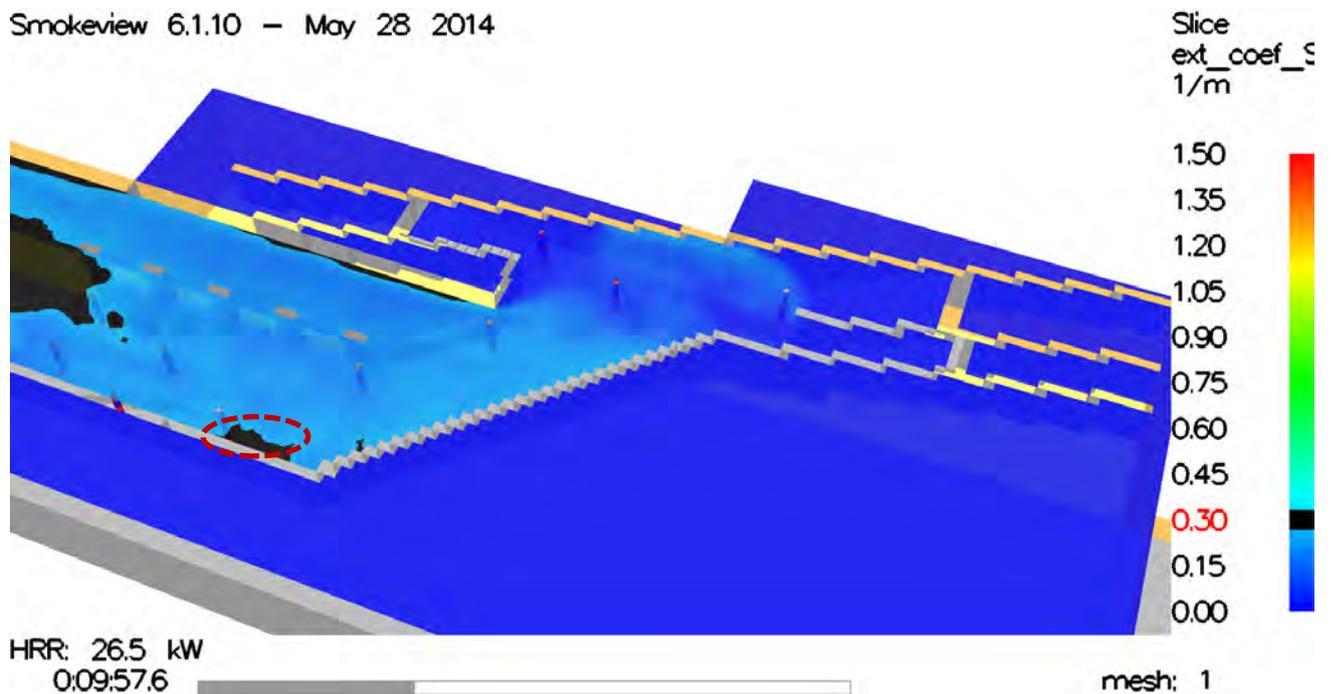


Abbildung 130: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 7,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Eine Minuten nach der Bemessungszeit für das zweite Räumungsszenario sind lediglich temporäre und lokal begrenzte Überschreitungen der kritischen Rauchgaskonzentration zu erwarten. Der o.g. Nachweis nach TR Strab 2014 wird demensprechend erfüllt.</p>	<p>Selbstrettung VE</p>
---	---	-------------------------

5.4.10 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 20,0 Minuten

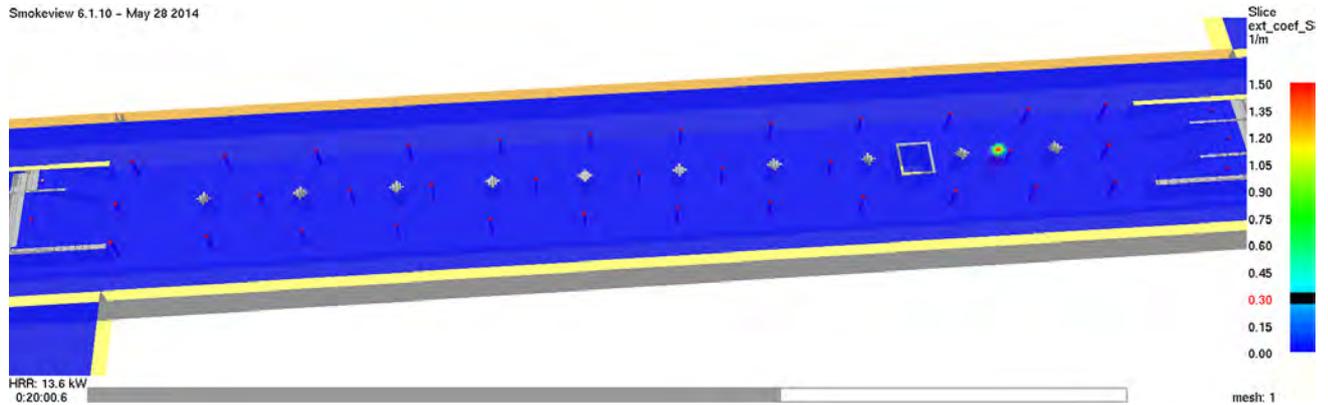


Abbildung 131: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Der Grenzwert des Extinktionskoeffizienten von 0,3 m ⁻¹ auf einer Höhe von 2,5 m über dem Boden wird bis zu diesem Zeitpunkt nicht erreicht. Die Feuerwehr kann so ungehindert den Brandherd auffinden.	Fremdrettung BE

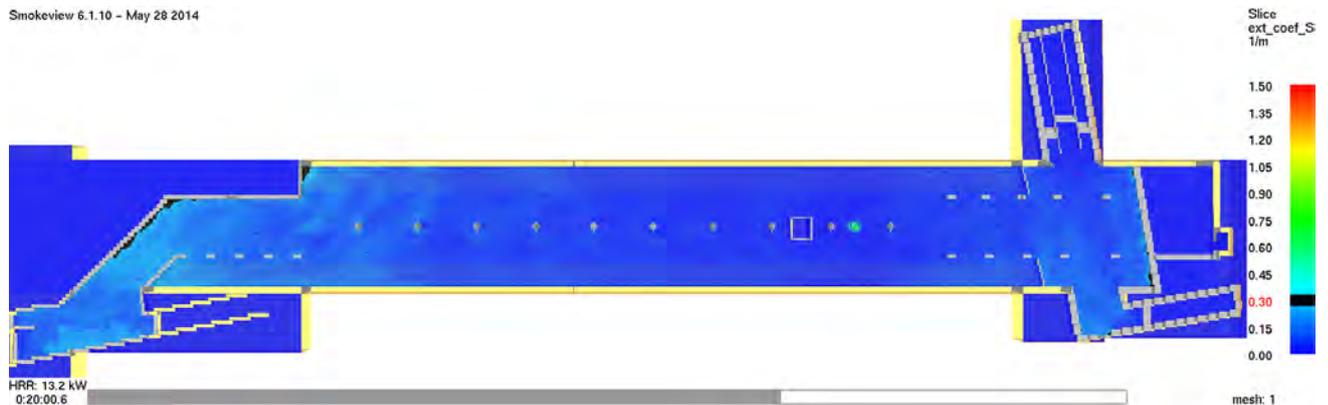


Abbildung 132: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 6,0 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

Schutzziel Selbstrettung:	Beurteilung und ggf. Kommentar:	
Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m ⁻¹	Es ist keine Beeinträchtigung aufgrund der Dichte des Rauches für den Löschangriff seitens der Feuerwehr zu erwarten.	Fremdrettung VE

5.4.11 Szenario 2 - Zustand im Objekt nach ca. 30,0 Minuten

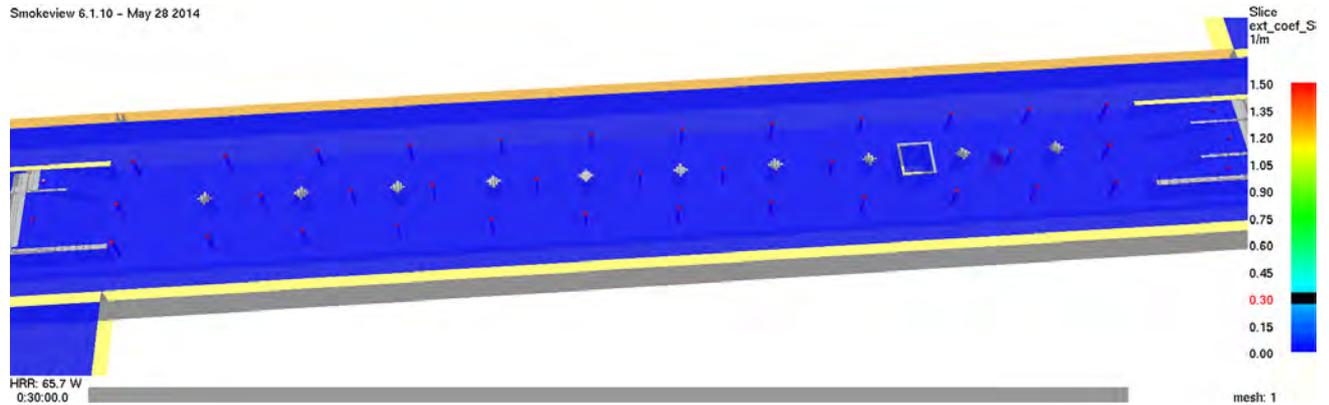


Abbildung 133: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Horizontalschnitt z = 3,5 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Bis zum Ende der Brandsimulation sind keine Überschreitungen des Grenzwertes bzw. Unterschreitungen der raucharmen Schichthöhe von 2,5 m über dem Boden zu erwarten.</p>	<p>Fremdrettung VE</p>
---	---	------------------------

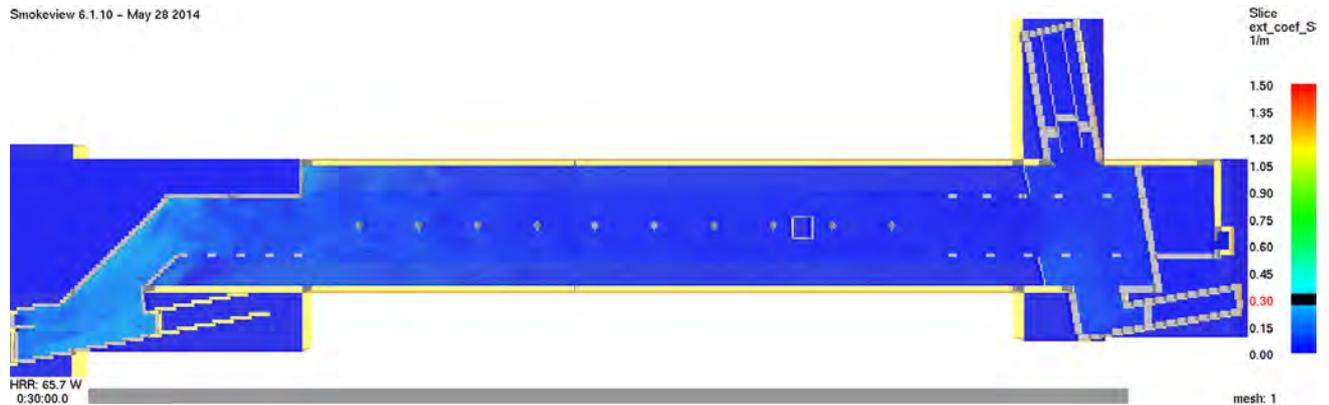


Abbildung 134: Schnittbild Extinktionskoeffizient – Verteilerebene im Süden Horizontalschnitt z = 6,0 m – Grenzwert: Ext=0,3 m⁻¹

<p>Schutzziel Selbstrettung: Extinktionskoeffizient während der Selbstrettungsphase < 0,3 m⁻¹</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Zu keinem Zeitpunkt fällt die Höhe der raucharmen Schicht unter der geforderten Mindesthöhe für den Löschangriff von 1,0 m. Außerdem wurde zum Ende der Selbstrettungsphase hin festgestellt, dass kein weiterer Anstieg bzw. sogar ein Rückgang der Rauchgase erfolgt. Dementsprechend ist zu jedem Zeitpunkt mindestens eine raucharme Schicht von 1,5 m über dem Boden auf den Verteilerebenen vorhanden.</p>	<p>Fremdrettung VE</p>
---	---	------------------------

Smokeview 6.1.10 – May 28 2014

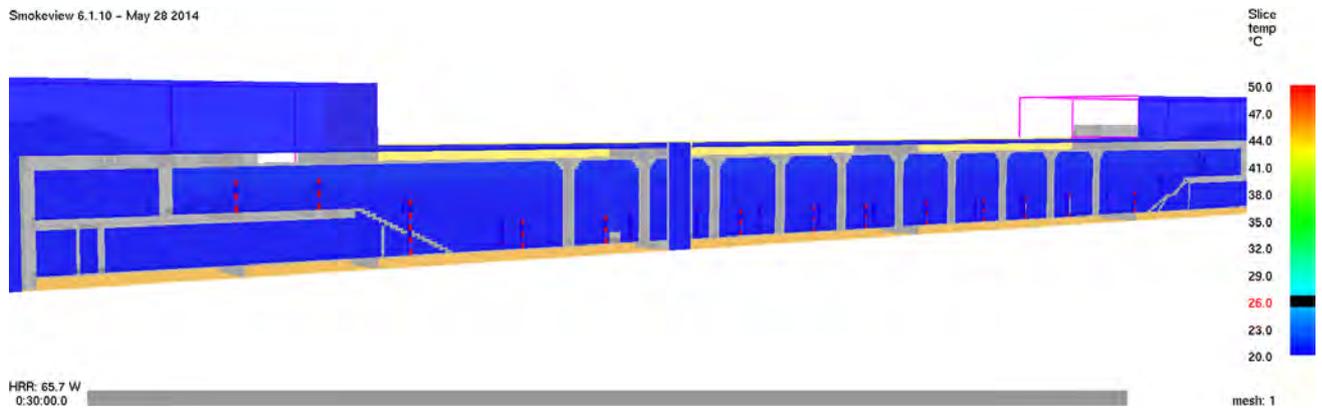


Abbildung 135: Rauchgastemperaturen – Vertikalschnitt y = 9,5 m – Grenzwert: Rauchgastemp. < 100 °C

<p>Schutzziel: Löschangriff Feuerwehr Rauchgastemperatur < 100 °C</p>	<p>Beurteilung und ggf. Kommentar: Zu keinem Zeitpunkt wird die Grenztemperatur der Rauchgase mittig der Bahnsteigebene von 50 °C für die Selbstrettung und dementsprechend für den Löschangriff der Feuerwehr (100°C) erreicht. Lediglich sind höhere Temperaturen unmittelbar über der Brandquelle zu erwarten.</p>	<p>Selbstrettung BE Selbstrettung VE Löschangriff</p>
--	---	---

5.5 Auswertung der Daten zur Räumungsdauer (Sz. 1 und Sz. 2)

Ergebnisse aus der Räumungssimulation (Szenario 1):

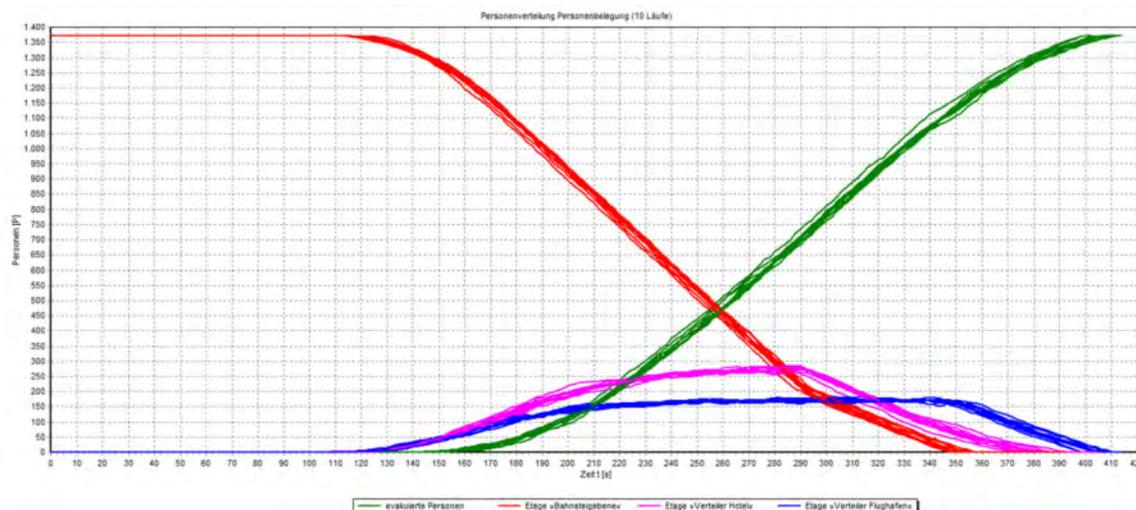


Tabelle 5: Szenario 1 – Verlauf der Personenverteilung 10 Läufe

Lauf	t_evac	t_98%	t_95%	t_50%	t_1.
1	399,0 s	392,0 s	378,5 s	284,5 s	139,0 s
2	407,0 s	394,0 s	380,5 s	287,0 s	148,0 s
3	401,0 s	390,0 s	380,5 s	288,0 s	144,0 s
4	406,5 s	395,5 s	382,0 s	287,5 s	144,5 s
5	413,0 s	400,0 s	385,5 s	287,5 s	143,0 s
6	404,0 s	395,5 s	381,0 s	289,5 s	138,0 s
7	409,5 s	398,5 s	387,0 s	286,5 s	145,0 s
8	411,0 s	400,0 s	386,0 s	289,0 s	140,5 s
9	409,0 s	398,0 s	382,5 s	290,5 s	142,0 s
10	409,0 s	396,0 s	386,5 s	287,5 s	150,5 s
MittelW	406,9 s	396,0 s	383,0 s	287,8 s	143,5 s
StaAbw	4,4 s	3,3 s	3,0 s	1,7 s	3,9 s

Tabelle 6: Szenario 1 - Räumungszeiten (10 Läufe) Ergebnisse in [s]

Ergebnisse aus der Räumungssimulation (Szenario 2 – Ausfall der Verteilerebene Nord):

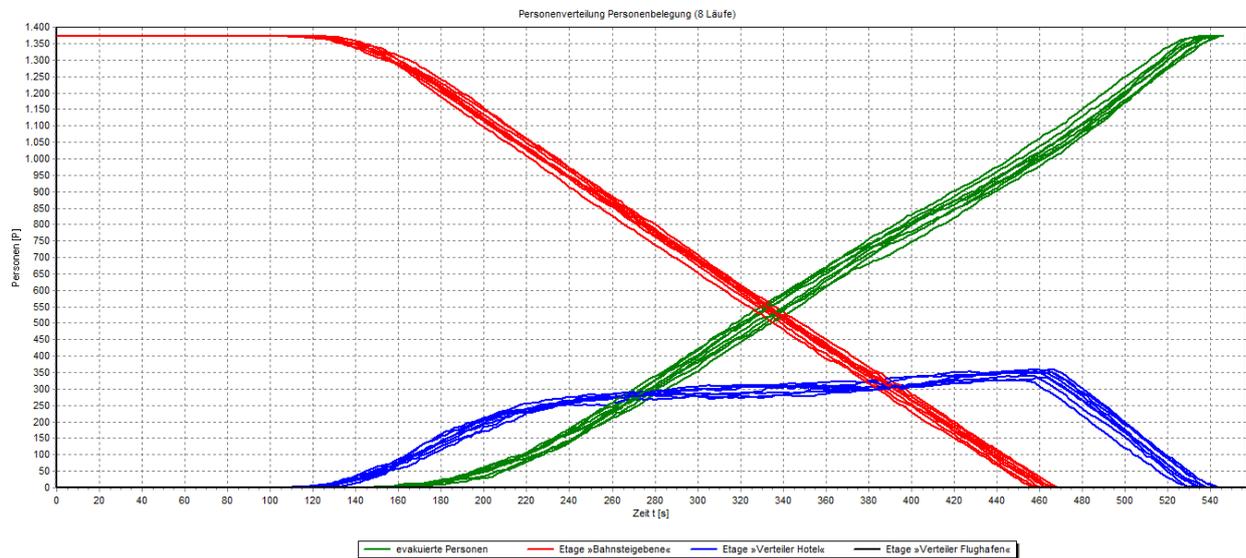


Tabelle 7: Szenario 2 – Verlauf der Personenverteilung 8 Läufe

Lauf	t_evac	t_98%	t_95%	t_50%	t_1.
1	537,0 s	527,5 s	519,0 s	369,0 s	148,0 s
2	537,5 s	525,0 s	517,0 s	364,0 s	157,0 s
3	544,0 s	536,0 s	527,0 s	382,0 s	160,0 s
4	544,5 s	535,0 s	525,0 s	374,0 s	146,5 s
5	545,5 s	529,5 s	521,0 s	368,0 s	158,0 s
6	540,0 s	533,0 s	525,0 s	377,0 s	159,5 s
7	534,5 s	522,5 s	513,0 s	364,0 s	145,5 s
8	541,5 s	530,5 s	521,0 s	372,5 s	146,0 s
MittelW	540,6 s	529,9 s	521,0 s	371,3 s	152,6 s
StaAbw	4,0 s	4,7 s	4,7 s	6,3 s	6,6 s

Tabelle 8: Szenario 2 - Räumungszeiten (8 Läufe) Ergebnisse in [s]

Ergebnisse aus der Räumungssimulation

Die Räumung aus den in diesem Szenario festgelegten Gebäudeteilen dauert gemäß Räumungssimulation:

Gesamt Räumungsdauer Szenario 1 = 406,9 sec ± 4,4 sec ≈ 6,9 min

Gesamt Räumungsdauer Szenario 2 = 540,6 sec ± 4,0 sec ≈ 9,0 min

Maßgeblich für die Bestimmung der Räumungsdauern der einzelnen Ebenen ist der Zeitpunkt an dem die letzte Person die Treppe in die darüber liegende Ebene verlassen hat. Da zwischen Bahnsteig und den beiden Verteilerebenen keine rauchschutztechnische Trennung besteht, sind die Personen erst bei Betreten des Freien in einem sicheren Bereich.

6 Bewertung der Ergebnisse

Im Rahmen der Simulationen wurde durch eine Feldmodellberechnung (Brandsimulation) die Verrauchung und die Räumung der Station Flughafen Terminal in Düsseldorf mit Hilfe der oben beschriebenen Szenarien untersucht.

Brandszenario 1 – Brand Fahrzeug

Bei einem Brandereignis in Form eines Schienenfahrzeugs (Grundlage Bemessungsbrand TÜV Süd) ist durch die offene Gestaltung der Station damit zu rechnen, dass sich die Rauchgase ungehindert über die Verteilerebene ins Freie verteilen können.

Durch den zeitlichen Vergleich zwischen den Verrauchungszuständen und den Räumungsdauer der untersuchten Szenarien, kann festgestellt werden, dass für die Selbstrettung alle nachzuweisenden Schutzziele eingehalten werden. Die Personen können den sicheren Bereich betreten ohne das eine kritische Verrauchung auf den Rettungswegen auftritt.

Die Ergebnisse der Räumungssimulation haben ergeben, dass die Personen zwischen **6,6 Minuten** (bei allen zur Verfügung stehenden Ausgängen) und **9,0 Minuten** (bei Ausfall einer Verteilerebene) den sicheren Bereich des Freien betreten haben. Bis zu diesen Zeitpunkten ist in beiden Szenarien der Brandsimulation das Schutzziel der Selbstrettung zu gewährleisten.

Für den Löschangriff der Feuerwehr liegt bei einem Brand eines Schienenfahrzeugs für die Einsatzkräfte noch eine rauchfreie Schicht von ca. 1,0 m auf den Verteilerebenen vor. Eine Überschreitung der Grenzwerte für die Rauchgastemperatur sind in den Verteilerebene nicht vorhanden, sodass ein Durchschreiten der übersichtlichen Verteilerebenen möglich ist. Die Bahnsteigebene ist über den gesamten Simulationszeitraum frei von Rauchgase. Hier sind ein Auffinden des Brandherds und ein ungehinderter Löschangriff möglich.

Brandszenario 2 – Ersatzbrandszenario

Bei der Berücksichtigung des Ersatzbrands ist ebenfalls durch die offene Verbindung zwischen Bahnsteig und Verteilerebenen ein Raucheintrag möglich. Aufgrund der Ergebnisse aus Szenario 2 (Ausfall Verteilerebene Nord) der Brandsimulation wurde das Szenario 2 der Räumungssimulation berechnet. In der Brandsimulation wurde festgestellt, dass durch den Brand eines Koffers oder selbstverlöschenden Mülleimers auf einer Verteilerebene Grenzwertüberschreitungen auftreten. Der Vergleich der Brandsimulation (Sz. 2) mit der Räumungssimulation (Sz. 2) zeigt, dass bei einem Ausfall einer Verteilerebene trotz der verlängerten Rettungswege (um ca. 45 m) und einer geringeren Rettungswegbreite (Wegfall von ca. 5,80 m auf der Verteilerebene Nord) die Personen über die Rettungsweg der Verteilerebene Süd das Freie erreicht haben, bevor eine kritische Verrauchung dieses Rettungswegs eintritt.

Für die Einsatzkräfte der Feuerwehr liegt bei einem Brandereignis in der berücksichtigten Größenordnung für die Fremdrettung und den Löschangriff der Feuerwehr auf den Verteilerebene eine raucharme Schicht von ca.

2,0 m vor. Die Bahnsteigebene ist über den gesamten Simulationszeitraum frei von Rauchgasen. Die Grenzwerte der Rauchgastemperaturen werden nicht überschritten.

E. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Dokumentation zur rechnerischen Räumungs- und Brandsimulation wurde die Planung des

- Neubaus der Station Flughafen Terminal der Linie U 81 -

mit Hilfe von ingenieurmäßigen Verfahren brandschutztechnisch untersucht und bewertet. Zur Untersuchung der Situation wurde für den Brandfall mit Hilfe eines rechnerischen Feldmodells (Brandsimulationsprogramm FDS) und eine Räumungssimulation (ASERI) auf Grundlage der Kubatur des Gebäudes Bemessungsbrände und Räumungsszenarien 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 Fahrzeuggutachten herangezogen. Es wurden zwei Bemessungsbrände mit einer max. Energiefreisetzung innerhalb des Objektes von 250 kW und 100 kW festgelegt. Die zeitabhängige Energiefreisetzung orientierte sich an den zuvor beschriebenen Annahmen. Des Weiteren wurden Die berücksichtigten Personenzahlen orientieren sich am EBA- Verfahren. Damit wurde eine Personenzahl von 1.373 Personen innerhalb der Station ermittelt.

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 bei der Umsetzung 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 07.09.2015

gez. Kraft

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

gez. Rams

B. Sc. Björn Rams
Projektingenieur Brandschutz

F. Beurteilungsgrundlagen

F.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. 6017 der BSCON Brandschutzconsult GmbH verwiesen.

Normen und technische Regelwerke

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 6017 der BSCON Brandschutzconsult GmbH verwiesen.

Literatur

- Fire on the Web – Fire Tests Data - Fire Experiment Results – National Institute for Standards and Technologie (NIST), USA – www.fire.nist.gov 04/2002
- P.H. Thomas, P.L. Hinkley: Technical Paper No. 7 - Investigations into the Flow of Hot Gases in Roof Ventings 1963
- P.H. Thomas, P.L. Hinkley: Technical Paper No. 10 - Design of roof-venting systems for single-storey buildings 1964
- VDI 6019 Blatt 1 – Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden – Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit Stand 05-2006
- VDI 6019 Blatt 2 – Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden – Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit Stand 06-2009
- VdS 2827 – Bemessungsbrände für Brandsimulationen und Brandschutzkonzepte 05/2000
- K. McGrattan: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – Technical Reference Guide - NIST Special Publication 1018-5 – National Institut of Standards and Technologie 09/2009
- K. McGrattan: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – User’s Guide - NIST Special Publication 1019-5 – National Institut of Standards and Technologie 09/2009
- Festlegung von Brandszenarien für den Entwurf von Gebäuden und für die Risikobetrachtung, U. Schneider 1995
- Ingenieurmethoden des Brandschutzes vfdb-Leitfaden – Stand 2013
- 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

F.2 Unterlagen

An dieser Stelle wird auf das Brandschutzkonzept Nr. 6017 der BSCON Brandschutzconsult GmbH verwiesen.

F.3 Besprechungen / Abstimmungen

Für weitergehende Angaben wird an dieser Stelle auf das Brandschutzkonzept Nr. 6017 der BSCON Brandschutzconsult GmbH verwiesen.

G. Anhänge

G.1 FDS - fire dynamic simulator

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

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

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

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

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

Die numerische Brandsimulation wurde mit dem Feldmodell FDS – Version 6 (National Institute for Standards and Technology 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.

Kontinuitätsgleichung (Massenerhaltung):

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

Energiegleichung:

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

Impulsgleichung (Navier-Stokes-Gleichung):

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

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

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

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

Das numerische Lösungsverfahren erbringt als Ergebnis die lokalen Werte für die

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

als Variablen in den jeweiligen Zellen des Rechengitters.

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

G.1.2 Standardwerte

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

G.1.3 Kennwerte der brandschutztechnischen Infrastruktur

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Ventilation		
Zuluft	RWA-Fläche über Tunnelmund Außerdem dienen als Nach- bzw. Abströmflächen die Zugänge zur U-Bahnstation (VTE Süd- und Nord).	
Natürliche Abluft	Abströmflächen über die Zugänge zur U-Bahnstation (VTE Süd- und Nord).	
Mechanische Abluft	Nicht vorhanden	
Brandmeldetechnik		
Lage Heat Detektoren	Im Modell nicht vorhanden	
Ansteuerungen Heat Detektoren	Im Modell nicht vorhanden	
Löschtechnik⁴	Im Modell nicht vorhanden	
Auslösetemperatur	--	
RTI-Wert	--	-

⁴ Im Foyer des XX 3 ist eine Sprühflutlöschanlage mit offenen Düsen und die Auslösung über die Brandmeldeanlage geplant, die Angaben in der Tabelle sind im Szenario 2 für das 1.OG relevant.

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Sprinklerauslöseszeit gemäß VDI 6019	Zwischen 305 Sekunden und 443 Sekunden je nach Deckenhöhe	-

G.1.4 Stoffspezifische Kennwerte

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Materialkennwerte		
Mischbrandlast	Polyurethane (PUR)	
Beton	Dichte: 2280 kg/m ³ Spezifische Wärmekapazität: 1,04 kJ/(kg·K) Thermische Leitfähigkeit: 1,8 W/(m·K) Bauteildicke: 25 cm	
Stahl	Dichte: 7850 kg/m ³ Spezifische Wärmekapazität: 0,46 kJ/(kg·K) Thermische Leitfähigkeit: 45,8 W/(m·K) Bauteildicke: 15 mm	
Gipskarton	Dichte: 7850 kg/m ³ Spezifische Wärmekapazität: 0,46 kJ/(kg·K) Thermische Leitfähigkeit: 45,8 W/(m·K) Bauteildicke: 15 mm	
Glas	Dichte: 2520 kg/m ³ Spezifische Wärmekapazität: 0,837 kJ/(kg·K) Thermische Leitfähigkeit: 0,96 W/(m·K) Bauteildicke: 15 mm	
Yield-Faktoren		
Soot Yield	0,198 Pyrosim-Standardwert für Polyurethan	
CO Yield	0,042 Pyrosim-Standardwert für Polyurethan	

Eingangsparameter	Wert / Quelle	Bemerkung
Sichtweiten Parameter		
spezifische Extinktionskoeffizient K_m	-	
C-Faktor	-	

G.1.5 Simulationsspezifische Kennwerte

	Wert / Quelle	Bemerkung
Zellgitterkonfiguration		
Simulationsvolumen	ca. 67.945 m ³	
Zellgröße	<u>Szenario 1 und 2:</u> 0,25 m x 0,25 m x 0,25 m	
Anzahl Zellen	<u>Szenario 1 und 2: 4.348.440</u>	
Anzahl Gitter	<u>Szenario 1 – 3:</u> 8 Gitter	Multimesh
Physikalische Modelle		
Turbulenzmodell	LES (Large Eddy Simulation) FDS6-Standard Modell: Dynamisches Smagorinsky Modell	Baroklines Torsionsmoment berücksichtigt
Verbrennungsmodell	Standard	
Strahlungsmodell	Standard	

G.2 Beschreibung der Software der Räumungssimulation -ASERI

Beschreibung der Vorgehensweise

Mit dem Räumungssimulationsprogramm ASERI (I.S.T. Frankfurt / Main) sollen rechnerische Räumungsdauern ermittelt werden. Durch eine brandschutztechnische Bewertung dieser Ergebnisse wird der Nachweis erbracht, dass – unter Einhaltung der Randbedingungen des Brandschutzkonzeptes und dieser Räumungssimulation – keine Bedenken für die geplante Nutzung bestehen.

Als realitätsnahes Szenario, an welchem die Kapazitäten der Fluchtwege der U 81 Hauptverwaltung überprüft werden sollen, wird zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung eine Belegungsannahme getroffen. Diese Belegung resultiert aus Annahmen, die auf der Grundlage der Pläne (JSWD Architekten) getroffen wurden.

Der Einsatz des o.g. Räumungsprogramms setzt die Entwicklung eines geeigneten dreidimensionalen Gebäudemodells voraus.

Für eine statistische Absicherung der einzelnen Simulationsergebnisse wird jedes Szenario, aufgrund der stochastischen Einflussgrößen (z.B. zufällige Anfangsverteilung der Personen, stochastische Gewichtung bei Überhol- und Ausweichvorgängen, ...), zehnfach berechnet. Die Einzelergebnisse werden mit Hilfe des statistischen Verfahrens (Monte-Carlo-Simulation) analysiert, um dann die gesicherte Räumungszeit zu erhalten.

Diese abgesicherte Räumungszeit erfordert weiter eine brandschutztechnische Bewertung unter Berücksichtigung der im Brandschutzkonzept beschriebenen objektspezifischen Randparameter und des individuellen Verhaltens von Personen im Brandfall (z. B. Pre-Movement).

Personenmodell

Bei der Modellierung des virtuellen Personenmodells müssen individuelle Merkmale berücksichtigt werden. Zu diesen Merkmalen gehören insbesondere:

- Raumbedarf einer Person (Schulter- / Brustbreite);
- maximale unbehinderte Bewegungsgeschwindigkeit;
- körperliche und geistige Leistungsfähigkeit;
- Altersgruppe und Geschlecht;

Raumbedarf eine Person

Der Raumbedarf einer Person wird durch Aseri anhand der Schulter- und Brustbreite sowie durch die momentane Orientierung charakterisiert. Die Schulter- und Brustbreite bildet die Achsen der Ebenenprojektion

der Körperform. Die räumliche Orientierung dieser Projektion ergibt sich aus dem Vektor der augenblicklichen Bewegungsrichtung. Die Position einer jeden Person ist also für jeden Zeitpunkt durch die Angabe des Mittelpunktes der Körperprojektion in horizontalen kartesischen Koordinaten x und y , innerhalb einer bestimmten Ebene (Etage bzw. Treppenverbindung) festgelegt. Schulter- und Brustbreite können für jede Person individuell gewählt werden, entweder durch explizite Zuordnung oder durch geeignete Verteilungsfunktion entsprechend der zu untersuchenden Population.

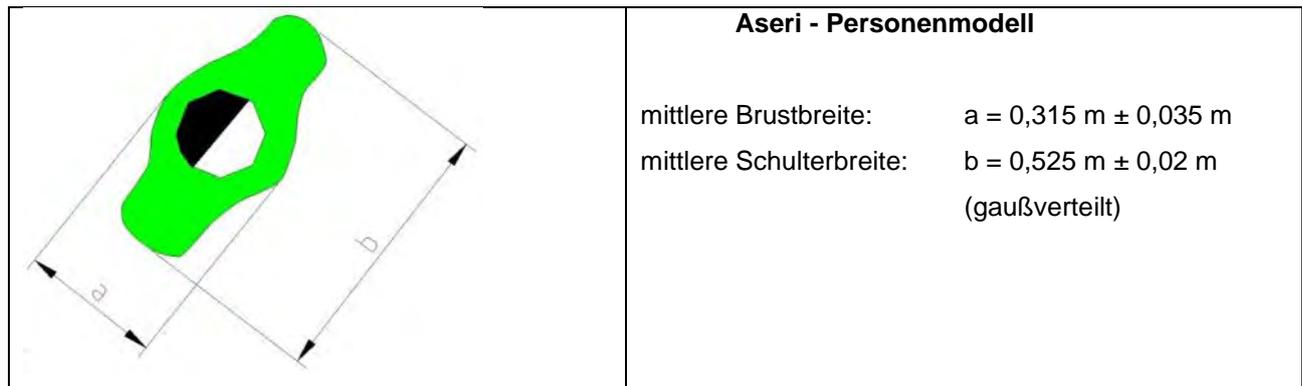


Abbildung 136: Personenmodell

Population

Die Modellierung der Personen für die Verkaufsstätten wird wie folgt definiert:

- beide Geschlechter (Gleichverteilung)
- Alter (zwischen 6 und 75 Jahren)
- normale körperliche Statur
- geringer Anteil von Personen mit körperlichen oder geistigen Einschränkungen

Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass sich alle Personen in einem wachen und aufnahmefähigen Zustand befinden. Sie werden auf Alarmsignale und Anweisungen zügig reagieren.

Bewegung von Personen

Von zentraler Bedeutung ist die Berechnung der individuellen Fortbewegungsgeschwindigkeit, welche durch Betrag und Richtung des Geschwindigkeitsvektors charakterisiert wird.

Die Richtung ergibt sich aus der aktuellen Position und dem anzusteuern den individuellen Zielpunkt. Dabei ist zwischen dem angestrebten Zielort - also dem Ausgang oder dem sicheren Bereich, den eine Person erreichen möchte - und den dazwischen liegenden Orientierungspunkten zu unterscheiden. Diese ergeben sich aus der Größe und Lage der Verbindungsdurchgänge sowie aus den Eckpunkten der Wände und Hindernisse.

Außerdem wird die Bewegungsrichtung wesentlich durch die Anwesenheit von anderen Personen beeinflusst.

Der Betrag der Fortbewegungsgeschwindigkeit ergibt sich zunächst aus der mittleren Fortbewegungsgeschwindigkeit bei ungehinderter Bewegung. Dies ist eine individuelle Kenngröße, die von der Mobilität der betreffenden Person abhängt. Dieser Wert liegt bei einem durchschnittlichen Erwachsenen bei etwa

$$1,0 \text{ m/s} \pm 0,4 \text{ m/s}$$

und kann bei Kindern, älteren oder gehbehinderten Menschen bzw. bei Personen mit Gepäck entsprechend reduziert werden.

Änderungen dieses Wertes ergeben sich bei der Bewegung auf Treppen, beim Durchgang durch schmale Öffnungen sowie insbesondere durch den Einfluss der Bewegung anderer Personen. All diese Einflussfaktoren wirken verlangsamernd.

Durch den Bewegungsalgorithmus in Aseri wird sichergestellt, dass das von jeder Person zurückgelegte Wegintervall nicht zur Kollision mit Wänden, Hindernissen oder anderen Personen führt.

Würde die beabsichtigte Bewegung einer Person zu einer Kollision mit einer anderen Person führen, wird ein Anpassungsmechanismus aktiviert, der drei Bewegungsalternativen zulässt: (1) Die Person kann so weit wie möglich, ohne Änderung der Bewegungsrichtung aufschließen, sie kann die vordere Person auf der linken (2) oder rechten (3) Seite überholen, sofern ausreichend Platz verfügbar ist. Für die Wahl einer dieser drei Alternativen sind in Aseri feste Wahrscheinlichkeitsgewichte eingebaut, mit denen sich bei der Nachrechnung von Räumungsexperimenten bzw. Räumungsübungen durchweg eine gute Übereinstimmung mit den ermittelten Räumungszeiten und beobachteten Personenmustern ergeben haben.

Durch diesen sich selbst regulierenden Mechanismus ist es demnach nicht mehr nötig, explizite Vorgaben zur Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit von der Personendichte zu machen, wie dies etwa bei hydraulischen Räumungsmodellen der Fall wäre.

Die maximale Laufgeschwindigkeit der Personen hat einen relativ geringen Einfluss auf die Gesamträumdauer. Im Wesentlichen wird diese dadurch bestimmt, in welcher Zeit sich die Personen durch Engstellen bewegen können und wie lange sie in diesem Zusammenhang beispielsweise vor Türen warten müssen.

In Aseri wird berücksichtigt, dass bei Türen, deren effektive Breite deutlich kleiner ist als zwei Schulterbreiten, die Durchsatzgeschwindigkeit durch kurzzeitiges Verlangsamen der Bewegung (Reaktion auf mögliche Kollisionen oder Körperdrehungen bei sehr schmalen Öffnungen) verringert wird. Dazu wird bei Türbreiten unterhalb von 1 m die Fortbewegungsgeschwindigkeit proportional zum Quadrat der Türbreite verringert.

Diese Vorgehensweise deckt sich mit den Überlegungen der aktuellen Muster Versammlungsstätten-Verordnung und den darin beschriebenen Türmodulen von 1,2 m bzw. 0,6 m. Diesem Gedanken liegt die Schulterbreite eines durchschnittlichen Menschen zugrunde.

Durch die statistisch verteilte maximale Bewegungsgeschwindigkeit der Personen und dem oben beschriebenen Anpassungsmechanismus ist es nicht mehr nötig, im Rahmen einer Parameterstudie, unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten zu untersuchen.

G.3.1 Purser Verfahren

Kategorien zur Festlegung von Reaktionszeiten

Kategorie	Wachsamkeit	Vertrautheit	Dichte	Nutzungsart	Für diese Simulation gewählter Parameter:
A	Wach	Vertraut	Niedrig	Büro, Industrie	--
B	Wach	Unvertraut	Hoch	Handel, Gaststätten, Versammlungstätten	X
C(a)	Schlafend	Vertraut	Niedrig		--
C(b)	Betreut	Betreut	Niedrig		--
C(c)	Schlafend	Unvertraut	Niedrig		--
D	Med. betreut	Unvertraut	Niedrig		--
E	Transport	unvertraut	hoch		--

Alarmierungssystem

Kategorie	Alarmierungssystem	Für diese Simulation gewählter Parameter:
A1	Automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung der betroffenen Bereiche	X
A2	Automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung einer Zentrale und nachgeschalteter zeitverzögerter Alarmierung der betroffenen Bereiche	--
A3	Keine oder nur lokale Brandmeldung	--

Gebäudekomplexität

Kategorie	Gebäudekomplexität	Für diese Simulation gewählter Parameter:
B1	Einfache, überwiegend rechteckige Struktur, eingeschossig, nur wenige Räume bzw. Unterteilungen, einfacher Grundriss mit Ausgängen in Sichtlinie, kurze Wegstrecken, geeignete Vorkehrungen für direkt ins Freie führende Ausgänge (z.B. ein einfach strukturierter Supermarkt)	X
B2	Einfacher Grundriss mit mehreren Räumen (auch mehrgeschossig), Bauweise entspricht überwiegend präskriptiven Vorgaben (z.B. einfaches Bürogebäude)	--

B3	Großes komplexes Gebäude	--
-----------	--------------------------	----

Brandschutzmanagement

Kategorie	Brandschutzmanagement	Für diese Simulation gewählter Parameter:
M1	Personal bzw. ständige Gebäudenutzer sind in den Belangen des Brandschutzes gut ausgebildet. Es gibt Brandschutz Helfer, eine Gefahrenabwehr- und Notfallplanung sowie regelmäßige Schulungen und Räumungsübungen. In öffentlich zugänglichen Bereichen muss in Sicherheitsfragen geschultes Personal in relativ hoher Zahl vorhanden sein. Eine unabhängige Überprüfung und Bewertung des Sicherheitssystems und der zugehörigen Verfahrensweise ist notwendig. In öffentlich zugänglichen Bereichen ist ein Lautsprecher System vorzusehen.	--
M2	Wie M1, jedoch mit einem geringeren Anteil an geschultem Personal. Brandschutz Helfer und eine unabhängige Prüfung/Bewertung des Sicherheitssystems sind nicht erforderlich	X
M3	Brandschutzmanagement entsprechend dem erforderlichen Mindeststandard hinsichtlich der Personalsicherheit	--

Aus empirischen Daten (Räumungsübungen und reale Brandereignisse) gewonnene Reaktionszeiten Δt_1 (Startzeit) und Δt_{99} (zeitliche Spreizung der individuellen Reaktionszeit) sind für die Kategorien A bis C und die zugehörigen Unterkategorien zusammengestellt. In der Tabelle kommen nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen von Haupt- und Unterkategorie vor, da manche Kombinationen sich gegenseitig ausschließen. So ist beispielsweise ein Alarmierungssystem der Stufe A3 nicht verträglich mit einem Brandschutzmanagement der Stufen M1 oder M2. Für die Bestimmung der in Klammer gesetzten Zeitangaben der Tabelle stand nur Datenmaterial in vergleichsweise geringem Umfang zur Verfügung, so dass diese Daten mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind.

Szenarium (Haupt- und Unterkategorien)	Δt_1 [min]	Δt_{99} [min]	gewählt
Kategorie A: wach und vertraut			
M1 B1 - B2 A1 - A2	0,5	1	
M2 B1 - B2 A1 - A2	1	2	
M3 B1 - B2 A1 - A3	(> 15)	(> 15)	
B3: addiere 0,5 min zu Dt1 wegen schwierigerer Orientierung			
Kategorie B: wach und vertraut			
M1 B1 A1 – A2	0,5	2	

M2 B1 A1 – A2	1	3	X
M3 B1 A1 – A2	(> 15)	(> 15)	
B2: addiere 0,5 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung			
B3: addiere 1,0 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung			
Kategorie C(a): schlafend und vertraut			
M2 B1 A1	(5)	(5)	
M3 B1 A3	(10)	(> 20)	

Kategorie C(b): betreute Wohnanlagen			gewählt
M1 B2 A1 – A2	(10)	(20)	
M2 B2 A1 – A2	(15)	(25)	
M3 B2 A1 – A3	(> 20)	(> 20)	
Kategorie C(c): schlafend und unvertraut			
M1 B2 A1 – A2	(15)	(15)	
M2 B2 A1 – A2	(20)	(20)	
M3 B2 A1 – A3	(> 20)	(> 20)	
B3: addiere 1,0 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung			

Räumung des betrachteten Bereichs mit einer einheitlichen Pre-Movement Dauer

Auf den bezogenen Bereich ergibt sich nach Purser eine Verzögerungszeit für die Versammlungsstätte im EG und den Bürobereich an der Magistrale im 1. OG in einer Größenordnung von

3,0 Minuten (konservativer Ansatz)

bis alle Personen mit der Räumung begonnen haben. Dieser Wert ergibt sich aus dem Intervall zwischen Δt_1 und $\Delta t_1 + \Delta t_{99}$ und es wurde für die konservative Betrachtung ein relativ hoher Wert angesetzt.

Zur Ermittlung der Pre-Movement Dauer sind die markierten Zeilen herangezogen worden.

G.3.2 Verwendete Simulationssoftware - ASERI

ASERI ist ein Computerprogramm zur Simulation des Räumungsablaufes von Personen aus komplexen Gebäuden und Anlagen.

Der Aufbau von ASERI basiert auf drei Grundelementen:

1. Die Gebäude- bzw. Anlagengeometrie wird in allen für die Personenbewegung relevanten Details berücksichtigt. Auf Vereinfachungen, Abstraktionen, die durch den Einsatz eines Netzwerkmodells (Raumeinheiten werden als untereinander verbundene Knoten eines Netzwerks dargestellt) oder einer Rasterung (bei welcher das Gebäude in eine Anzahl von Zellen aufgeteilt wird, denen eine bestimmte Personendichte zugeordnet wird und die durch Übergangswahrscheinlichkeiten mit ihren Nachbarzellen verknüpft sind) zustande kommen, wird dabei verzichtet.
2. Die individuelle Bewegung einer jeden Person von ihrem Startpunkt bis zum Erreichen eines sicheren Bereiches (Ausgang oder vorgegebener Zufluchtsort innerhalb des Gebäudes) wird rechnerisch simuliert.

Die individuelle Bewegung einer jeden Person von ihrem Startpunkt bis zum Erreichen eines sicheren Bereiches (Ausgang oder vorgegebener Zufluchtsort innerhalb des Gebäudes) wird rechnerisch simuliert.

Jede Person wird dabei durch individuelle Merkmale charakterisiert. Dabei sind insbesondere diejenigen, welche die Mobilität betreffen von Bedeutung. Dazu zählen:

- die unbehinderte mittlere Fortbewegungsgeschwindigkeit;
- die Körpermaße;
- der aus den Körpermaßen resultierende individuelle Raumbedarf der Personen.

Neben den räumlichen Gegebenheiten wird die Fortbewegung wesentlich von der Gegenwart anderer Personen und der notwendigen Anpassung der individuellen Bewegung bestimmt. Darunter fallen folgende Bewegungen:

- ausweichen;
- überholen;
- aufschließen;
- warten.

Da der elementare Algorithmus zur Modellierung der individuellen Fortbewegung für sämtliche Personen in einem Zeitrahmen von jeweils 0,5 Sekunden Abstand zur Anwendung kommt, ergibt sich

eine hohe Übereinstimmung mit real beobachteten Bewegungsabläufen.

3. Das Verhalten einer einzelnen Person lässt sich grundsätzlich nicht deterministisch vorherbestimmen. Daher ist eine statistische Auswertung der rechnerischen Simulationsergebnisse notwendig. Das heißt, elementare Bewegungsabläufe, grundsätzliche Entscheidungen im Zusammenhang mit der Wahl eines Fluchtweges (insbesondere die Wahl des Fluchtweges im Falle von Fluchtwegalternativen) sowie ggf. die Anfangsverteilung der Personen innerhalb des Gebäudes werden durch Zufallselemente beeinflusst. Daher ist es nötig, für ein Szenarium mehrere Rechenläufe durchzuführen und diese anschließend statistisch zu analysieren; man spricht in diesem Fall von einer „Monte Carlo – Simulation“. Auf diese Weise lassen sich mittlere Räumungszeiten für das gesamte Gebäude (sowie einzelne Teilbereiche) nebst den Schwankungen um diese Mittelwerte angeben (ausgedrückt z. B. durch die Varianz bzw. Standardabweichung, die auf eine bestimmte Prozentzahl bezogenen Vertrauensintervalle oder die Spannweite der Resultate).

Das Anwendungsspektrum des Programms ASERI reicht von Wohnungsgeometrien bis hin zur Räumung von Hochhäusern oder Sportstadien und Messehallen mit mehreren tausend Personen. ASERI kann sowohl die Bewegung innerhalb eng umgrenzter Bereiche und festgelegter Rettungswege als auch innerhalb ausgedehnter, weitläufiger Areale beschreiben.

G.3.3 Validierung - ASERI

Validiert wurde das Modell u. a. durch die enge Zusammenarbeit mit der Abteilung Sicherheit und Zuverlässigkeit der SINTEF (Stiftelsen for industriell og teknisk forskning) in Trondheim, Norwegen und dem Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt in Heyrothsberge, die beide umfangreiches empirisches Material bereitstellten. Darunter befinden sich auch Daten aus Räumungsexperimenten und Räumungsübungen, die eigens zum Zweck der Modellvalidierung durchgeführt wurden.

Zusätzlich wurden von unabhängigen internationalen Institutionen Vergleichsrechnungen anhand verschiedener Simulationsmodelle durchgeführt. Am Beispiel der Räumungsübung des Theaters von Tempere in Finnland wurden sowohl Handrechnungen als auch mehrere auf verschiedenen Räumungsmodellen beruhende Simulationen durchgeführt. Hierbei wurde festgestellt, dass alle Berechnungen in einer Bandbreite von ca. 5 % (30 s) um die ermittelte Räumungszeit der Räumungsübung lagen. Veröffentlicht wurden die Ergebnisse zum Beispiel in Interflam 1996, S. 711.

Im Rahmen des VFDB-Leitfadens „Ingenieurmethoden im Brandschutz“ wird das Simulationsprogramm ASERI als validiertes Simulationsprogramm für die Räumung von Gebäuden benannt.