

STUVAtec  
Studiengesellschaft für  
unterirdische Verkehrs-  
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41  
50827 Köln

4019-GRAP-020-ver-mar-c

# **Anhang 1**

## **2. Stammstrecke München**

**Entrauchungsberechnung für die uPva Marienhof**

**Stand: 30. Mai 2005**

## Inhaltsverzeichnis

1	Brandszenario.....	3
2	Schutzziele und zulässige Verrauchung .....	3
3	Brandsimulation .....	5
3.1	Berechnungsverfahren .....	5
3.2	Simulationsparameter.....	5
3.3	Sonstige Festlegungen.....	6
4	Anforderungen an die Selbst- und Fremdrettungsphase.....	7
5	Ergebnisse der Simulationsberechnung .....	8
5.1	Allgemeines .....	8
5.2	Simulationsergebnisse für die uPva Marienhof .....	8
6	Zusammenfassende Beurteilung .....	11
	Literatur .....	12
	Bildanhang .....	13

## 1 Brandszenario

Ein vollbesetzter Langzug fährt in die uPva Marienhof ein. Seine hintere Fahrzeugeinheit brennt seit 2 Minuten am Kopfende. Dieser Brandort wird gewählt, da hier eine frühzeitige Verrauchung der Treppen eintreten kann. Die Fahrzeurtüren werden geöffnet und die Brandgase strömen aus dem Fahrzeug in die uPva. Für die brennende Fahrzeugeinheit wird folgendes angenommen:

- Die Fenster der Fahrzeugeinheit bersten ca. 4 Minuten nach Brandbeginn.
- Das Dach der Fahrzeugeinheit wird durch den Brand nicht zerstört.
- Es tritt kein Feuerübersprung auf andere Fahrzeugeinheiten auf.

Nach der Detektion des Brandes werden u.a. die Entrauchungsanlage und die mobilen Rauchschrzen an den Treppenaufgängen in Betrieb genommen. Ferner wird der Bahnbetrieb in den an die uPva angrenzenden Tunnelanlagen geregelt so eingestellt, dass keine weiteren Zufahrten mehr zur uPva erfolgen.

Es wird vom Brandverlauf des DB-Bemessungsbrandes ausgegangen, bei dem die maximale Energiefreisetzungsrate von 25 MW nach einer Branddauer von 25 Minuten erreicht wird [1].

## 2 Schutzziele und zulässige Verrauchung

Oberstes Schutzziel ist die Rettung der Personen aus dem Zug bzw. aus der uPva, bevor diese verraucht. Deshalb dürfen die Bahnsteige und die weiteren 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 und in der anschließenden Fremdretrungsphase mindestens bis zur 35. Minute ab Brandbeginn eine mindestens ca. 1,5 m dicke raucharme Schicht vorhanden ist. In den raucharmen Schichten muss unter anderem eine ausreichende Sicht möglich sein. Durch diese Forderungen soll sichergestellt werden, dass

- (1) während der Selbstrettungsphase Personen bei ausreichender Sicht unbehindert fliehen können und
- (2) rettungstechnisch zu betreuende Personen während der Fremdrettungsphase noch ausreichend Atemluft haben und durch Feuerwehkräfte gerettet werden können.

Eine Selbstrettung bzw. eine Fremdrettung von Personen ist nicht mehr möglich, wenn die uPva zu sehr verrauchert ist. Es wird davon ausgegangen, dass dies gegeben ist, wenn sich in der Simulationsberechnung für die Dauer der Selbstrettungsphase bzw. Fremdrettungsphase raucharme Schichtdicken kleiner als 2,5 m bzw. 1,5 m einstellen. Dies ist der Fall, wenn die Sichtweite in der raucharmen Schicht unzureichend ist. Eine unzureichende Sicht auf reflektierende Rettungswegkennzeichen ist gegeben, wenn die optische Dichte pro Weglänge in der raucharmen Schicht größer als  $0,13 \text{ m}^{-1}$  ist.

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

Aufgrund der großen Tiefenlage der uPva Marienhof beträgt die Räumungszeit bis ins Freie 22 Minuten. Daher werden für die Gaskonzentrationen (CO und CO<sub>2</sub>) nicht die Grenzwerte einer 15-minütigen Einwirkzeit (CO < 200 ppm und CO<sub>2</sub> < 2 Vol.-%), sondern auf der sicheren Seite liegend die niedrigeren Grenzwerte für eine 35-minütige Einwirkzeit angesetzt (CO < 100 ppm und CO<sub>2</sub> < 1 Vol.-%). Die Grenzwerte für die Selbst- und Fremdrettungsphase unterscheiden sich in diesem besonderen Fall nur noch in der Dicke der raucharmen Schicht.

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 22. 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	CO-Konzentration	100 ppm	
3	CO <sub>2</sub> -Konzentration	1 Vol.-%	
4	Temperatur	50 °C	
5	optische Dichte pro Weglänge	0,13 m <sup>-1</sup>	
6	Mindest-Sichtweite	10 m	

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 Simulationsparameter

Die verwendeten Simulationsparameter sind der Tabelle 2 direkt zu entnehmen.

Parameter	Eingabe-Daten für die Simulationsberechnung
Heizwert [kJ / kg] <sup>1)</sup>	19.500
Rauchpotential [m <sup>2</sup> /g] <sup>1)</sup>	0,23
Rauchausbeute [g / g] <sup>1)</sup>	0,09
CO-Ausbeute [g / g] <sup>1)</sup>	0,05
CO <sub>2</sub> -Ausbeute [g / g] <sup>1)</sup>	1,7
HCN-Ausbeute [g / g] <sup>1)</sup>	0,015
Energiefreisetzungsrate 15 bzw. 35 Minuten nach Brandbeginn [MW]	14 bzw. 25

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

Tabelle 2: Wichtige Parameter für die Brandsimulation

### 3.3 Sonstige Festlegungen

Folgende wichtige Festlegungen für die Brandsimulation werden getroffen:

(1) S-Bahn-Fahrzeug

Es steht sowohl auf dem Nordgleis als auch auf dem Südggleis je ein S-Bahn-Langzug. Jeder S-Bahn-Langzug besteht aus 3 Fahrzeugeinheiten des Typs ET 423. Die Gesamtlänge eines Zuges beträgt  $3 \times 67,4 \text{ m} = \text{ca. } 202 \text{ m}$

(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 (Rauchabzugsanlage) vernachlässigbar sind. Die durch den Brand und die Entrauchungsanlage verursachten Luftströmungen werden jedoch detailliert simuliert.

(4) Verrauchungsschutz

An allen Treppenaufgängen des Mittelbahnsteigs sind seitlich geschlossene Treppenwangen und am Treppenfuß quer zur Gleisachse Rauchschürzen (Durchgangshöhe 2 m) angeordnet. An den Treppenaufgängen der Außenbahnsteige werden die Rauchschürzen in Längsrichtung vor den Stichfluren angeordnet.

Zusätzlich sind zur Rauchfreihaltung des Mittelschiffs zwischen den Stützen sowohl am südlichen als auch am nördlichen Mittelbahnsteig Längsrauchschürzen (Durchgangshöhe 2,50 m) vorgesehen. Im Bereich der Außenbahnsteige wurden keine Längsrauchschürzen angeordnet, um eine frühzeitige Abwärtsströmung der Brandgase entlang der Schürze und damit eine schnellere Verrauchung des Durchgangsbereiches unter den Schürzen zu verhindern. Durch diese Maßnahme kann das gesamte Deckenvolumen über den Außenbahnsteigen als Speicher für die Brandgase genutzt werden.

(5) Lüftungskonzept

Über jedem der beiden Gleise ist im Deckenbereich ein Entrauchungskanal angeordnet. Jeder dieser Entrauchungskanäle ist in 4 voneinander unabhängige, jeweils ca. 50 m lange Entrauchungsabschnitte unterteilt (westlicher, 2 mittige und östlicher Bahnsteigsbereich). Im Brandfall werden zwei benachbarte, brandnahe Entrauchungsabschnitte eines Gleises aktiviert. Über jeden Entrauchungsabschnitt können maximal 378.000 m<sup>3</sup>/h Luft also insgesamt maximal 2 x 378.000 m<sup>3</sup>/h abgeführt werden. Die Brandgase werden maschinell über Rauchabzugsschächte ins Freie geleitet.

In der Simulation werden die Brandgase aus zwei benachbarten 50 m langen Entrauchungsabschnitten gleichmäßig aus dem Deckenbereich abgesaugt. Die Entrauchungsanlage wird 2,5 Minuten nach Brandbeginn aktiviert. Der Einschaltzeitpunkt für die Entrauchungsanlage errechnet sich aus der Restfahrzeit von 2 Minuten plus einer Erkundungszeit durch den Fahrzeugführer von 0,5 Minuten. Die Entrauchungsanlage erreicht ihre maximale Leistung von 2 x 378.000 m<sup>3</sup>/h 4 Minuten nach Brandbeginn.

(6) Temperatur

Zu Beginn der Simulation beträgt die Lufttemperatur 18 °C.

(7) Im Simulationsprogramm abgebildeter Haltestellenbereich

In der Simulation wird nur der strömungstechnisch relevante Haltestellenbereich abgebildet. Dieser umfasst die Bahnsteig- und die Verteilerebenen mit den zugehörigen Treppenaufgängen bis zur Oberfläche. Ausgenommen hiervon sind durch Brandschutzture oder rauchdichte Türen abgeschottete Bereiche wie z.B. der Verbindungsgang zur angrenzenden U-Bahn-Station der Landeshauptstadt München.

## 4 Anforderungen an die Selbst- und Fremdrettungsphase

Die Räumungszeit RZ bis die letzte Person das Freie erreicht hat (Selbstrettungsphase) beträgt für den ungünstigsten Rettungsweg 22 Minuten (vergleiche Brandschutzkonzept Marienhof, Kapitel 8.2.2).

Dies bedeutet, dass für den Abschnitt der Selbstrettungsphase bis zur 22. Minute nach Brandbeginn die raucharme Schichtdicke auf dem Bahnsteig mindestens i.M. 2,5 m betragen muss. Auch dürfen die übrigen in Tabelle 1 genannten Grenzwerte (CO, CO<sub>2</sub>, Temperatur und optische Dichte pro Weglänge) bis zur 22. Minute nach Brandbeginn nicht überschritten werden.

Für die Dauer der anschließenden Fremdrettungsphase bis zur 35. Minute nach Brandbeginn muss die Dicke der raucharmen Schicht i.M. mindestens 1,5 m betragen. Darüber hinaus dürfen die Grenzwerte nach Tabelle 1 (CO, CO<sub>2</sub>, Temperatur und optische Dichte pro Weglänge) nicht überschritten werden.

## **5 Ergebnisse der Simulationsberechnung**

### **5.1 Allgemeines**

Die nachfolgenden Bewertung der Simulationsergebnisse wird stets ohne Hinzuziehung des Bereiches in der Nähe des brennenden Zuges (westlicher Abschnitt des Außenbahnsteigs-Süd und Bereich zwischen dem brennenden Zug und der nächstgelegenen Stützenreihe des westlichen Mittelbahnsteiges) durchgeführt. Es wird im Folgenden davon ausgegangen, dass sich Personen aus diesen genannten brandnahen Bereichen rechtzeitig retten können.

### **5.2 Simulationsergebnisse für die uPva Marienhof**

Die Ergebnisse der Brandsimulation können wie folgt zusammengefasst werden:

#### **(1) 22 Minuten nach Brandbeginn (Selbstrettungsphase)**

Für die uPva Marienhof haben die Räumungsberechnungen ergeben, dass sich die letzte Person 22 Minuten nach Brandbeginn im Freien (an der Geländeoberfläche) befindet (siehe Brandschutzkonzept Marienhof, Kapitel 8.2.2).

Die Brandsimulationsergebnisse können aufgrund der Gitterlinienanordnung im Simulationsprogramm für  $z = 3,55$  m (dies entspricht einer Höhe über der



Bahnsteigebene von 2,55 m) für die 22. Minute nach Brandbeginn wie folgt angegeben werden (Bilder 1 bis 4):

a) Sichttrübung

Die optische Dichte pro Weglänge ist 22 Minuten nach Brandbeginn in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht kleiner als  $0,06 \text{ m}^{-1}$ . Der zulässiger Grenzwert von  $0,13 \text{ m}^{-1}$  wird deutlich unterschritten (Bild 1), so dass weiter als 10 m gesehen werden kann.

b) Temperatur

Die Temperatur erreicht 22 Minuten nach Brandbeginn in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht in großen Bereichen des Bahnsteiges Werte von unter ca.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Der zulässige Grenzwert ( $\text{max } T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) wird nicht überschritten (Bild 2). Eine Personengefährdung in der raucharmen Schicht durch zu hohe Temperaturen ist somit nicht gegeben.

c) CO-Konzentration

Die CO-Konzentration bleibt bis 22 Minuten nach Brandbeginn unter ca. 20 ppm (zulässiger Grenzwert: 100 ppm) (Bild 3). Die in der Simulation berechnete CO-Konzentration in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht gefährdet somit keine Personen.

d) CO<sub>2</sub>-Konzentration

Die sich durch den Brand einstellende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der 2,5 m dicken raucharmen Schicht beträgt 22 Minuten nach Brandbeginn weniger als ca. 0,15 Vol.-% (Bild 4). Die berechnete CO<sub>2</sub>-Konzentration liegt damit deutlich unter dem zulässigen Grenzwert von 1 Vol.-%. Die berechnete CO<sub>2</sub>-Konzentration in der raucharmen Schicht gefährdet somit keine Personen.

Zusammenfassend zeigen die Simulationsergebnisse, dass bis zur 22. Minute nach Brandbeginn in einer 2,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene die geforderten Grenzwerte (Tabelle 1) eingehalten werden.

(2) 20 bis 35 Minuten nach Brandbeginn (Fremdrettungsphase)

Die Brandsimulationsergebnisse werden im Simulationsprogramm für  $z = 2,5$  m (dies entspricht einer Höhe über der Bahnsteigebene von 1,50 m) 35 Minuten nach Brandbeginn wie folgt angegeben:

a) Sichttrübung

Die optische Dichte pro Weglänge ist 35 Minuten nach Brandbeginn in der 1,5 m dicken raucharmen Schicht in großen Bereichen über der Bahnsteigebene kleiner als  $0,06 \text{ m}^{-1}$  (Bild 5). Der zulässige Grenzwert von  $0,13 \text{ m}^{-1}$  wird nicht überschritten.

b) Temperatur

35 Minuten nach Brandbeginn bleibt die Temperatur in großen Bereichen der 1,5 m dicken raucharmen Schicht unter ca.  $30^\circ\text{C}$ . Der zulässige Grenzwert von  $\max T = 50^\circ\text{C}$  wird nicht überschritten (Bild 6).

c) CO-Konzentration

Die CO-Konzentration bleibt bis 35 Minuten nach Brandbeginn in großen Bereichen der 1,5 m dicken raucharmen Schicht unter ca. 20 ppm. Der Grenzwert von 100 ppm wird auch 35 Minuten nach Brandbeginn nicht überschritten (Bild 7).

d) CO<sub>2</sub>-Konzentration

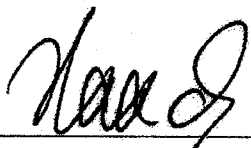
Die sich durch den Brand einstellende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der 1,5 m dicken raucharmen Schicht liegt bis 35 Minuten nach Brandbeginn unter ca. 0,15 Vol.-%. Der zulässige Grenzwert von 1 Vol.-% wird deutlich unterschritten (Bild 8).

Zusammenfassend zeigen die Simulationsergebnisse, dass von der 20. Minute bis zur 35. Minute nach Brandbeginn (Fremdrettungsphase) in einer 1,5 m dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene die geforderten Grenzwerte (Tabelle 1) eingehalten werden.

## 6 Zusammenfassende Beurteilung

Die Schutzziele für die Selbst- und Fremdretrungsphase werden mit der vorgesehe-  
nen Entrauchungsanlage erreicht, da die Räumungszeit kürzer als die Verrau-  
chungszeit ist.

Köln, den 30. Mai 2005



---

Prof. Dr. A. Haack

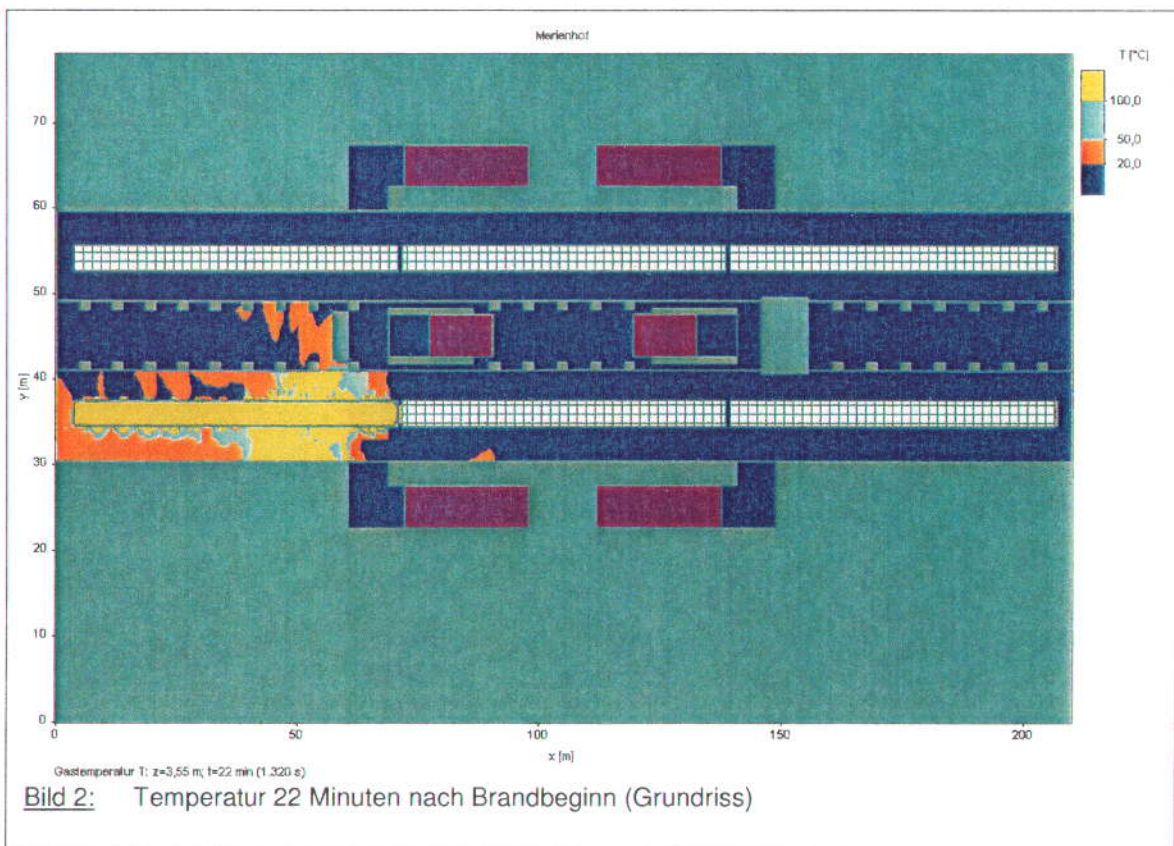
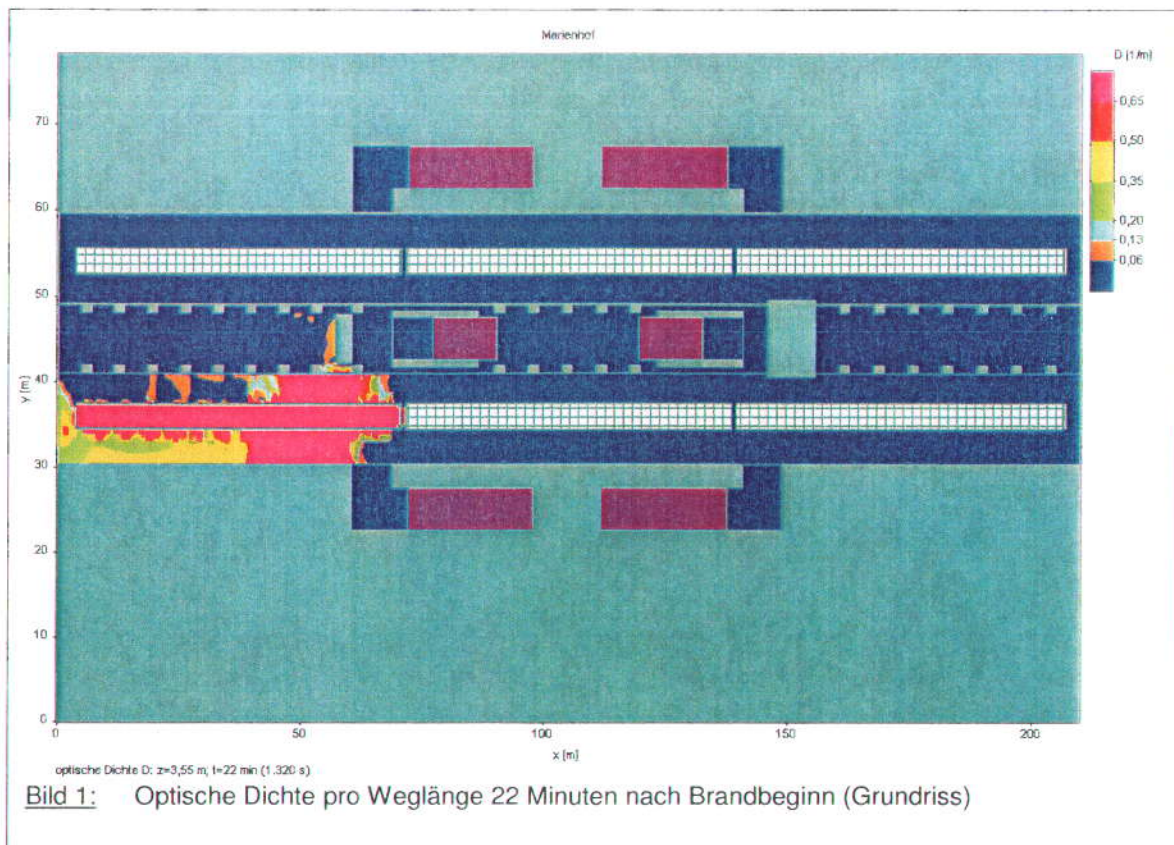


---

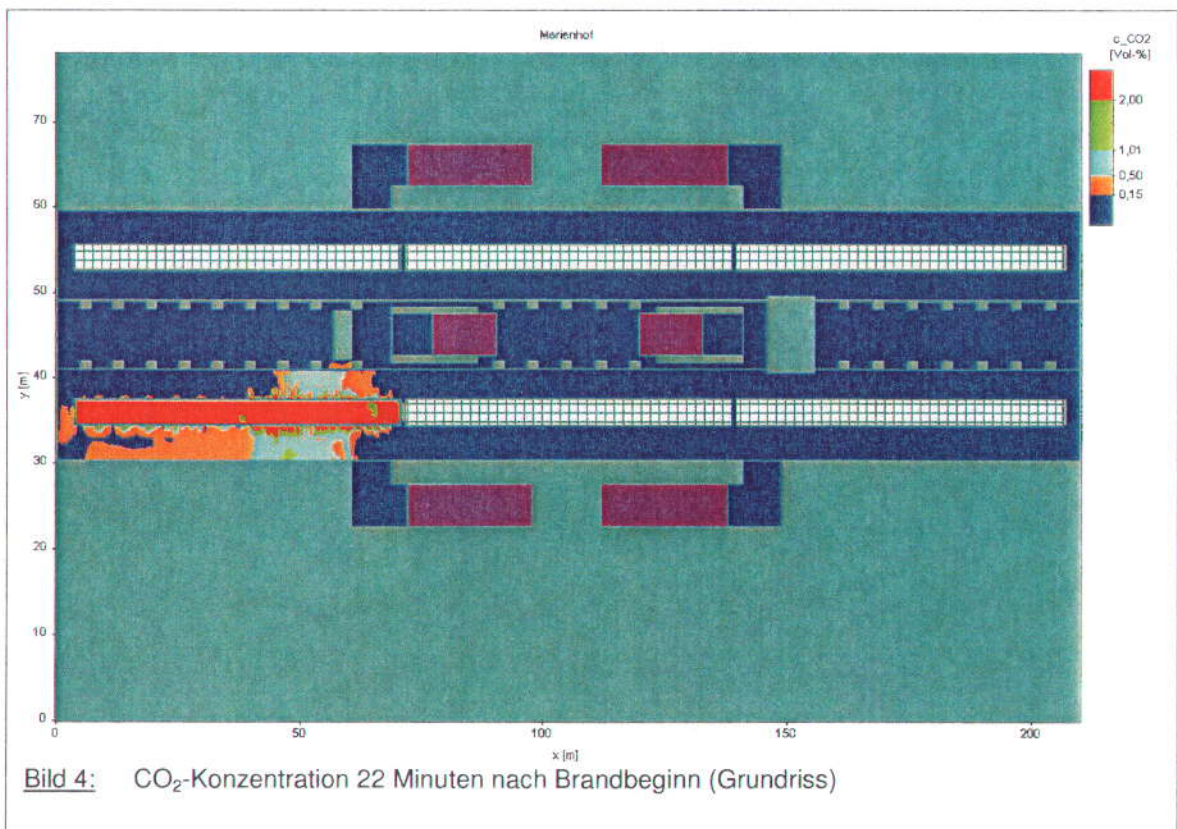
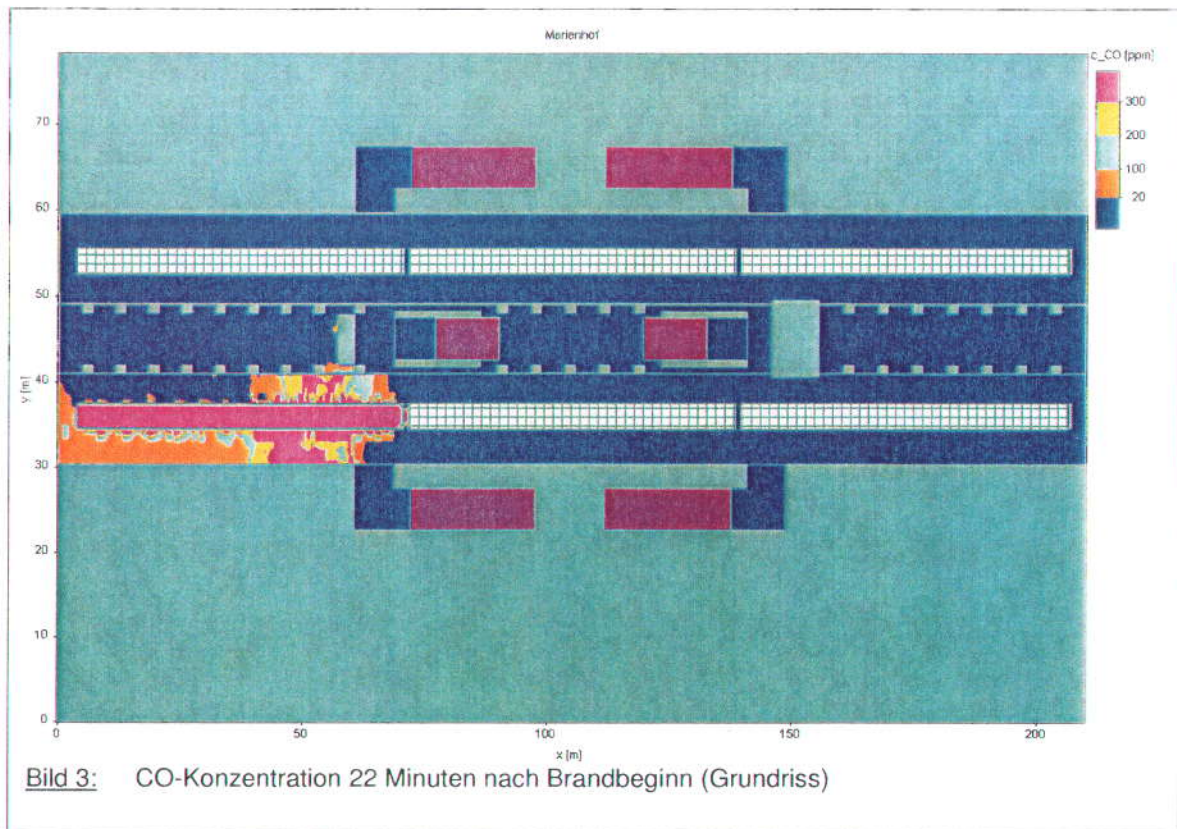
Dr.-Ing. J. Schreyer

### **Literatur**

- [1] Deutsche Bahn AG, DB Station & Service, Fachstelle Brandschutz: Ergebnisbericht zur Beurteilung von Bränden an Schienenfahrzeugen als Bemessungsbrände zur brandschutztechnischen Auslegung von oberirdischen Personenverkehrsanlagen der Deutschen Bahn AG, Stand September 2000
- [2] DIN 5510: Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen









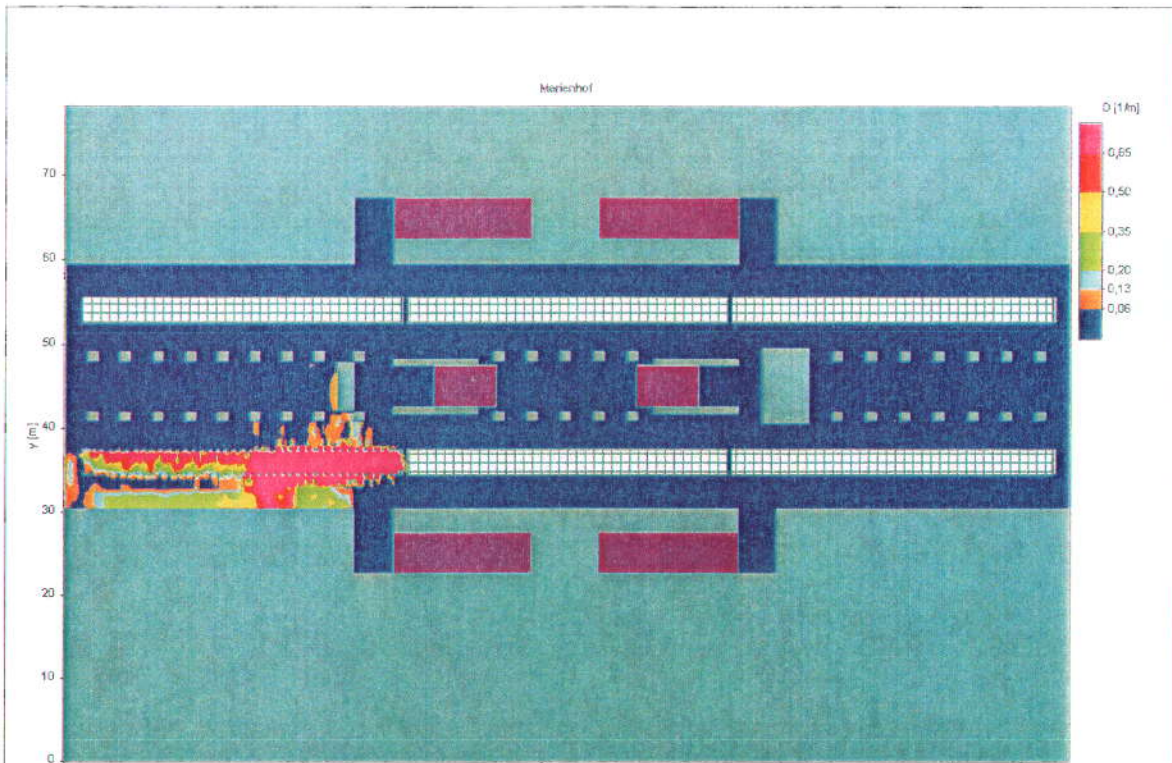


Bild 5: Optische Dichte pro Weglänge 35 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

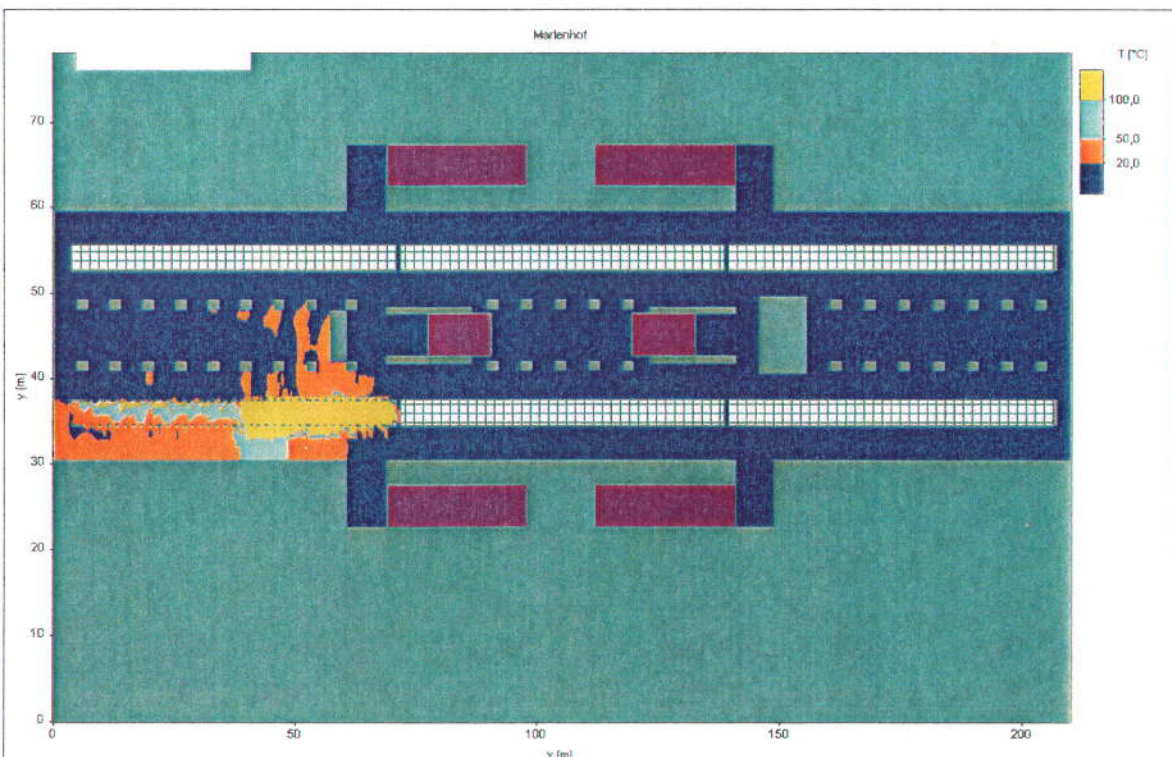


Bild 6: Temperatur 35 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)



