

STUVAtec  
Studiengesellschaft für  
Tunnel und Verkehrs-  
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41  
50827 Köln

## **Anlage 17.2.1 D**

### **Anhang 1**

#### **2. S-Bahn-Stammstrecke München**

##### **Entrauchungsberechnung für die uPva MHBP**

Auftraggeber: DB Netz AG  
Arnulfstraße 27  
80335 München

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 .....	7
4	Ergebnisse der Simulationsberechnung .....	10
4.1	Allgemeines .....	10
4.2	Simulationsergebnisse.....	11
5	Zusammenfassende Beurteilung .....	13
	Verwendete Unterlagen .....	14

## 1 Brandszenario

Für die Brandsimulation wird von folgendem Szenario ausgegangen:

Ein vollbesetzter S-Bahn-Langzug, bestehend aus drei Zügeinheiten mit je vier Wagen, fährt von Westen kommend in die uPva MHBP ein. Seine vordere Fahrzeugeinheit brennt im Bereich des vorderen Wagens (Bild 1). Dieser Brandort wird gewählt, da hier eine frühzeitige Verrauchung der nahegelegenen Treppen eintreten kann.

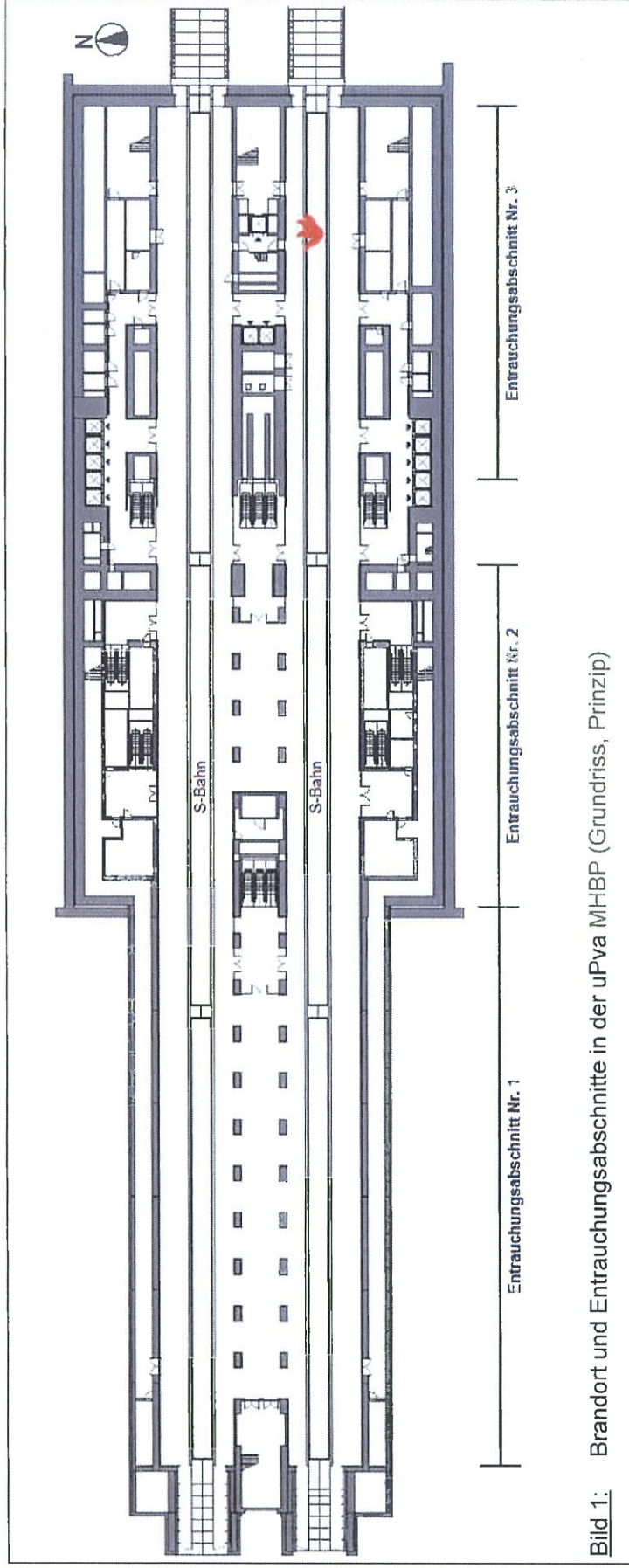
Die Entrauchungsanlage sowie die sicherheitstechnischen Anlagen werden ca. 4 Minuten nach Brandbeginn aktiviert. Diese Vorlaufzeit setzt sich aus der Restfahrzeit bis zur uPva (3 Minuten [5]) und der Detektionszeit der Brandmeldeanlage sowie der Auslösungszeit des Brandalarms durch die Brandmeldezentrale zusammen.

Ferner wird der Bahnbetrieb in den an die uPva angrenzenden Tunnelanlagen geregelt so eingestellt, dass keine weiteren Zufahrten mehr zur uPva erfolgen. Es wird jedoch ungünstig angenommen, dass bereits ein nicht brennender S-Bahn-Langzug auf dem Gegengleis (Nordgleis) steht (Bild 1).

## 2 Schutzziele

Oberstes Schutzziel ist die Rettung der Personen aus der uPva, 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 Fremdretrungsphase unterteilt.

Es wird angestrebt, dass mindestens für die Dauer der Selbstrettungsphase eine im Mittel ca. 2,5 m dicke raucharme Schicht über der Bahnsteigebene erhalten bleibt. Aufgrund der großen Tieflage der uPva (ca. 40 m) wird davon ausgegangen, dass die Feuerwehr ca. 20 Minuten nach Brandbeginn den Brandort erreicht und somit die Fremdretrungsphase erst 35 Minuten nach Alarmierung abgeschlossen ist. Für die Dauer der Fremdretrungsphase muss 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:



**Bild 1:** Brandort und Entrauchungsabschnitte in der uPva MHBP (Grundriss, Prinzip)

- (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 [1].

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 uPva noch rechtzeitig selbst retten bzw. Personen durch die Feuerwehr gerettet werden können.

Aus der Räumungsberechnung (Anhang 2) ergibt sich:

- (1) Die letzten Personen erreichen temporär raucharme Bereiche (hinter den Brandschutztüren) ca. 10 Minuten nach Brandbeginn.
- (2) Alle Personen haben das Freie ca. 21 Minuten nach Brandbeginn erreicht.

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

Ifd. Nr.	Parameter	Gewählte Grenzwerte	
		für die Räumung bis in temporär raucharme Bereiche 10. Minute nach Brandbeginn	für die Dauer der Fremdrettungsphase mindestens bis zur 35. Minute nach Brandbeginn
1	Raucharme Schichtdicke	2,5 m	1,5 m
2	Temperatur	50° C <sup>1)</sup>	
3	optische Dichte pro Weglänge	0,13 m <sup>-1</sup>	
4	Mindest-Sichtweite <sup>2)</sup>	10 m	

<sup>1)</sup> Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. [3]

<sup>2)</sup> Umgebungsbeleuchtung mindestens 40 lx

Tabelle 1: Gewählte Grenzwerte zur Beurteilung der Simulationsergebnisse

### 3 Brandsimulation

#### 3.1 Berechnungsverfahren

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

#### 3.2 Bemessungsbrand

Für die Brandsimulation wurde der S-Bahn-Bemessungsbrand herangezogen [1]. Dieser Bemessungsbrand hat insbesondere für alle S-Bahnen Gültigkeit, die der Baureihe ET423 entsprechen, nach DIN 5510 [4] gebaut und zugelassen sind und keinen offenen Fahrgastraum von mehr als 70 m Länge aufweisen [1]. Der Bemessungsbrand ist durch eine geringe Energiefreisetzungsrate in den ersten ca. 15 Minuten nach Brandbeginn gekennzeichnet. Anschließend steigt die Energiefreisetzungsrate jedoch sehr schnell und erreicht ein Maximum von 55 MW 30 Minuten nach Brandbeginn (Bild 2). Die verwendeten Simulationsparameter sind der Tabelle 2 direkt zu entnehmen. Bei dem Bemessungsbrand wird auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen, dass kein Löschangriff von z. B. der Feuerwehr erfolgt [1].

Parameter	Eingabe-Daten für die Simulationsberechnung
Effektive Verbrennungswärme [kJ / kg] <sup>1)</sup>	15.000
Rauchpotential [m <sup>2</sup> /g] <sup>1)</sup>	0,33
Rauchausbeute [g / g] <sup>1)</sup>	0,1
Energiefreisetzungsrate 35 Min. nach Brandbeginn ca. [MW]	55

<sup>1)</sup> Bezugsgröße ist jeweils die verbrannte Masse

Tabelle 2: Wichtige Parameter für die Brandsimulation [1]

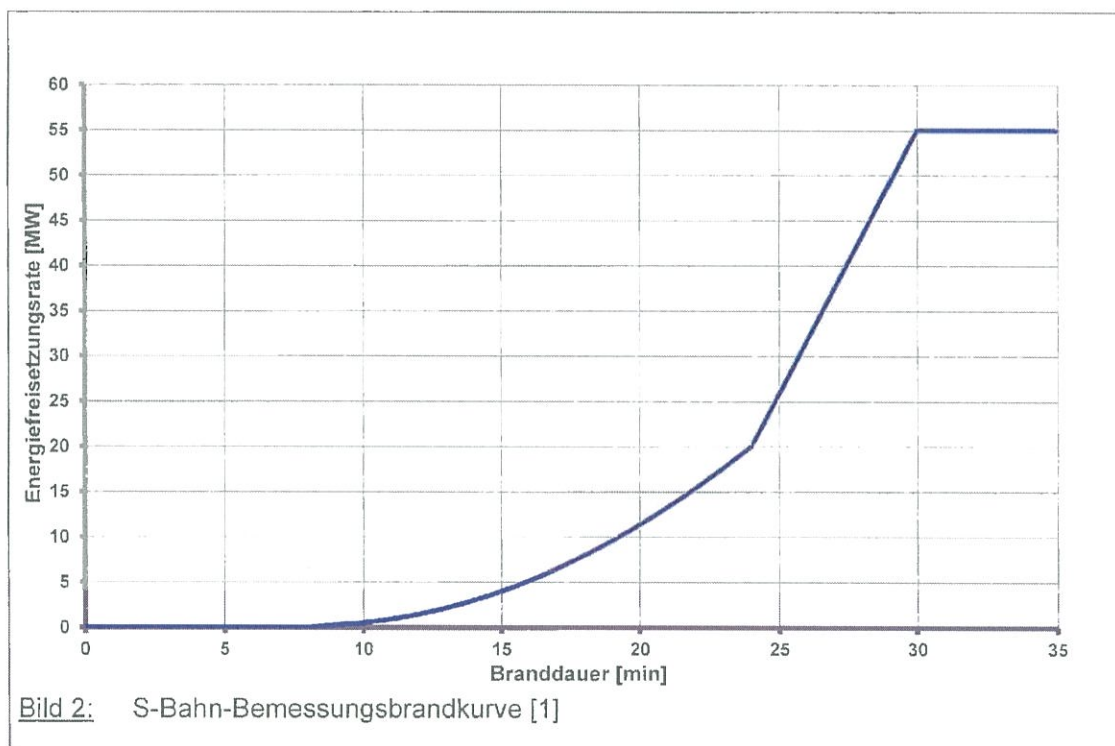


Bild 2: S-Bahn-Bemessungsbrandkurve [1]

### 3.3 Sonstige Festlegungen

Folgende wichtige Festlegungen für die Brandsimulation werden getroffen:

#### (1) Fahrzeugmodell

Es steht sowohl auf dem Nordgleis als auch auf dem Südggleis je ein Modell des S-Bahn-Langzugs (Bild 1). Jedes S-Bahn-Langzugmodell besteht aus 3 Fahrzeugeinheiten je ca. 67,4 m Länge. Die Fahrzeugeinheiten haben untereinander einen Abstand von ca. 1 m, so dass die Gesamtlänge eines Langzugmodells ca. 204 m beträgt (3 x 67,4 m + 2 x 1 m).

Es werden folgende Festlegungen für das brennende Fahrzeugmodell getroffen:

- a) Der Brand entwickelt sich in den ersten 3 Minuten nach Brandbeginn (Restfahrzeit) bei geschlossenen Türen und Fenstern.
  - b) 3 Minuten nach Brandbeginn (Halt des Zuges in der uPva) wird auf der Ausstiegseite der Fahrzeuglängsseite (Außenbahnsteig Süd) jeweils die mittlere Tür von jedem der vier Wagen geöffnet. Obwohl bei dieser uPva planmäßig die Türen an beiden Seiten geöffnet werden (Spanische Lösung) bleiben die restlichen Türen gemäß [1] geschlossen. Es werden die Türen zum Außenbahnsteig hin geöffnet, da auf dieser Seite aufgrund der geringen Bahnsteigbreite eine frühere Verrauchung zu erwarten ist.
  - c) Die Fenster versagen nach dem in [1] festgelegten Zeitplan. Danach bersten die ersten Fenster 24 Minuten nach Brandbeginn.
  - d) Ein Feuerübersprung auf andere Fahrzeugeinheiten findet nicht statt.
- (2) Abströmen der Brandgase in die benachbarten Streckentunnel

Es können Brandgase aus der uPva 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 und deshalb im Vergleich zu den brand- und lüftungsinduzierten Luftströmungen (maschinelle Rauchabzugsanlage) vernachlässigbar sind. Die durch den Brand und die Entrauchungsanlage verursachten Luftströmungen werden jedoch simuliert.

(4) Verrauchungsschutz

Es werden folgende Maßnahmen getroffen, um den Verrauchungsschutz der Treppenanlagen zu erhöhen:

a) Treppenwangen im Zentralen Aufgang

Die gleisseitigen Treppenwangen des Zentralen Aufgangs werden mit einer Brandschutzverglasung und Betonwänden komplett geschlossen (Bild 1).

b) Zugangstüren

Die Zugänge der Fluchtstollen und -treppenräume sowie zum Zentralen Aufgang werden durch rauchdichte und feuerhemmende Brandschutztüren (T30 RS) geschützt.



Die Türen werden in der Simulation als offenstehend berücksichtigt, bis alle Personen temporär raucharme Bereiche hinter den Brandschutztüren erreicht haben (10. Minute nach Brandbeginn) und anschließend geschlossen.

(5) Lüftungskonzept

Über jedem der beiden Gleise ist im Deckenbereich mit Ausnahme des Bereichs „Zentraler Ausgang“ ein Entrauchungskanal angeordnet (Bild 1). Die beiden Entrauchungskanäle sind in je 3 voneinander unabhängige, unterschiedlich lange Entrauchungsabschnitte unterteilt. Im Bereich des „Zentralen Ausgangs“ ist die Decke über den Gleisen in Form einer Rauchabzugshaube ausgebildet, an deren höchstem Punkt die Brandgase über eine Öffnung abgesaugt werden (Bilder 3 und 4). Die Entrauchungsabschnitte sind wie folgt unterteilt (Bild 1) [6]:

- a) Entrauchungsabschnitt Nr. 1: ca. 86 m
- b) Entrauchungsabschnitt Nr. 2: ca. 61 m
- c) Entrauchungsabschnitt Nr. 3: ca. 43 m

Im Brandfall werden nur zwei benachbarte, brandnahe Entrauchungsabschnitte eines Gleises aktiviert. Die restlichen Entrauchungsabschnitte werden nicht für die Entrauchung herangezogen. Die maximale Rauchabzugsmenge verteilt sich wie folgt [6]:

- a) Entrauchungsabschnitt Nr. 1: 120 m<sup>3</sup>/s
- b) Entrauchungsabschnitt Nr. 2: 120 m<sup>3</sup>/s
- c) Entrauchungsabschnitt Nr. 3: 75 m<sup>3</sup>/s

Die Brandgase werden maschinell über Rauchabzugsschächte ins Freie geleitet.

In der Simulation werden die Brandgase aus zwei benachbarten Entrauchungsabschnitten gleichmäßig aus dem Deckenbereich abgesaugt. Da der Brandort im Osten des südlichen Gleises liegt, werden in der Simulation über dem südlichen Gleis der mittlere Entrauchungsabschnitt und der danebenliegende östliche Entrauchungsabschnitt (Nr. 2 und Nr. 3 im Bild 1) aktiviert. Die Entrauchungsanlage erreicht ihre maximale Leistung von insgesamt 195 m<sup>3</sup>/s ca. 4,5 Minuten nach Brandbeginn.

(6) Temperatur

Zu Beginn der Simulation beträgt die Lufttemperatur 20 °C [1].

(7) Im Simulationsprogramm abgebildeter Haltestellenbereich

In der Simulation wird nur der strömungstechnisch relevante Bereich der uPva abgebildet. Dieser umfasst die Bahnsteigebene und die Treppenanlagen im Zentralen Aufgang zur darüber liegenden Verteilerebene. Da sich bereits ab der 10. Minute nach Brandbeginn keine Personen mehr auf der Bahnsteigebene befinden und in der Folge der Zentrale Aufgang rauchdicht von der Bahnsteigebene getrennt ist, wird auf eine Abbildung bis zur GOK verzichtet. Diese Bereiche sind durch die Abschottung strömungstechnisch für den Brandbereich nicht relevant. Ferner werden die an die uPva angrenzenden Streckentunnel mit einer Länge von 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 Zugeinheit 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) Selbstrettungsabschnitt Nr. 1

10 Minuten nach Brandbeginn in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigebene (alle Personen sind in einem temporär sicheren Bereich hinter den Brandschutztüren)

(2) Selbstrettungsabschnitt Nr. 2

21 Minuten nach Brandbeginn haben alle Personen das Freie erreicht. Da die vom Bahnsteig ins Freie führenden Treppenanlagen durch rauchdichte Brandschutztüren und Brandschutzverglasungen geschützt werden, ist sichergestellt, dass der Rettungswegabschnitt Nr. 2 raucharm bleibt.

### (3) Fremdrettungsphase

An die Selbstrettungsphase schließt sich die Fremdrettungsphase an. Die Fremdrettungsphase dauert bis zur 35. 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 10. 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 den dem Brand zugewandten Bereich der Bahnsteigebene verlassen hat (Bilder 3 und 4). Die Auswertung ergibt Folgendes:

#### (1) Optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite)

Die optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite) beträgt 10 Minuten nach Brandbeginn in der ca. 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene weniger als ca.  $0,01 \text{ m}^{-1}$ . 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 uPva gut orientieren (Bild 3).

#### (2) Temperatur

Die Temperatur liegt 10 Minuten nach Brandbeginn in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes von  $\max T = 50 \text{ °C}$  (Bild 4). Eine Personengefährdung in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene durch eine zu große thermische Belastung ist damit nicht gegeben.

#### 4.2.2 Fremdrettungsphase

Die Brandsimulationsergebnisse werden nachfolgend in einer Höhe von ca. 1,5 m über der Bahnsteigebene für die 35. Minute nach Brandbeginn zusammengefasst (Bilder 5 und 6):

##### (1) Optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite)

Die optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite) ist 35 Minuten nach Brandbeginn in der ca. 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene in großen Bereichen kleiner als ca.  $0,01 \text{ m}^{-1}$ . Eine ausreichende Orientierung der Rettungskräfte ist dadurch möglich (Bild 5). Ferner werden die Anforderungen hinsichtlich der Sichtweite nach [2] eingehalten, da es die vorliegende Situation erlaubt – mit Ausnahme des unmittelbaren Brandbereichs – jeweils die Bahnsteigbreite einzusehen, wenn entlang des Bahnsteigs gelaufen wird.

Es kann ferner festgestellt werden, dass in den unmittelbar neben dem Brandort anschließenden Streckentunnel etwa ab der 28. Minute nach Brandbeginn in einer Höhe von 2,5 m über der Bahnsteigebene Brandgase mit einer optischen Dichte von mehr als  $0,13 \text{ m}^{-1}$  strömen (Bild 6). Infolge der aktiven maschinellen Entrauchungsanlage stellt sich über die vier angrenzenden Tunnelröhren eine Luftströmung von rund  $0,8 \text{ m/s}$  in die uPva ein, um die abgesaugte Luftmenge auszugleichen. Da gemäß den Vorgaben in [1] jedoch nur Streckentunnelabschnitte mit einer Länge von je 20 m abgebildet werden, kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie weit Brandgase im Brandfall in den Streckentunnel strömen werden. Die anderen drei an die uPva angrenzenden Streckentunnel bleiben bis zur 35. Minute nach Brandbeginn raucharm (Bild 5).

##### (2) Temperatur

Die Temperatur liegt 35 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 7). Eine Personengefährdung in der 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene durch zu hohe thermische Belastungen ist somit nicht gegeben.

## 5 Zusammenfassende Beurteilung

Unter Beachtung der getroffenen Annahmen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass bei einem Fahrzeugbrand die gewählten Schutzziele für die Selbst- und Fremdrettungsphase mit den beschriebenen brandschutztechnischen Einrichtungen in der uPva MHBP erreicht werden.

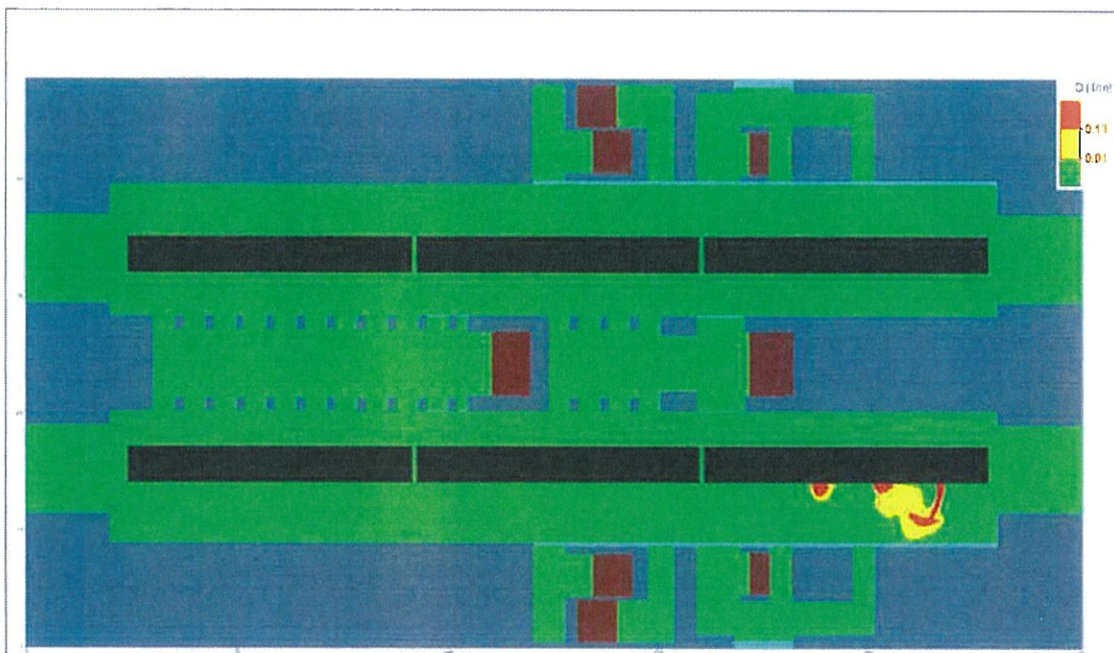
Köln, den 16. September 2020

  
Dipl.-Ing. Daniel Hahne  
zertifizierter Sachverständiger für den vorbeugenden baulichen Brandschutz

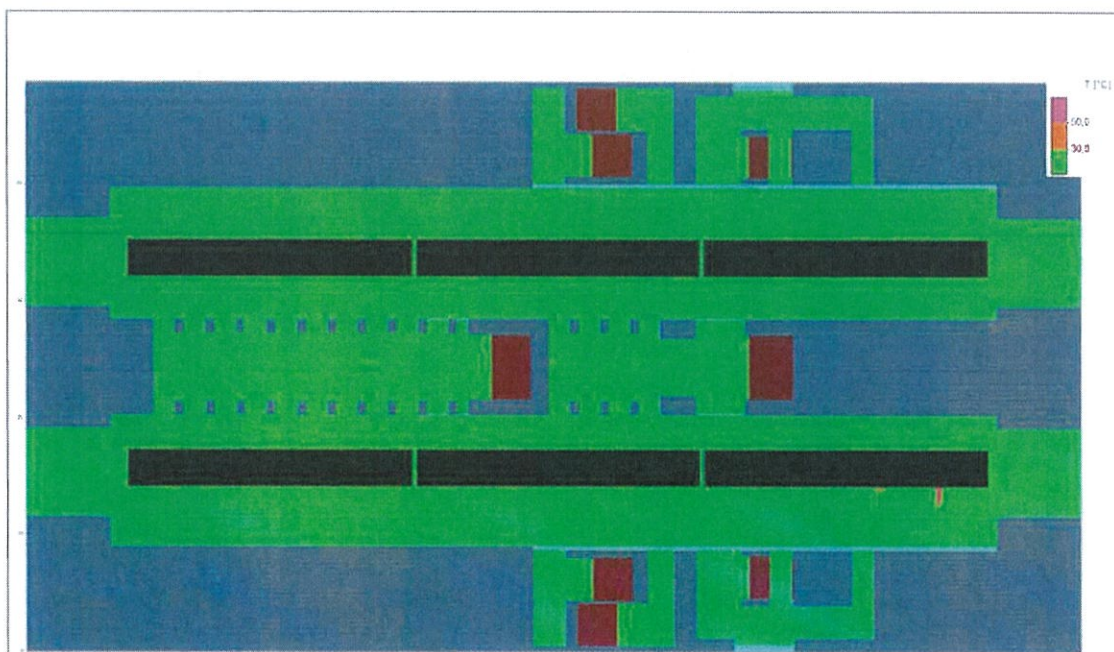
Reg.-Nr.: 141/QL  
Zertifizierter Sachverständiger und Fachplaner für den vorbeugenden baulichen Brandschutz  
Zertifizierung Bau

## 6 Verwendete Unterlagen

- [1] Bemessungsbrände für S-Bahnen und den Gemischten Reisezugverkehr - Anwenderhandbuch, STUVAtec, Juni 2010
- [2] Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren (AGBF) und des Deutschen Feuerwehrverbandes: Sichtweiten in unterirdischen Bahnstationen während der Fremdrettung, 2016-02, 22. November 2016
- [3] vfdb-Leitfaden: Ingenieurmethoden des Brandschutzes, TB 04-01; Herausgeber J. Zehfuß, 4. Auflage März 2020
- [4] DIN 5510: Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen
- [5] 2. S-Bahn-Stammstrecke München: E-Mail der DB, Herr Straßner, vom 10. Januar 2017 an opb, Herrn Kordes mit den geplanten Fahrzeiten zwischen den uPva
- [6] 2. S-Bahn-Stammstrecke München: E-Mails von ILF, Herr Stix an die DB und STUVAtec am 14. Mai 2020 mit Angaben zur Entrauchungsdimensionierung



**Bild 3:** Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 11 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)



**Bild 4:** Temperatur in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 11 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

