

STUVAtec  
Studiengesellschaft für  
Tunnel und Verkehrs-  
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41  
50827 Köln

## **Anlage 17.1 B**

### **Anhang 1**

## **2. S-Bahn-Stammstrecke München**

**Entrauchungsberechnung für die  
uPva MMHO**

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 .....	12
	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 in die uPva München Marienhof (MMHO) 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 und der darüber liegende Entrauchungsabschnitt am weitesten von den Entrauchungsventilatoren entfernt ist.

Die Entrauchungsanlage sowie die sicherheitstechnischen Anlagen werden ca. 3,5 Minuten nach Brandbeginn aktiviert. Diese Vorlaufzeit setzt sich aus der Restfahrzeit bis zur uPva (2,6 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 ver Raucht. Deshalb dürfen die Bahnsteige und die Flucht- und Rettungswege für die Dauer der Räumungszeit nicht ver rauchen. Die Rettung der Personen wird in eine Selbst- und Fremdre ttungsphase 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. Für die Dauer der Fremdre ttungsphase 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:

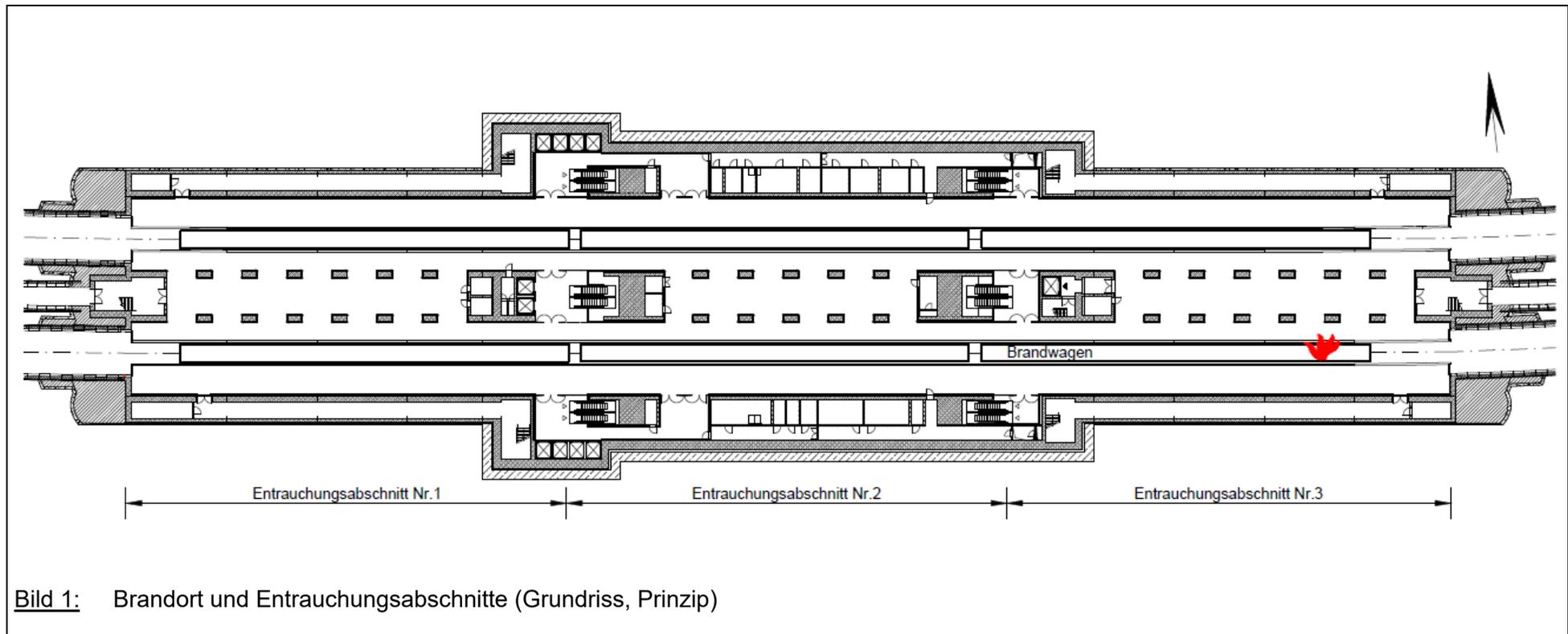


Bild 1: Brandort und Entrauchungsabschnitte (Grundriss, Prinzip)

- (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 zum BSK) ergibt sich:

- (1) RZ1, bis die letzte Person einen temporär raucharmen Bereich (z. B. hinter den Brandschutztüren bzw. im Rettungsstollen) erreicht hat: 10 Minuten
- (2) RZ2, bis die letzte Person die Geländeoberfläche erreicht hat und 10 m vom jeweiligen Ausgang entfernt ist: 18 Minuten

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

Ifd. Nr.	Parameter	Gewählte Grenzwerte	
		für die Räumung in temporär raucharme Bereiche bis zur 10. Minute nach Brandbeginn	für die Dauer der Fremdrettungsphase mindestens bis zur 25. 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

Anmerkung: Die Grenzwerte gelten für den Bahnsteigbereich ohne den unmittelbaren Brandnahbereich (brennendes Fahrzeug und zugehöriger Bahnsteigbereich) [1]

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	Eingabedaten 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 25 Min. nach Brandbeginn ca. [MW]	25

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

Tabelle 2: Wichtige Parameter für die Brandsimulation [1]

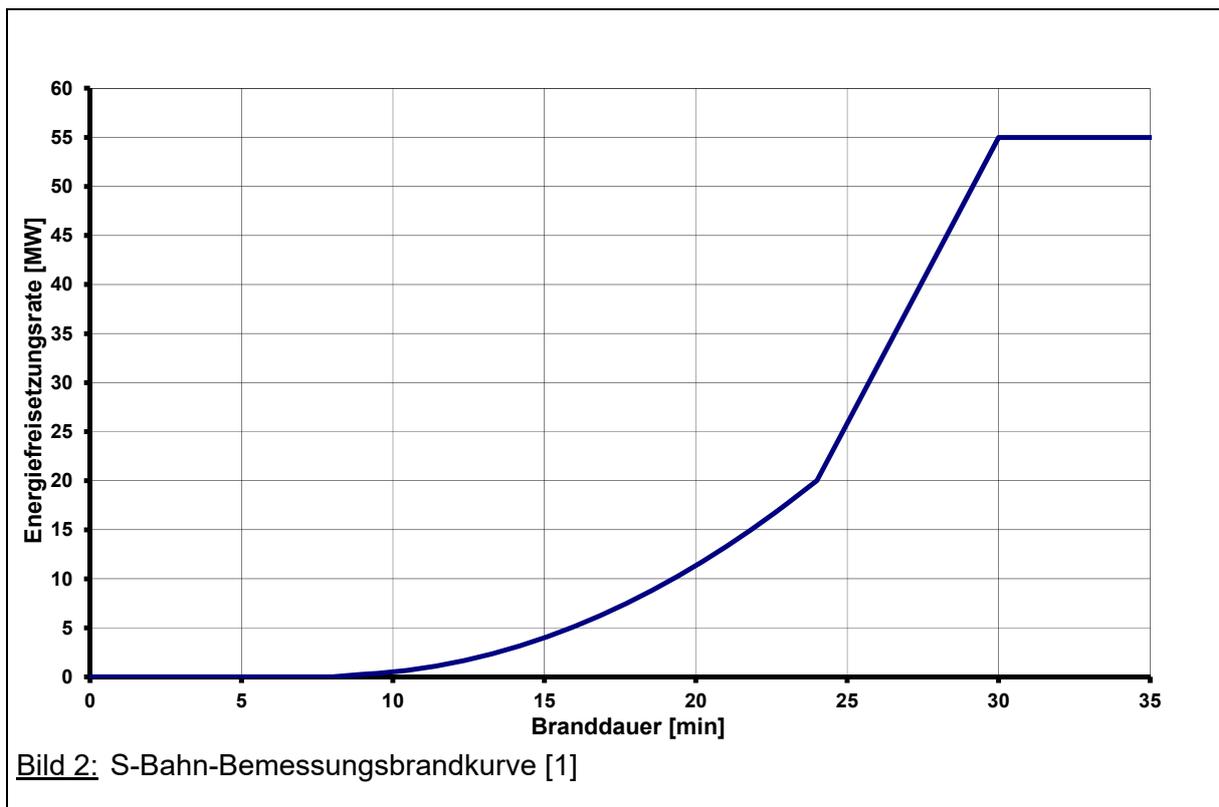


Bild 2: S-Bahn-Bemessungsbrandkurve [1]

### 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 ca. 2,6 Minuten nach Brandbeginn (Restfahrzeit) bei geschlossenen Türen und Fenstern.
- b) 2,6 Minuten nach Brandbeginn (Einfahrt des Zuges in die 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 der Fahrtreppen

Die gleisseitigen Treppenwangen der Fahrtreppenanlagen werden mit einer Brandschutzverglasung komplett geschlossen (Bild 1).

##### b) Zugangstüren

Die Zugänge der Fluchttreppenträume und Fluchtstollen sowie zu den Fahrtreppenanlagen werden durch rauchdichte und feuerhemmende Brandschutztüren (T30 RS) geschützt.

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

(5) Lüftungskonzept

Über jedem der beiden Gleise ist im Deckenbereich ein Entrauchungskanal angeordnet (Bild 1). Die beiden Entrauchungskanäle sind in je 3 voneinander unabhängige, jeweils ca. 70 m lange Entrauchungsabschnitte unterteilt (Bild 1).

Im Brandfall werden nur zwei benachbarte, brandnahe Entrauchungsabschnitte eines Gleises aktiviert. Die restlichen Entrauchungsabschnitte werden nicht für die Entrauchung herangezogen. Die maximale Rauchabzugsmenge ergibt sich daher zu  $2 \times 105 \text{ m}^3/\text{s} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$ . 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  $210 \text{ m}^3/\text{s}$  ca. 4,5 Minuten nach Brandbeginn (Restfahrzeit, Detektionszeit und Anlaufen der Ventilatoren bis Vollast).

(6) Temperatur

Zu Beginn der Simulation beträgt die Lufttemperatur  $20 \text{ °C}$  [1].

(7) Im Simulationsprogramm abgebildeter Haltstellenbereich

In der Simulation wird nur der strömungstechnisch relevante Bereich der uPva abgebildet. Dieser umfasst die Bahnsteigebene und die Fahrtreppenanlagen zur darüber liegenden Verteilerebene. Da sich bereits ab der 10. Minute nach Brandbeginn keine Personen mehr auf den Bahnsteigen befinden und in der Folge die Treppenanlagen rauchdicht und feuerhemmend von der Bahnsteigebene getrennt sind, 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 Zugsinheit 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 [1].

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 haben einem temporär raucharmen Bereich hinter den Brandschutztüren erreicht). Gemäß dem Anwenderhandbuch [1] und den Planungsvorgaben der DB Station & Service AG [6] müssen bei verkürzter Fremdrettungsphase neben den eingehausten Treppenanlagen die Bedingungen der Selbstrettungsphase auf der Bahnsteigebene (Brandort) mindestens eine Minute länger nachgewiesen werden als die zugehörige Räumungszeit. Im vorliegenden Fall wird auf der sicheren Seite liegend die Situation zur 15. Minuten nach Brandbeginn betrachtet.

#### (2) Selbstrettungsabschnitt Nr. 2

18 Minuten nach Brandbeginn haben alle Personen das Freie erreicht. Da die vom Bahnsteig ins Freie führenden Treppenanlagen durch rauchdichte und feuerhemmende 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 25. Minute nach Brandbeginn, da die Rettungswege und die Angriffswege der Feuerwehr durch Einhausungen am Treppenantritt auf der Bahnsteigebene baulich mit Einhausungen gesichert sind [1, 6].

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 raucharme Bereiche erreicht) betrachtet, um nachzuweisen, dass die Grenzwerte in der raucharmen Schicht auf der Bahnsteigebene so lange eingehalten werden, bis die letzte Person den ungeschützten Bereich der Bahnsteigebene verlassen hat (Bilder 3 und 5). Ferner werden die Bedingungen zum Ende der verlängerten Selbstrettungsphase (Sicherheitsaufschlags nach [1, 6]) 15 Minuten nach Brandbeginn analysiert (Bilder 4 und 6). 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). Dies gilt analog für die verlängerte Selbstrettungsphase 15. Minute nach Brandbeginn (Bild 4).

#### (2) Temperatur

Die Temperatur liegt 10 und 15 Minuten nach Brandbeginn in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes von  $\max T = 50 \text{ °C}$  (Bilder 5 und 6). 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 25. Minute nach Brandbeginn zusammengefasst (Bilder 7 bis 10):

(1) Optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite)

Die optische Dichte pro Weglänge (Sichtweite) ist 25 Minuten nach Brandbeginn in der ca.  $1,5 \text{ m}^{-1}$  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 (Bilder 7 bis 9). 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 bei dem untersuchten Brandort keine Brandgase in die angrenzenden Streckentunnel strömen (Bilder 7 und 8).

(2) Temperatur

Die Temperatur liegt 25 Minuten nach Brandbeginn in der ca. 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes  $\text{max. } T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  (Bild 10). Eine Personengefährdung in der 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene durch zu hohe thermische Belastungen ist somit nicht gegeben.

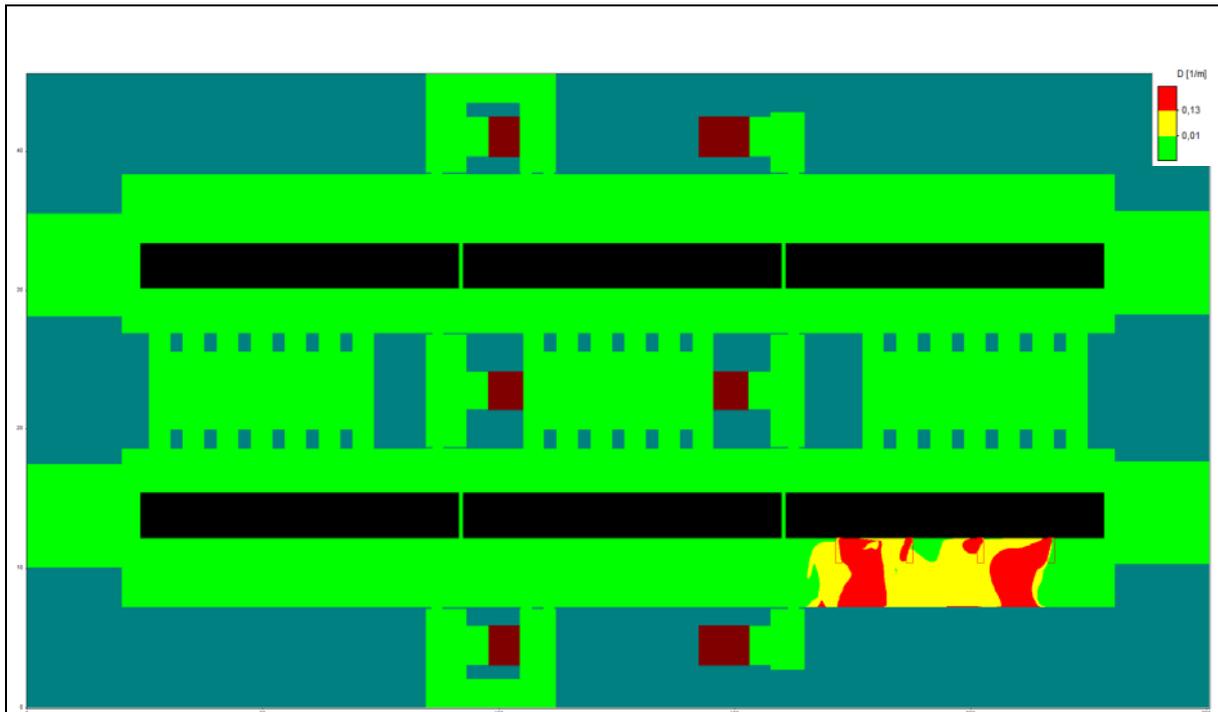
## 5 Zusammenfassende Beurteilung

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 MMHO erreicht werden.

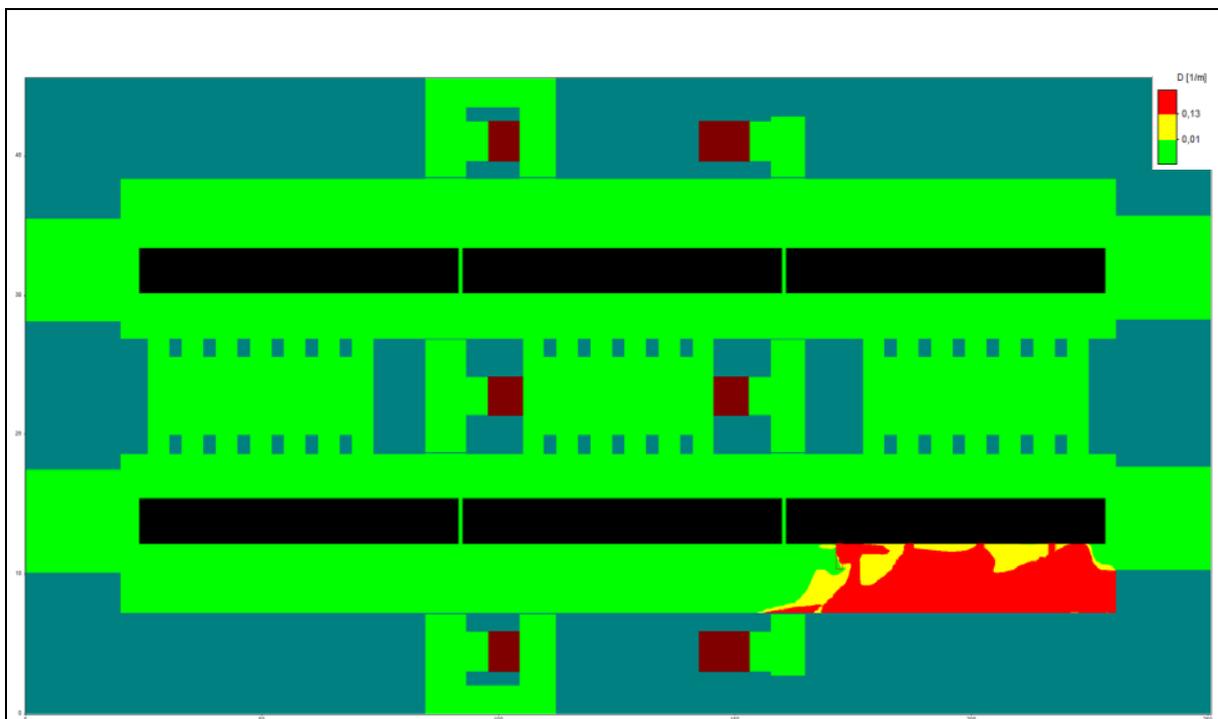
## 6 Verwendete Unterlagen

- [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, Herausgeber Jochen Zehfuß, März 2020

- [4] DIN 5510: Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen
- [5] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, E-Mail der DB Netz, Frau Büttner, vom 17. November 2020 an die STUVAtec mit Angaben zur Restfahrzeit zur uPva MMHO
- [6] DB Station & Service AG, Anlagen- und Instandhaltungsmanagement (I.SBI): Planungsvorgaben für die brandschutztechnische Ausstattung unterirdischer Personenverkehrsanlagen (uPva), Stand Februar 2018



**Bild 3:** Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 10 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)



**Bild 4:** Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 15 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

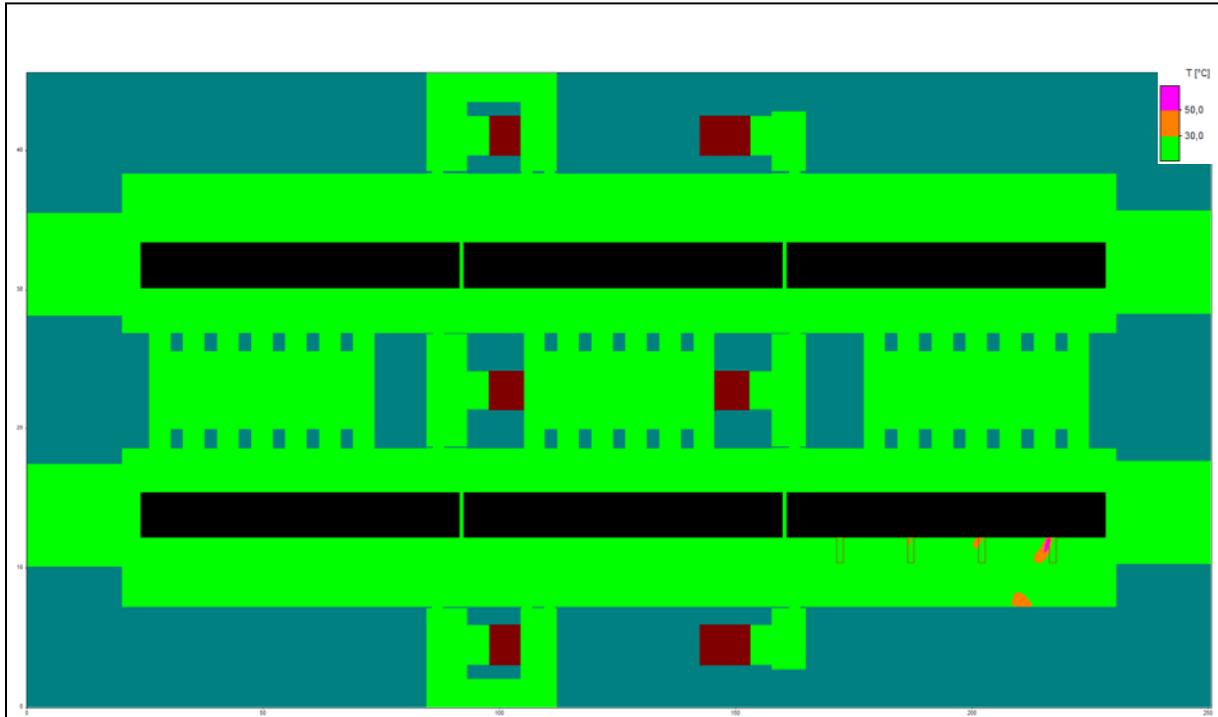


Bild 5: Temperatur in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 10 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

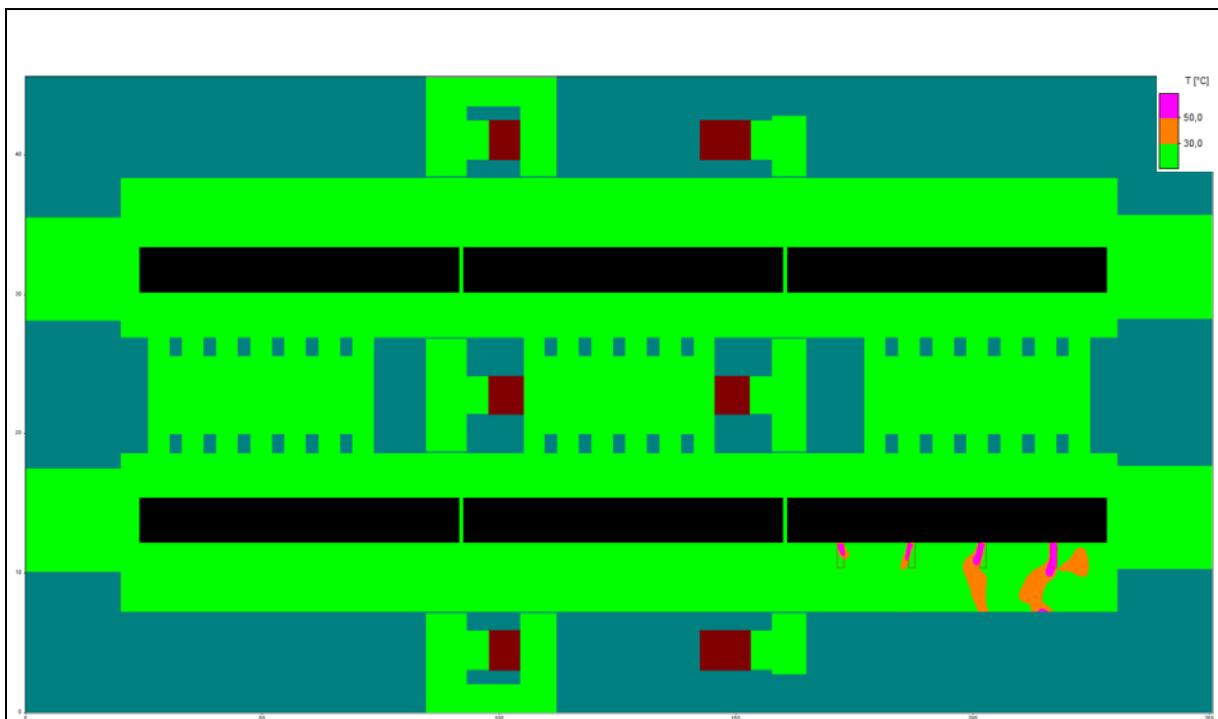


Bild 6: Temperatur in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 15 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

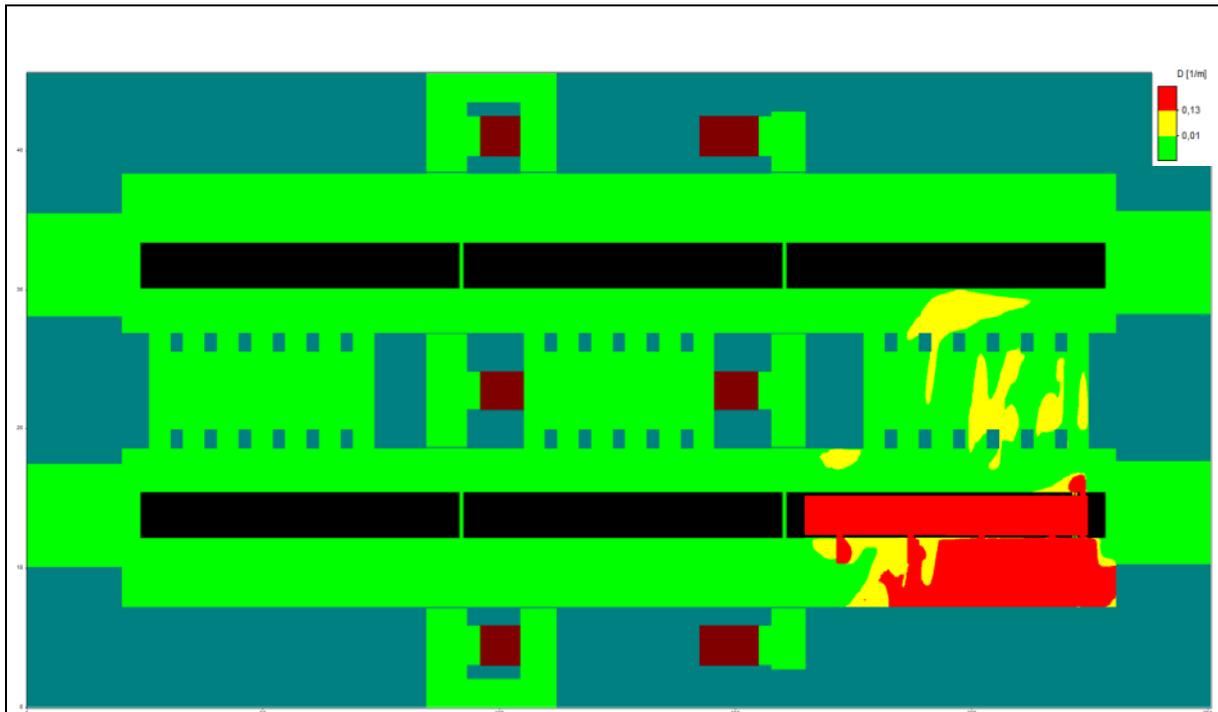


Bild 7: Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 1,5 m über der Bahnsteigoberkante 25 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

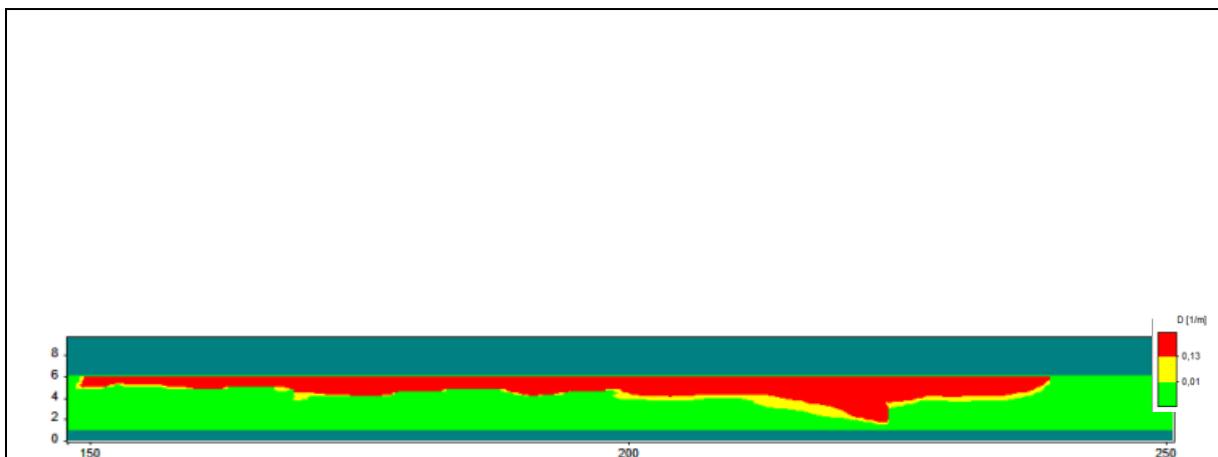


Bild 8: Optische Dichte pro Weglänge 25 Minuten nach Brandbeginn (Längsschnitt Mittelbahnsteig Süd entlang des Brandwagens)

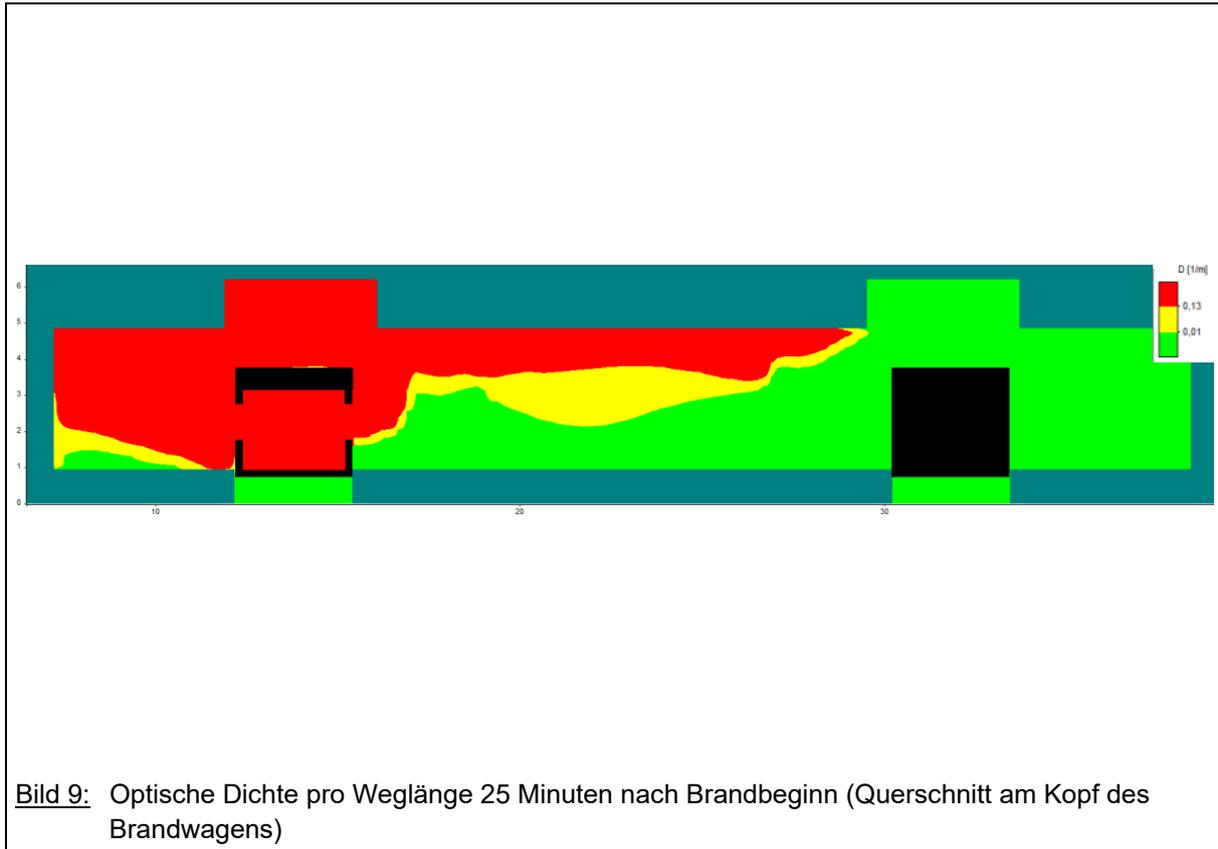


Bild 9: Optische Dichte pro Weglänge 25 Minuten nach Brandbeginn (Querschnitt am Kopf des Brandwagens)

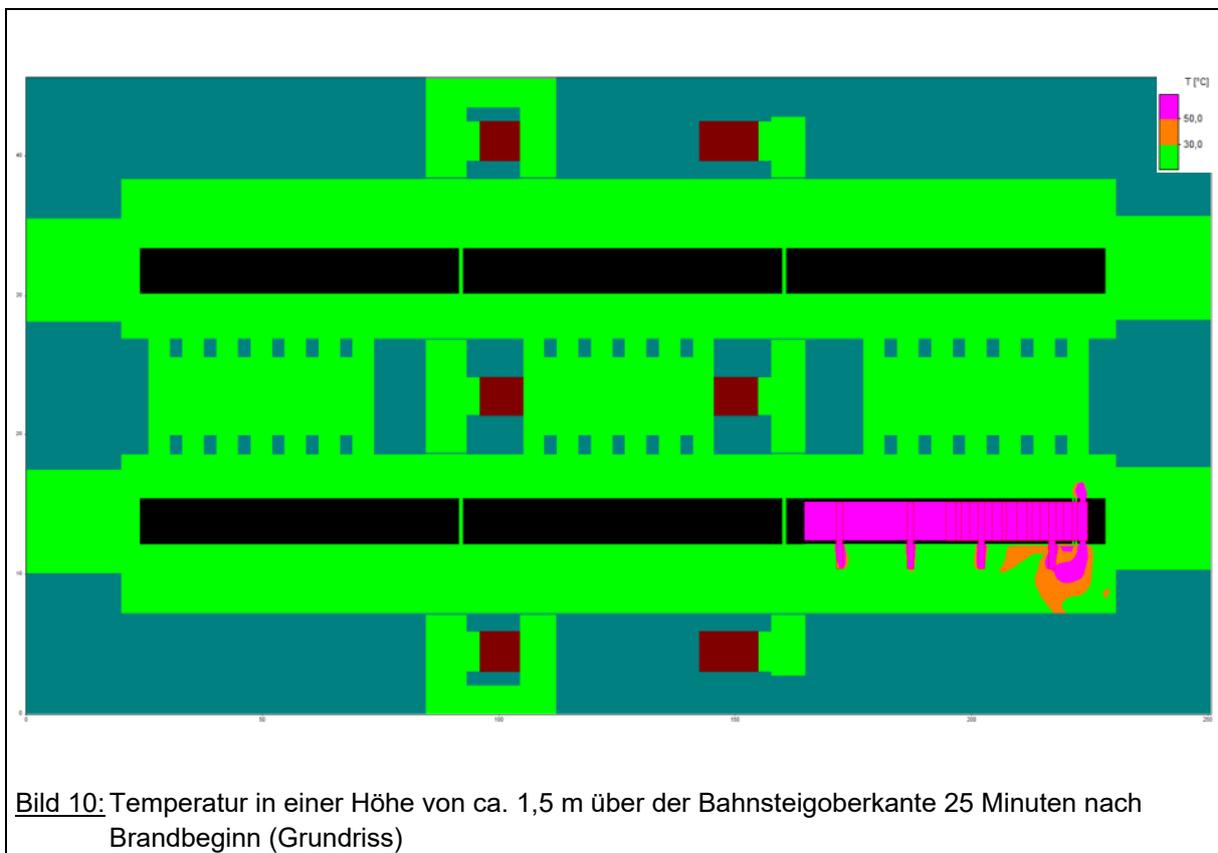


Bild 10: Temperatur in einer Höhe von ca. 1,5 m über der Bahnsteigoberkante 25 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)