

STUVAtec
Studiengesellschaft für
Tunnel und Verkehrs-
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41
50827 Köln

2016179-HHAP-051

Anhang 1

U5 Ost – Hamburg

Haltestelle City Nord

Entrauchungsberechnung

Auftraggeber: ZPP Ingenieure AG
Kleine Reichenstraße 1
20457 Hamburg

Auftragnehmer: STUVAtec GmbH
Mathias-Brüggen-Straße 41
50827 Köln

Inhaltsverzeichnis

1	Brandszenario.....	3
2	Schutzziele	3
3	Brandsimulation	6
3.1	Berechnungsverfahren	6
3.2	Bemessungsbrand.....	6
3.3	Sonstige Festlegungen	8
4	Ergebnisse der Simulationsberechnung	9
4.1	Allgemeines	9
4.2	Simulationsergebnisse.....	10
5	Zusammenfassende Beurteilung	12
	Verwendete Unterlagen	13

1 Brandszenario

Für die Brandsimulation wird gemäß TRStrab Brandschutz [1] von folgendem Szenario ausgegangen:

Ein vollbesetzter Langzug, bestehend aus drei Zügeinheiten (Gesamtlänge ca. 120 m) dessen hintere Fahrzeugeinheit brennt (Bild 1), fährt von Süden kommend in die Haltestelle City Nord ein. Dieser Brandort wird übereinstimmend mit der Forderung der Feuerwehr [2] gewählt, da hier eine frühzeitige Verrauchung der nahegelegenen Treppen eintreten kann.

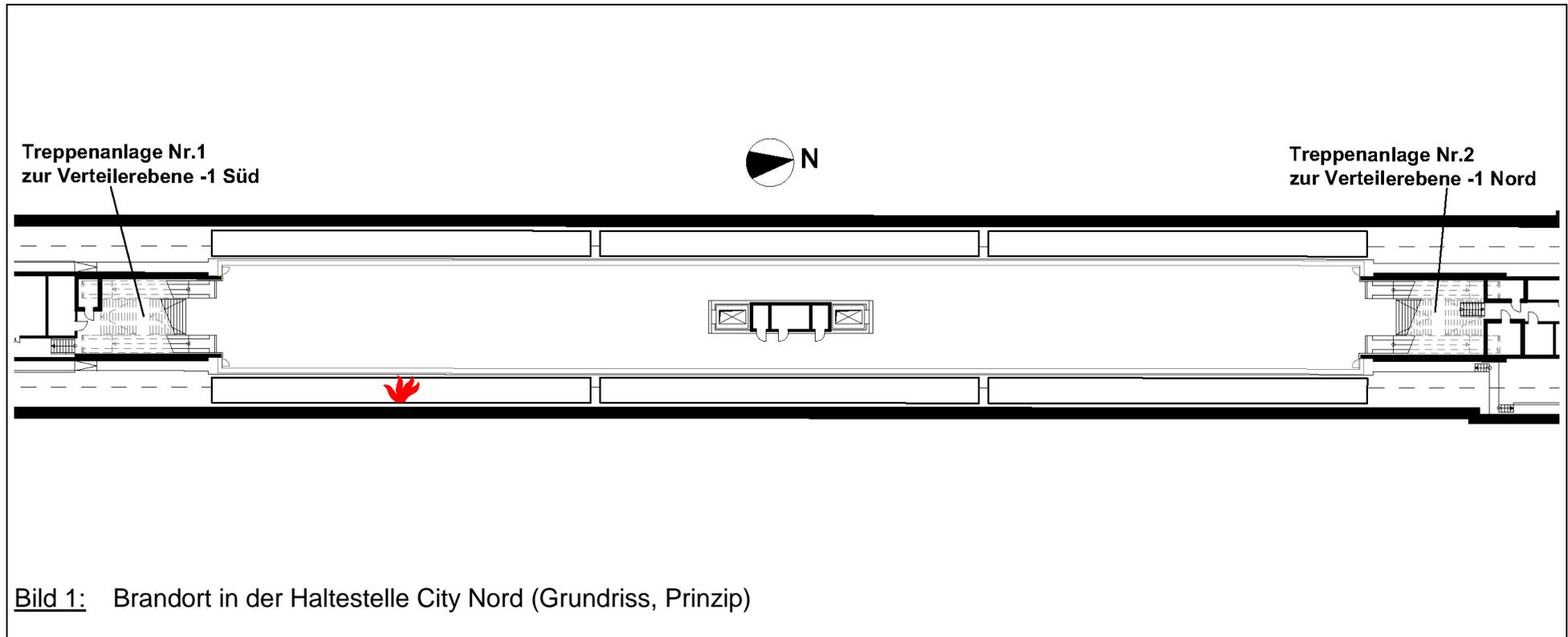
Es wird davon ausgegangen, dass die Personen ca. 3,7 Minuten nach Brandbeginn mit der Flucht aus der Haltestelle ins Freie beginnen. Diese Vorlaufzeit setzt sich gemäß TRStrab Brandschutz [1] zusammen aus der Restfahrzeit bis zur Haltestelle (ca. 1,7 Minuten [3]) und der Reaktionszeit der Fahrgäste (1 Minute Fahrgastinformation und -anweisung sowie 1 Minute Fahrgastreaktion).

Ferner wird der Bahnbetrieb in den an die Haltestelle angrenzenden Tunnelanlagen so geregelt, dass keine weiteren Zufahrten mehr zur Haltestelle erfolgen [10]. Es wird jedoch ungünstig angenommen, dass bereits ein nicht brennender Langzug auf dem Gegengleis (Westgleis) steht (Bild 1).

2 Schutzziele

Oberstes Schutzziel ist die Rettung der Personen aus der Haltestelle, bevor diese verraucht. Deshalb dürfen die Bahnsteige und die Flucht- und Rettungswege für die Dauer der Räumungszeit nicht verrauchen. Die Rettung der Personen wird in eine Selbst- und Fremdrettungsphase unterteilt.

Es wird gemäß TRStrab Brandschutz [1] angestrebt, dass mindestens für die Dauer der Selbstrettungsphase eine im Mittel ca. 2,5 m dicke raucharme Schicht über der Bahnsteigebene erhalten bleibt. Dieses Maß gilt auch für Treppenanlagen und sich anschließende Fluchtwegabschnitte. Für die Dauer der sich anschließenden Fremdrettungsphase muss bis zur 30. Minute nach Brandbeginn mindestens eine ca. 1,5 m dicke raucharme Schicht vorhanden sein. In der raucharmen Schicht muss unter anderem eine ausreichende Sicht möglich sein. Durch diese Forderungen soll Folgendes sichergestellt werden:



- (1) Personen können während der Selbstrettungsphase bei ausreichender Sicht unbehindert fliehen.
- (2) Die Feuerwehr kann während der Fremdrettungsphase die Situation erkunden sowie rettungstechnisch zu betreuende Personen auffinden und retten.
- (3) Es werden Arbeitsbedingungen geschaffen, die es der Feuerwehr ermöglichen, einen wirksamen Rettungsangriff zu starten.

Eine ausreichende Sicht in der raucharmen Schicht ist gegeben, wenn reflektierende Rettungszeichen bei einer Umgebungsbeleuchtung von ca. 40 lx aus mindestens 10 m Entfernung erkannt werden können. Die optische Dichte pro Weglänge in der raucharmen Schicht darf dann nicht mehr als ca. $0,13 \text{ m}^{-1}$ betragen. Wenn dieser Grenzwert der optischen Dichte pro Weglänge nicht überschritten wird, dann lassen diese Expositionsbedingungen auch hinsichtlich der toxischen Wirkung der Rauchgase kein relevant erhöhtes Risiko erwarten [4].

Die Zeitspanne nach Brandbeginn bis zum Erreichen des genannten Grenzwertes der optischen Dichte pro Weglänge wird im Folgenden Verrauchungszeit genannt. Die Räumungszeit muss stets kürzer als die Verrauchungszeit sein, damit Personen sich aus der Haltestelle noch rechtzeitig selbst retten bzw. Personen durch die Feuerwehr gerettet werden können.

Aus der Räumungsberechnung ergibt sich (Anhang 2 zum BSK):

- (1) Bemessungszeit BZ1:

Die Personen erreichen temporär sichere Bereiche (hinter den Treppeneinhäusungen) ca. 9 Minuten nach Brandbeginn.

- (2) Bemessungszeit BZ2:

Alle Personen haben das Freie ca. 11 Minuten nach Brandbeginn erreicht.

- (3) Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen:

$BZ2 + 1 \text{ min} = 12 \text{ Minuten}$

Die gewählten zulässigen Grenzwerte zur Beurteilung des Simulationsergebnisses sind Tabelle 1 direkt zu entnehmen.

lfd. Nr.	Parameter	Gewählte Grenzwerte	
		für die Räumung bis ins Freie in der Selbstrettungsphase bis zur 9. Minute nach Brandbeginn	für die Dauer der Fremdrettungsphase mindestens bis zur 30. Minute nach Brandbeginn
1	Raucharme Schichtdicke	2,5 m	1,5 m
2	Temperatur	50° C ¹⁾	
3	optische Dichte pro Weglänge	0,13 m ⁻¹	
4	Mindest-Sichtweite ²⁾	10 m	

¹⁾ Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. [9]

²⁾ Umgebungsbeleuchtung mindestens 40 lx

Tabelle 1: Gewählte Grenzwerte zur Beurteilung der Simulationsergebnisse

3 Brandsimulation

3.1 Berechnungsverfahren

Zur Ermittlung der Verrauchung der Haltestelle wird das CFD-Programm KOBRA-3D (Feldmodell) eingesetzt.

3.2 Bemessungsbrand

Die geplante Strecke der U5 soll mit vollautomatischen Fahrzeugen der Klasse GoA4 (Grade of Automation – Automatisierungsgrad), das heißt ohne Fahrpersonal, betrieben werden. Die hierfür geplanten Fahrzeuge des Typs DT6A befinden sich noch nicht im Besitz der HOCHBAHN, sondern müssen zunächst noch ausgeschrieben und entwickelt werden. Demnach liegt für den Fahrzeugtyp DT6A noch kein konkreter Bemessungsbrand vor.

Unter der Voraussetzung, dass dieser noch zu entwickelnde Fahrzeugtyp gemäß den dann aktuellen Brandschutzanforderungen mindestens die brandschutztechnischen Eigenschaften des derzeit modernsten Fahrzeugtyps DT5 [5, 6] der HOCHBAHN aufweisen wird, wird der Bemessungsbrand des DT5 für die brandschutztechnische Dimensionierung der Haltestellen U5 Ost zugrunde gelegt. Die Neubaustrecke U5 wird im Regelbetrieb mit dem neuen Fahrzeugtyp DT6A befahren werden [5].

Der Bemessungsbrand des Fahrzeugtyps DT5 weist eine maximale Energiefreisetzungsrate von ca. 100 kW auf (Bild 2). Die verwendeten Simulationsparameter können Tabelle 2 direkt entnommen werden.

Parameter	Eingabedaten für die Simulationsberechnung
Effektive Verbrennungswärme [kJ / kg] ¹⁾	16.100
Rauchpotential [m ² /g] ¹⁾	0,22
Rauchausbeute [g / g] ¹⁾	0,058
Energiefreisetzungsrate [MW]	max. 100 kW

¹⁾ Bezugsgröße ist jeweils die verbrannte Masse

Tabelle 2: Wichtige Parameter für die Brandsimulation [6]

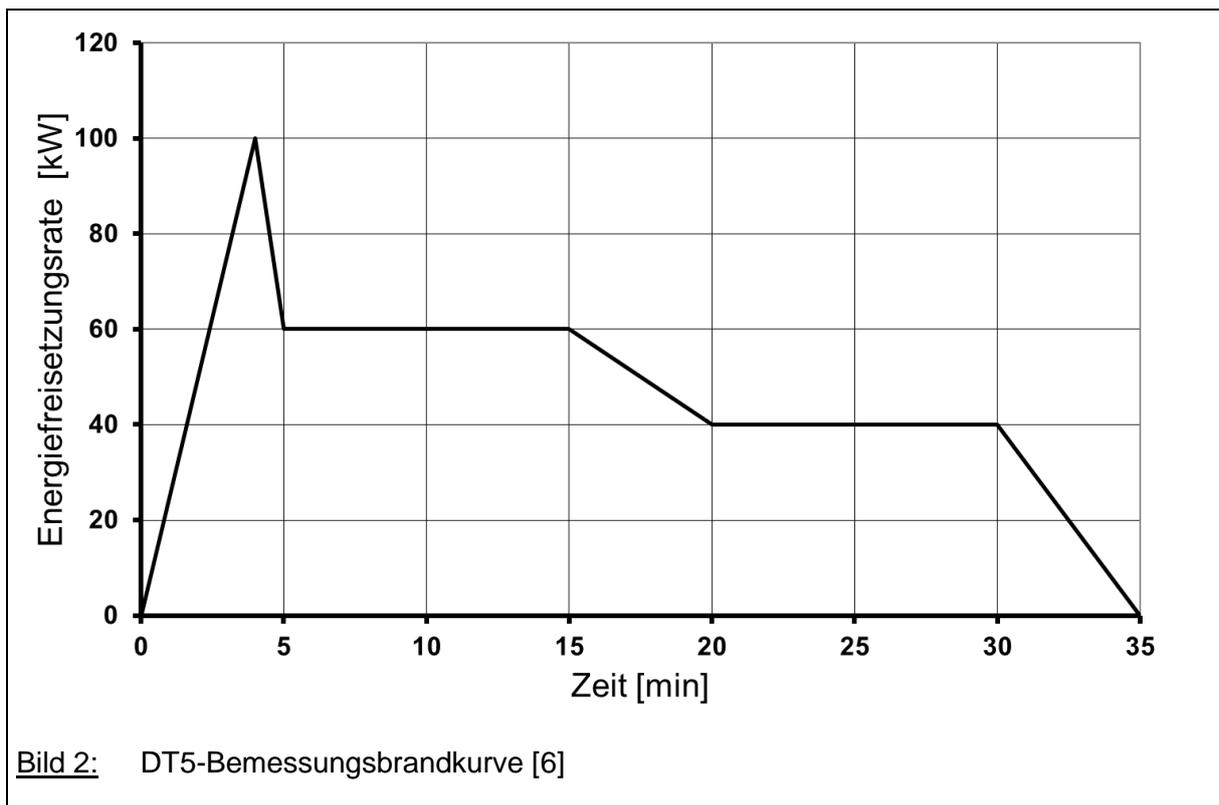


Bild 2: DT5-Bemessungsbrandkurve [6]

3.3 Sonstige Festlegungen

Folgende wichtige Festlegungen werden für die Brandsimulation getroffen:

(1) Fahrzeugmodell

Es steht sowohl auf dem Westgleis als auch auf dem Ostgleis je ein Modell des DT5-Langzugs (Bild 1). Jedes DT5-Langzugmodell besteht aus 3 Fahrzeugeinheiten je ca. 40 m Länge. Die Fahrzeugeinheiten haben untereinander einen Abstand von ca. 1 m, so dass die Gesamtlänge eines Langzugmodells ca. 122 m beträgt ($3 \times 40 \text{ m} + 2 \times 1 \text{ m}$).

Es werden folgende Festlegungen für das brennende Fahrzeugmodell getroffen:

- a) Der Brand entwickelt sich in den ersten 1,7 Minuten nach Brandbeginn (Restfahrzeit) bei geschlossenen Türen und Fenstern.
- b) 1,7 Minuten nach Brandbeginn (Halt des Zuges in der Haltestelle) werden auf der Ausstiegseite der Fahrzeuglängsseite (Mittelbahnsteig) die sechs Türen des Brandwagens geöffnet.
- c) Ein Feuerübersprung auf andere Fahrzeugeinheiten findet nicht statt.

(2) Abströmen der Brandgase in die benachbarten Streckentunnel

Es können Brandgase aus der Haltestelle in die sich anschließenden Streckentunnel abströmen.

(3) Luftströmungen

Externe Luftströmungen durch z. B. Fahrzeugbewegungen werden in der Simulation nicht berücksichtigt, da diese Luftströmungen nach Einstellung des Fahrbetriebes sehr schnell abklingen. Die durch den Brand verursachten Luftströmungen werden jedoch simuliert.

(4) Verrauchungsschutz

Damit die an den beiden Enden des Mittelbahnsteigs gelegenen Treppenanlagen und die sich daran anschließenden Verteilerebenen vor einer Verrauchung geschützt werden ist geplant, oberhalb der Treppenfußpunkte feste Rauchschürzen mit einer lichten Durchgangshöhe von 2,3 m anzuordnen. Die Treppenwangen bestehen aus geschlossenen Betonwänden. Weitere öffentliche Verbindungen zu den Verteilerebenen bestehen nicht.

(5) Lüftungskonzept

Die Bahnsteigebene steht lüftungstechnisch mit den beiden angrenzenden Streckentunneln und dem Freien an der Geländeoberkante über die Treppenanlagen und Verteilerebenen durchgängig in Verbindung. Besonderen Entrauchungsöffnungen, über die Brandgase planmäßig ins Freie abgeleitet werden, sind nicht geplant. Als Rauchspeichervolumen dient der Deckenraum oberhalb der Bahnsteigebene.

(6) Temperatur

Zu Beginn der Simulation beträgt die Lufttemperatur 18 °C.

(7) Im Simulationsprogramm abgebildeter Haltestellenbereich

In der Simulation wird nur der strömungstechnisch relevante Bereich der Haltestelle auf der Grundlage von [8] abgebildet. Dieser umfasst die Bahnsteigebene, die Verteilerebenen und die Treppenanlagen bis ins Freie. Bereiche, die durch die Abschottung strömungstechnisch für den Brand nicht relevant sind (z. B. Betriebsraumbereiche), werden nicht abgebildet. Ferner werden die Bahnsteigtüranlagen, welche keine Rauchschutzfunktion haben sowie die an die Haltestelle angrenzenden Streckentunnel mit einer Länge von mindestens je ca. 20 m dargestellt.

4 Ergebnisse der Simulationsberechnung

4.1 Allgemeines

Die nachfolgende Bewertung der Simulationsergebnisse wird stets ohne Hinzuziehung des Bereiches in der Nähe der brennenden Zügeinheit durchgeführt, da davon ausgegangen wird, dass Personen aus diesem Bereich rechtzeitig fliehen. Ferner können generell die gewählten Grenzwerte (Tabelle 1) im brandnahen Bereich aufgrund der auftretenden Verrauchung bei einem Fahrzeugbrand nicht eingehalten werden.

Die Verrauchungssituation für den untersuchten Brandort (Bild 1) wird wie folgt ausgewertet:

(1) Bemessungszeit BZ1

9 Minuten nach Brandbeginn in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigebene (alle Personen befinden sich in einem temporär sicheren Bereich hinter den Treppeneinhausungen oder bereits im Freien).

(2) Wirkungszeit

11 Minuten nach Brandbeginn haben alle Personen das Freie erreicht (BZ2). Die TRStrab Brandschutz fordert, dass die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen 10 % länger sein muss als die Bemessungszeit (mindestens jedoch 1 Minute länger als die Bemessungszeit). Es wird daher im vorliegenden Fall nach 12 Minuten (BZ2 + 1 Minute) die Situation 2,5 m über dem Boden der Verteilerebenen betrachtet.

(3) Fremdrettungsphase

An die Selbstrettungsphase schließt sich die Fremdrettungsphase an. Die Fremdrettungsphase dauert bis zur 30. Minute nach Brandbeginn. Für die Dauer der Fremdrettungsphase muss eine raucharme Schicht mit einer Mindestdicke von im Mittel 1,5 m über der Bahnsteigebene eingehalten werden. Dementsprechend werden die Verhältnisse zum Ende der Fremdrettungsphase in einer Höhe von 1,5 m über der Bahnsteigebene analysiert.

4.2 Simulationsergebnisse

4.2.1 Selbstrettungsphase

Die Brandsimulationsergebnisse werden nachfolgend für eine Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigebene in der 8. Minute nach Brandbeginn (alle Personen haben temporär sichere Bereiche erreicht) betrachtet, um nachzuweisen, dass die Grenzwerte in der raucharmen Schicht auf der Bahnsteigebene so lange eingehalten werden, bis die letzte Person die Bahnsteigebene verlassen hat (Bilder 3 bis 6). Ferner wird zum Abschluss der Wirkungszeit die Situation 2,5 m über der Verteilerebene betrachtet (Bilder 7 und 8). Die Auswertung ergibt Folgendes:

(1) Bemessungszeit BZ1

a) Optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite)

Die optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite) beträgt 9 Minuten nach Brandbeginn in der ca. 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene

weniger als ca. $0,1 \text{ m}^{-1}$. Der gewählte Grenzwert von $0,13 \text{ m}^{-1}$ wird demnach in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene größtenteils unterschritten. Personen können sich auf der Bahnsteigebene der Haltestelle gut orientieren (Bild 3)

Der Brandort liegt in unmittelbarer Nähe zur südlichen Treppenanlage. Die festen Rauchschränke werden nicht unterströmt und in einer Höhe von ca. 2,35 über der Bahnsteigebene zeigt sich bereits eine deutlich geringere Ver- rauchung (Bild 4).

Ferner kann festgestellt werden, dass – analog zur Forderung der Feuerwehr [2] – der Grenzwert der optischen Dichte großflächig und daher auch im Be- reich der dem Brandort gegenüberliegenden Treppenanlage auch 15 Minuten nach Brandbeginn unterschritten wird (Bild 5). Etwa 15 Minuten nach Brand- beginn haben alle 2.488 Personen den Bahnsteig verlassen, wenn ungünstig angenommen wird, dass alle Personen ausschließlich die nördliche Treppen- anlage nutzen und niemand über die südliche Treppenanlage ins Freie flieht.

b) Temperatur

Die Temperatur liegt 9 Minuten nach Brandbeginn in der 2,5 m dicken rauch- armen Schicht über der Bahnsteigebene deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes von $\max T = 50 \text{ °C}$ (Bild 6). Eine Personengefährdung in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene durch eine zu große thermische Belastung ist damit nicht gegeben.

(2) Wirkungszeit

a) Optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite)

Die optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite) beträgt 12 Minuten nach Brandbeginn 2,5 m über dem Boden der Verteilerebene weniger als $0,1 \text{ m}^{-1}$. Es dringen keine Brandgase von der Bahnsteigebene in die Verteilerebenen und die fliehenden Personen können sich auf den Verteilerebenen gut orien- tieren (Bild 7).

b) Temperatur

Die Temperatur liegt 12 Minuten nach Brandbeginn in der 2,5 m dicken rauch- armen Schicht über den Verteilerebenen deutlich unterhalb des Grenzwertes von 50 °C (Bild 8). Deshalb ist eine Personengefährdung infolge zu hoher thermischer Belastungen nicht gegeben.

4.2.2 Fremdrettungsphase

Die Brandsimulationsergebnisse werden nachfolgend in einer Höhe von ca. 1,5 m über der Bahnsteigebene für die 30. Minute nach Brandbeginn zusammengefasst (Bilder 9 und 10):

(1) Optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite)

Die optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite) ist 30 Minuten nach Brandbeginn in der ca. 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene in großen Bereichen kleiner als ca. $0,1 \text{ m}^{-1}$ (Bild 9). Eine ausreichende Orientierung der Rettungskräfte ist dadurch möglich. Ferner werden die Anforderungen hinsichtlich der Sichtweite nach [7] eingehalten, da es die vorliegende Situation erlaubt, jeweils die Bahnsteigbreite einzusehen, wenn entlang des Bahnsteigs gelaufen wird.

(2) Temperatur

Die Temperatur liegt 30 Minuten nach Brandbeginn in der ca. 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes $\max T = 50 \text{ °C}$ (Bild 10). Eine Personengefährdung in der 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene durch zu hohe thermische Belastungen ist deshalb nicht gegeben.

5 Zusammenfassende Beurteilung

Unter Beachtung der getroffenen Annahmen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass bei einem Fahrzeugbrand mit dem DT5-Bemessungsbrand die gewählten Schutzziele für die Selbst- und Fremdrettungsphase mit den beschriebenen brandschutztechnischen Einrichtungen in der Haltestelle City Nord erreicht werden. Aufgrund des vergleichsweise niedrigenergetischen Bemessungsbrandes in Verbindung mit dem großen Rauchspeichervolumen des Bahnsteigbereichs kann im vorliegenden Fall auf spezielle Öffnungen zur Rauchableitung ins Freie verzichtet werden.

Verwendete Unterlagen

- [1] Technische Regeln für Straßenbahnen, Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen (TRStrab Brandschutz), Ausgabe: 24. Juni 2014
- [2] U5 Ost – Hamburg: Schreiben der Feuerwehr Hamburg an die HOCHBAHN vom 21. März 2018 mit Angaben zum Brandszenario
- [3] U5 Ost – Hamburg: Angaben der IVE GmbH bezüglich der Fahrzeiten zwischen den Haltestellen, 28. März 2018
- [4] Bemessungsbrände für S-Bahnen und den Gemischten Reisezugverkehr - Anwenderhandbuch, STUVAtec, Juni 2010
- [5] U5 Ost – Hamburg: Protokoll der HOCHBAHN-internen Besprechung am 10. Januar 2018, Stand 19. Januar 2018
- [6] Abschlusspräsentation Ermittlung eines individuellen Bemessungsbrandes, Fahrzeugtyp DT5 – Hamburger HOCHBAHN AG, Brandschutz Consult Leipzig, 01. Juni 2016
- [7] Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren (AGBF) und des Deutschen Feuerwehrverbandes: Sichtweiten in unterirdischen Bahnstationen während der Fremdrettung, 2016-02, 22. November 2016
- [8] U5 Ost – Hamburg: Planunterlagen von ZPP, Haltestelle City Nord (CN), Stand 18. Januar 2018
 - (1) Lageplan Grundriss Bahnsteige Ebene,
Plannummer: 1P(-)225/0110
 - (2) Lageplan Grundriss Schalterhallenebene
Plannummer: 1P(-)225/0111
 - (3) Lageplan Grundriss Oberfläche,
Plannummer: 1P(-)225/0112
 - (4) Längsschnitt LS1,
Plannummer: 1P(-)225/0113
 - (5) Querschnitte QS 1 und QS 2,
Plannummer: 1P(-)225/0114
 - (6) Querschnitte QS3,
Plannummer: 1P(-)225/0115

- [9] vfdb-Leitfaden: Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Herausgeber D. Hosser, November 2013
- [10] Generalplanung Automatisierung U5: Betriebskonzept, Betriebliche Anforderungen, Hochbahn – TelSys, Version 3.0, Stand 24. Juli 2018

