STUVA*tec*
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 Zugeinheiten 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 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 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 Fremdrettungsphase 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:

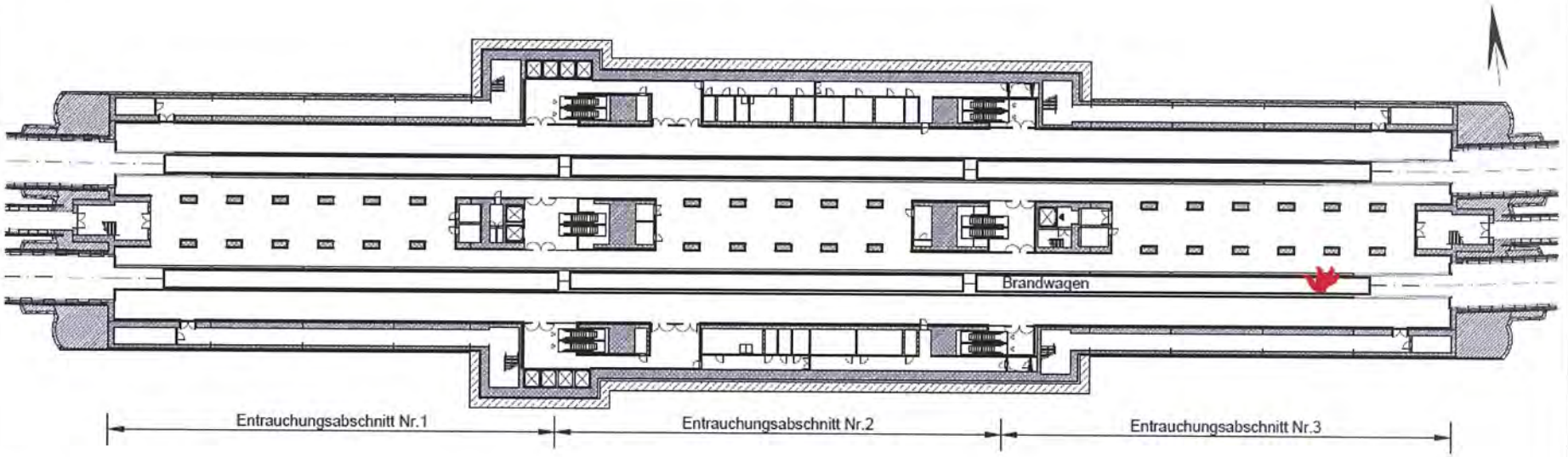

Bild 1: Brandort und Entrauchungsabschnitte (Grundriss, Prinzip)

(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 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.

lfd. 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 Schicht-dicke	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. [3]

[2)] 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][1)]	15.000
Rauchpotential [m²/g] [1)]	0,33
Rauchausbeute [g / g] [1)]	0,1
Energiefreisetzungsrate 25 Min. nach Brandbeginn ca. [MW]	25

[1)] Bezugsgröße ist jeweils die verbrannte Masse

Tabelle 2: Wichtige Parameter für die Brandsimulation [1]

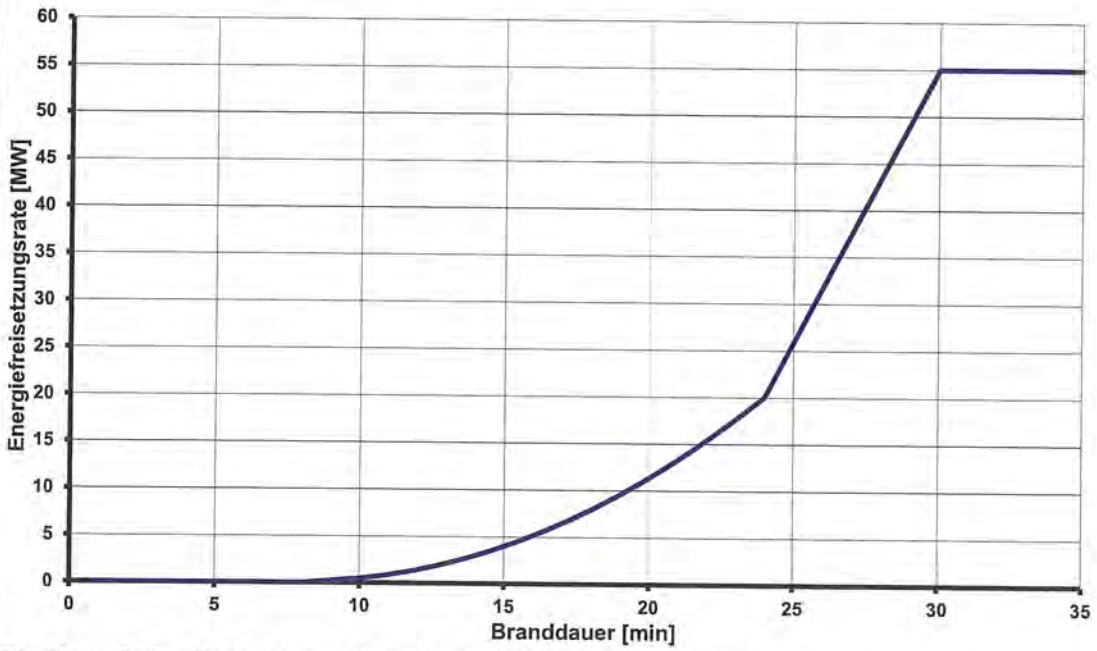

Bild 2: S-Bahn-Bemessungsbrandkurve [1]

3.3 Sonstige Festlegungen

Folgende wichtige Festlegungen für die Brandsimulation werden getroffen:

(1) Fahrzeugmodell

Es steht sowohl auf dem Nordgleis als auch auf dem Südgleis 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 Fluchttreppenräume 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 x 105 m³/s = 210 m³/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 m³/s ca. 4,5 Minuten nach Brandbeginn (Restfahrzeit, Detektionszeit und Anlaufen der Ventilatoren bis Volllast).

(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 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 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 [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 m^{-1}. Der gewählte Grenzwert von 0,13 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 °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 m^{-1} dicken raucharmen Schicht über der Bahnsteigebene in großen Bereichen kleiner als ca. 0,01 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 max. T = 50 °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

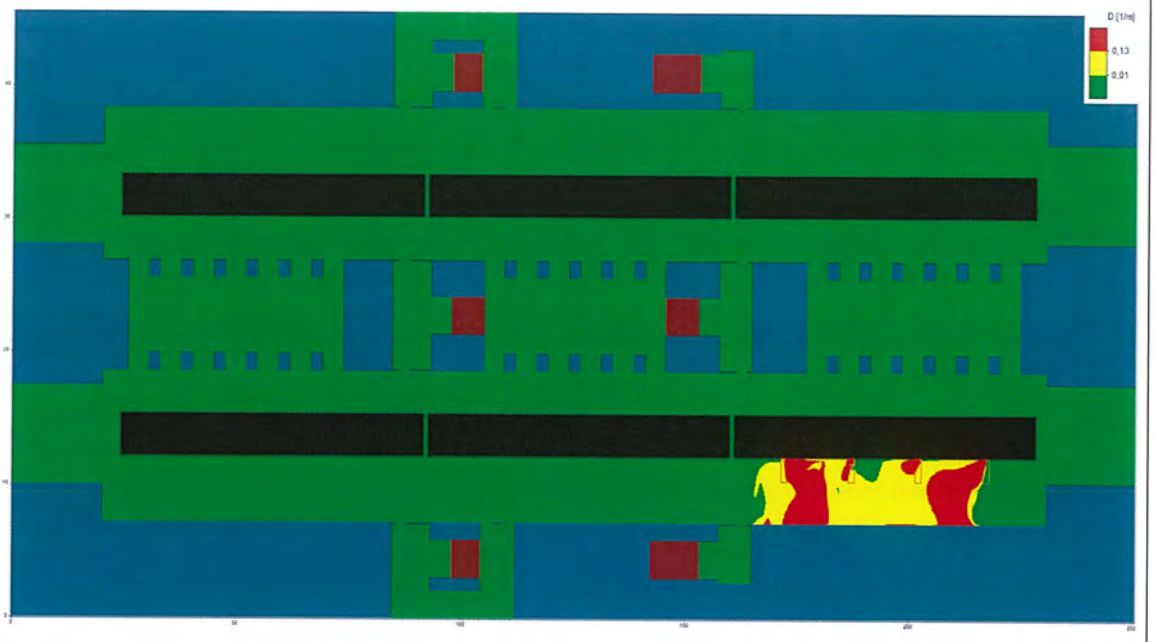

Bild 3: Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 10 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

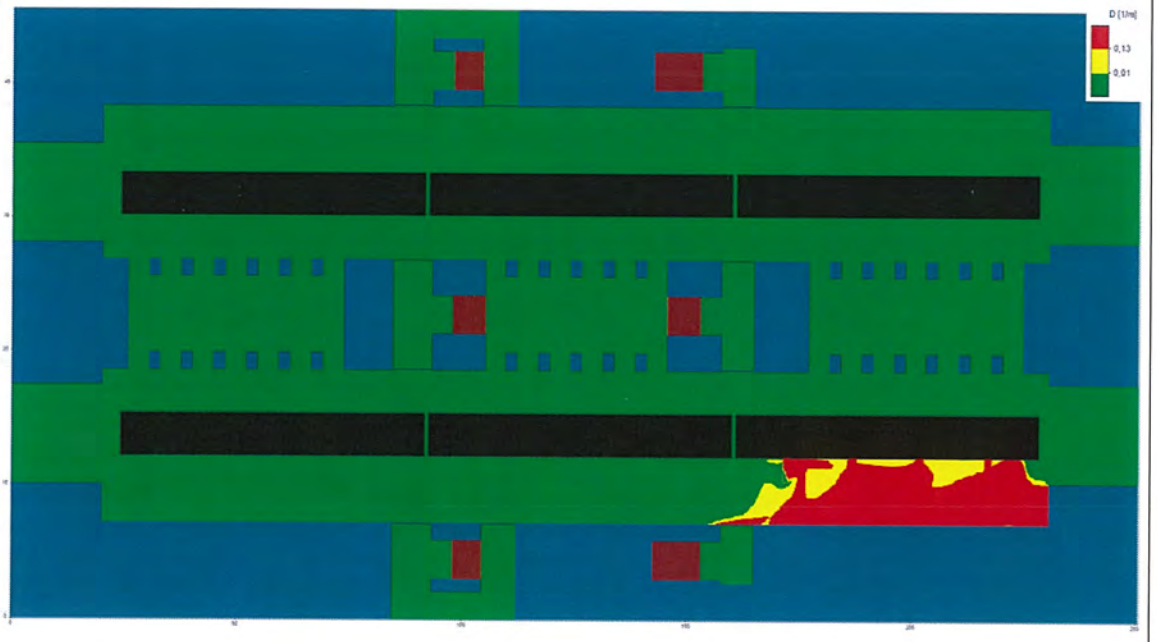

Bild 4: Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 15 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

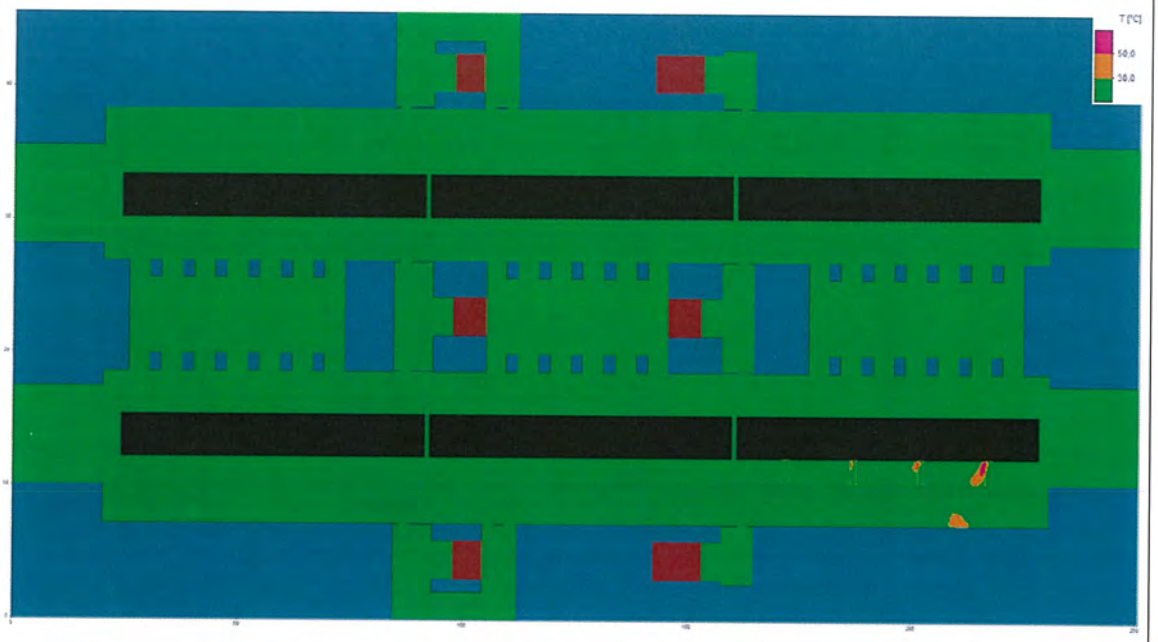

Bild 5: Temperatur in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 10 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

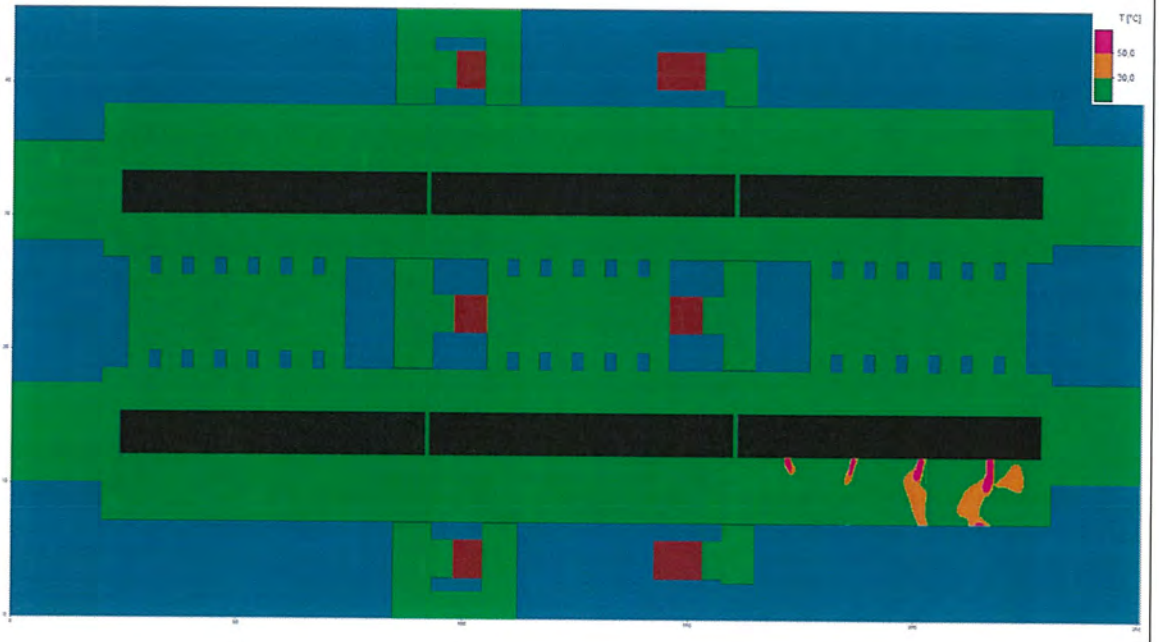

Bild 6: Temperatur in einer Höhe von ca. 2,5 m über der Bahnsteigoberkante 15 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

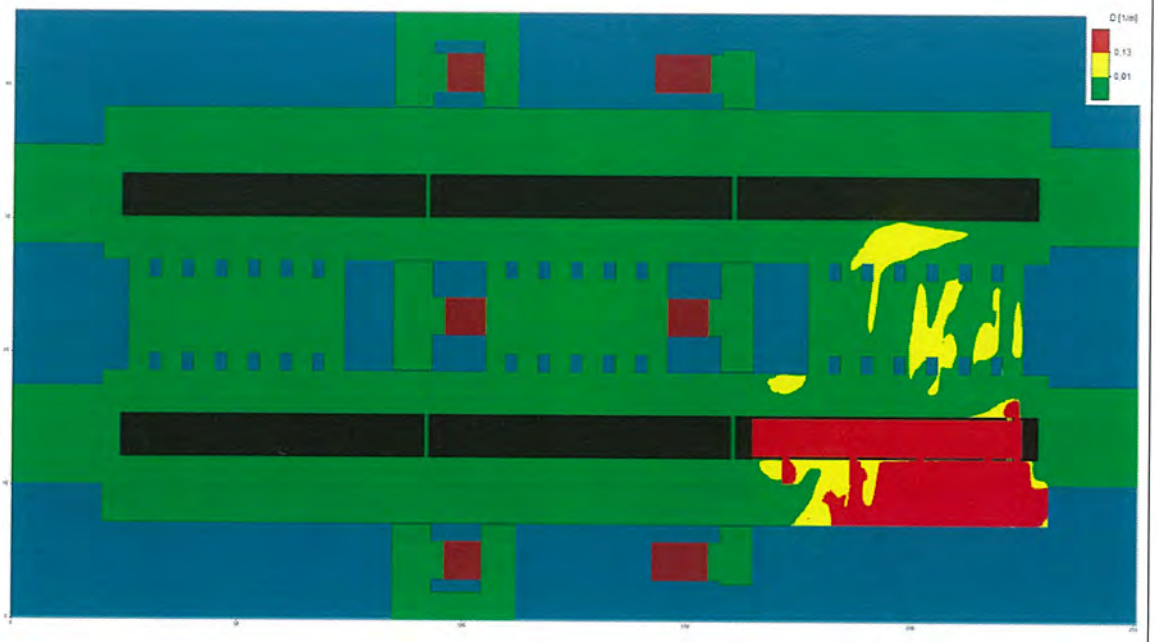

Bild 7: Optische Dichte pro Weglänge in einer Höhe von ca. 1,5 m über der Bahnsteigoberkante 25 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

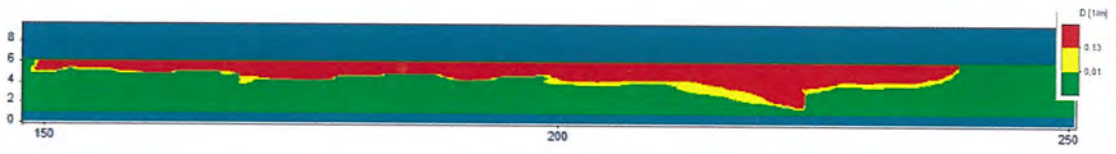

Bild 8: Optische Dichte pro Weglänge 25 Minuten nach Brandbeginn (Längsschnitt Mittelbahnsteig Süd entlang des Brandwagens)

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

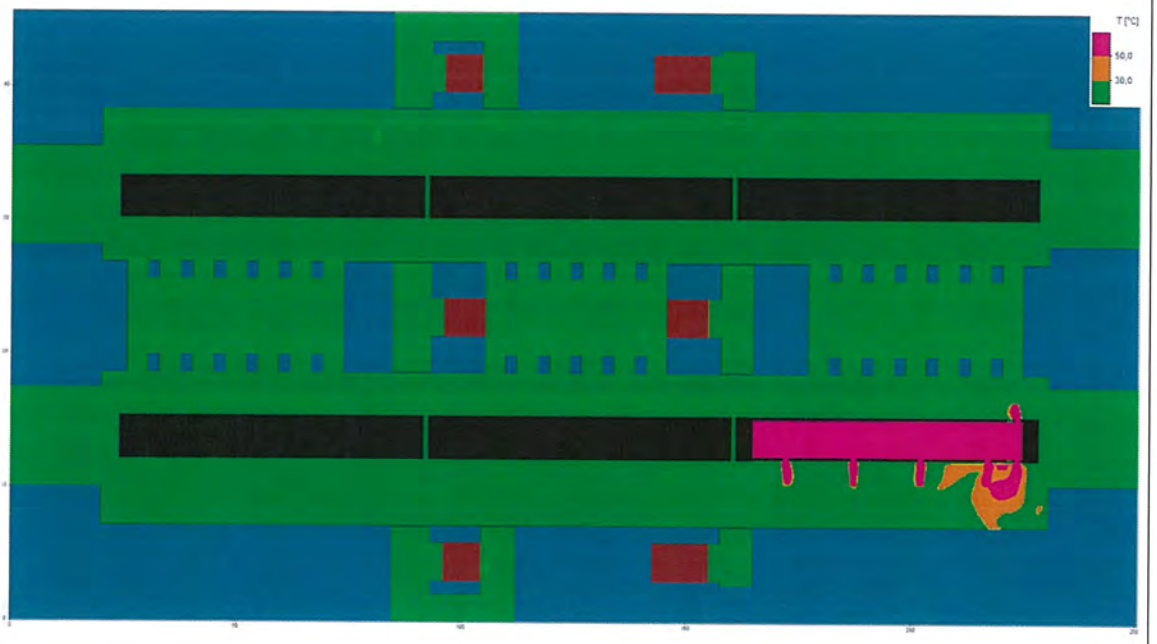

Bild 10: Temperatur in einer Höhe von ca. 1,5 m über der Bahnsteigoberkante 25 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss)

Studiengesellschaft für
Tunnel und Verkehrs-
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41
50827 Köln

Anlage 17.1 B

Anhang 2

2. S-Bahn-Stammstrecke München

Räumungsberechnung

für die uPva MMHO

Auftraggeber: DB Netz AG
Arnulfstraße 27
80335 München

Auftragnehmer: STUVAtec GmbH,
Mathias-Brüggen-Str. 41
50827 Köln

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Ausgangssituation 3
2 Objektbeschreibung 3
3 Grundlagen der Räumungsberechnung 5
4 Berechnung der Räumungszeit in Anlehnung an die NFPA 130 9
5 Räumungssimulation mit ASERI 12
6 Ergebnis 14
7 Verwendete Unterlagen 15

1 Ausgangssituation

Die uPva MMHO ist Teil der 2. S-Bahn-Stammstrecke in München. Die bisherigen Räumungsberechnungen aus den Jahren 2008 und 2017 [6, 9] müssen aktualisiert werden, da sich die Anzahl und der Verlauf der Treppenanlagen sowie die zu berücksichtigende Anzahl an Personen gegenüber der bisherigen Planung geändert haben.

Es wird nachfolgend untersucht, welche Räumungszeiten sich bei einem Ereignis auf der Bahnsteigebene in der uPva ergeben. Diese Räumungszeiten werden für verschiedene Rettungswegabschnitte ermittelt und mit den Ergebnissen der Brandsimulation (Verrauchungszeit) verglichen. Ziel ist es, einen ausreichenden Verrauchungsschutz für die fliehenden Personen über den gesamten Fluchtweg bis ins Freie nachzuweisen.

2 Objektbeschreibung

Die uPva MMHO ist eine Durchgangshaltestelle für S-Bahnen und verfügt über folgende öffentlich zugängliche Ebenen:

(1) Bahnsteigebene (Ebene -5)

Es handelt sich um eine uPva mit einem Mittelbahnsteig und zwei Seitenbahnsteigen (Spanische Lösung), die jeweils eine Nutzlänge von ca. 210 m aufweisen (Bild 1).

Die beiden Seitenbahnsteige können im Bereich der beiden Bahnsteigenden über Fluchtstollen und weiter über Fluchttreppenräume verlassen werden. Diese Fluchttreppenräume führen vom nördlichen Seitenbahnsteig bis ins Sperrengeschoss (Ebene -1) (Bild 1: Treppenanlage Nr. 1 und Nr. 4) und vom südlichen Seitenbahnsteig direkt bis zur Geländeoberkante (GOK) ins Freie (Bild 1: Treppenanlagen Nr. 10 und Nr. 13). Ferner können Personen etwa in den Drittelspunkten über Fahrtreppenanlagen zur Verteilerebene (Ebene -3) fliehen (Bild 1: Treppenanlage Nr. 2 und Nr. 3 bzw. Nr. 11 und Nr. 12).

Am Mittelbahnsteig sind an beiden Bahnsteigenden Ausgänge zu Nottreppenräumen erreichbar, die an einen Fluchtstollen im First oberhalb des Mittelbahnsteigs angeschlossen sind (Bild 1: Treppenanlage Nr. 5a und Nr. 9a). Darüber hinaus kann der Mittelbahnsteig etwa in den Drittelspunkten über zwei Fahrtreppenanlagen (Bild 1: Treppenanlage Nr. 6 und Nr. 7) zur Verteilerebene (Ebene -3) verlassen werden.

(2) Entrauchungsebene (Deckenbereich Ebene-5)

Von den oberhalb des Mittelbahnsteigs gelegenen Fluchtstollen im Westen und Osten gelangen die Personen anschließend über die Treppenanlage Nr. 5b und Nr. 9b (Bilder 2 bis 6) ins Sperrengeschoss (Ebene -1).

(3) Ballastebene (Ebene -4)

Ab der Ballastebene -4 werden alle Treppenanlagen innerhalb der Umfassungsbauteile der großen Baugrube nach oben geführt (Bild 3).

(4) Verteilerebene (Ebene -3)

Die von den drei Bahnsteigen (Ebene -5) kommenden sechs Fahrtreppenanlagen (Bild 2: Treppenanlagen Nr. 2, Nr. 3, Nr. 6, Nr. 7, Nr. 11 und Nr. 12) enden auf der Verteilerebene (Ebene -3). Von dort führen weitere Treppenanlagen zu der darüber liegenden Zwischenpodestebene (Ebene -2) (Bilder 4 und 5: Treppenanlagen Nr. 15 bis Nr. 18). Auf der Südseite ist die Verteilerebene (Ebene -3) über einen Verbindungsgang mit der Bahnsteigebene des U-Bahnhof der SWM/MVG verbunden (Bild 4).

(5) Zwischenpodestebene (Ebene -2)

Die Zwischenpodestebene dient zum Richtungswechsel der Treppenläufe zwischen der Verteilerebene (Ebene -3) und dem Sperrengeschoss (Ebene -1) (Bild 5: Treppenanlagen Nr. 15 bis Nr. 18).

(4) Sperrengeschoss (Ebene -1)

Im Sperrengeschoss kommen die Treppenanlagen von der Zwischenpodestebene (Ebene -2) an (Bild 6: Treppenanlagen Nr. 19 bis Nr. 21). Ferner enden hier einzelne Fluchttreppenräume, die bis zur Bahnsteigebene (Ebene -5) (Bild 6: Treppenanlagen Nr. 1 und Nr. 4) bzw. bis zur Ballastebne (Ebene -4) (Bild 6: Treppenanlagen Nr. 5b und Nr. 9b) herabreichen. Über die Treppenanlagen Nr. 22 und Nr. 23 kann vom Sperrengeschoss das Freie erreicht werden. Am südlichen Ende ist der U-Bahnhof der SWM/MVG über eine Treppenanlage Nr. 24 angebunden (Bild 6).

(6) Die Betriebs- und Technikräume auf den Ebenen -3 bis -1 werden durch eine interne Treppenanlage Nr. 14 verbunden, die jedoch nicht für die Räumung der Personen von der Bahnsteigebene zur Verfügung steht (Bilder 4 bis 6). Die Treppenanlage Nr. 8 zwischen der GOK und der Bahnsteigebene steht ausschließlich der Feuerwehr zur Verfügung und wird für die Räumungsberechnung nicht angesetzt.

3 Grundlagen der Räumungsberechnung

Für die Räumungsberechnung in Anlehnung an die NFPA 130 [1] unter Berücksichtigung der verschärfenden Vorgaben des Forschungsvorhabens Notfallszenarien [2] werden folgende Grundlagen herangezogen:

(1) Maßgebende Personenzahl

Bei der Räumung der uPva MMHO wird angenommen, dass zwei vollbesetzte S-Bahn-Langzüge geräumt werden müssen. Abweichend von den bisherigen Räumungsberechnungen [6, 9] wird hier die größere Personenkapazität der S-Bahn-Fahrzeuge Typ ET 423 in Ansatz gebracht, die die Fahrzeuge seit einer Optimierung des Innenraums im Jahr 2020 aufweisen [10]. Ferner werden die wartenden Personen auf dem Mittelbahnsteig basierend auf aktuelleren Fahrgastprognosen [7] berücksichtigt.

Jeder modernisierte S-Bahn-Langzug (ET 423) besteht aus drei Zugeinheiten, die jeweils über 166 Sitzplätze und 446 Stehplätze verfügen [10]. Ein S-Bahn-Langzug mit drei Zugeinheiten befördert demnach 3 x (166 + 446) = 1.836 Personen, die jeweils zum benachbarten Seitenbahnsteig aussteigen [10]. Auf dem Mittelbahnsteig warten gemäß den Vorgaben aus der Verkehrsprognose [7] 1.308 Personen. Die gesamte uPva muss daher von 2 x 1.836 + 1.308 = 4.980 Personen geräumt werden (Tabelle 1).

Bahnsteig	Personenzahl	
nördlicher Seitenbahnsteig	aussteigende Personen:	1.836
Mittelbahnsteig	wartende Personen:	1.308
südlicher Seitenbahnsteig	aussteigende Personen:	1.836
	Summe:	4.980

Tabelle 1: Für die Räumung der uPva MMHO berücksichtigte Personenzahlen [7, 10]

(2) Verfügbare Treppenanlagen

Bei der Berechnung der Räumungszeit wird davon ausgegangen, dass die Personen die uPva MMHO über alle verfügbaren Treppenanlagen einschließlich der

Fluchttreppenräume verlassen. Es werden die in Tabelle 2 mit der jeweiligen Nutzbreite angegebenen Treppen berücksichtigt. Als Nutzbreite gilt die lichte Breite zwischen den Handläufen.

(3) Streckentunnel

Es wird angenommen, dass die Fahrgäste von der Bahnsteigebene (Ebene -5) nur über die Treppenanlagen bis ins Freie fliehen, nicht aber über die Streckentunnel.

(4) Vorlaufzeit

Damit die Beurteilung der Verrauchungssituation auf den Fluchtwegabschnitten durch einen Vergleich von Räumungszeit und Verrauchungszeit (Brandsimulation) möglich ist, muss sich der Beginn der Räumungszeit auf den Brandbeginn beziehen. Dies erfolgt mit Hilfe der Vorlaufzeit. Die Vorlaufzeit besteht aus der Restfahrzeit zur betrachteten uPva sowie der Alarmierungs- und Reaktionszeit der Fahrgäste. Für die Vorlaufzeit werden insgesamt 4,6 Minuten bis zum Fluchtbeginn angesetzt. Darin enthalten ist eine Restfahrzeit von der uPva München Ostbahnhof tief Personenbahnhof (MOPT) zur uPva MMHO von 2,6 Minuten.

(5) Personenverteilung

Die Personen werden auf die Treppenanlagen gemäß den verfügbaren Personenkapazitäten der Treppenanlagen verteilt (hydraulisches Prinzip). Die Personen, die sich zu Räumungsbeginn auf der Verteilerebene und dem Sperrengeschoss befinden, fliehen zeitgleich mit allen anderen Personen aus der uPva ins Freie und behindern hierdurch nicht die Flucht der Fahrgäste, die von der Bahnsteigebene kommen.

(6) Gehgeschwindigkeiten

a) auf der Bahnsteigebene und den Verbindungsgängen der Fluchttreppenräume (Ebene -5, Entrauchungsebene): 0,63 m/s [1]

b) auf der Verteilerebene (Ebene -3), dem Zwischenpodest (Ebene -2) dem Sperrengeschoss (Ebene -1) und an der Geländeoberfläche: 1 m/s [1]

c) Vertikalgeschwindigkeit der Personen beim Überwinden der Treppenanlagen (Fahrtreppen und feste Treppen) in Aufwärtsbewegung: 0,2 m/s

Treppenverbindung		Nr.	Treppenanlagen	Personenkapazität der Treppenanlagen [Personen / Minute]	Personenaufteilung auf die Treppenanlagen [Personen]	
Bahnsteig / Verteilerebene	nördlicher Seitenbahnsteig	1	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,2 m	3 x 33 = 99	666[2)]	
		2	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50	336[3)]	
		3	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m, davon 1 gesperrt	1 x 25 = 25	168[3)]	
		4	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,2 m	3 x 33 = 99	666[2)]	
	Mittelbahnsteig	5	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,2 m	3 x 33 = 99	435[2)]	
		6	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50	219[3)]	
		7	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50	219[3)]	
		8	1 feste Treppe, Nutzbreite 1,3 m	nur für Feuerwehr	---	
		9	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,2 m	3 x 33 = 99	435[2)]	
	südlicher Seitenbahnsteig	10	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,2 m	3 x 33 = 99	610[1)]	
		11	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m,	2 x 25 = 50	308[3)]	
		12	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50	308[3)]	
		13	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,2 m	3 x 33 = 99	610[1)]	
Verteilerebene / Zwischenpodestebene		15	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50	336 (Nr. 2) + 168 (Nr. 3) + 219 (Nr. 6) + 219 (Nr. 7) + 308 (Nr. 11) + 308 (Nr. 12) = 1.558	214
		16	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,4 m	4 x 33 = 132		565
		17	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,4 m	4 x 33 = 132		565
		18	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50		214
Zwischenpodestebene / Sperrengeschoss		19	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50	alle auf dem Zwischenpodest ankommenden Personen: 1.558	261
		20	1 feste Treppe, Nutzbreite 3,6 m	6 x 33 = 198		1.036
		21	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	2 x 25 = 50		261
Sperrengeschoss / Geländeoberfläche		22	1 feste Treppe, Nutzbreite 3,6 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	6 x 33 + 2 x 25 = 248	1.558 (Nr. 19 + Nr. 20 + Nr. 21) + 666 (Nr. 1) + 666 (Nr. 4) + 435 (Nr. 5) + 435 (Nr. 9) = 3.760	1.880
		23	1 feste Treppe, Nutzbreite 3,6 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	6 x 33 + 2 x 25 = 248		1.880

[1)] Personen fliehen direkt bis zur Geländeoberfläche; [2)] Personen fliehen direkt bis zum Sperrengeschoss; [3)] Personen fliehen zur Verteilerebene

Tabelle 2: Treppenanlagen der uPva MMHO und deren Nutzung bei der Räumung (4.980 Personen)

Die nach NFPA 130 [1] zulässige Vertikalgeschwindigkeit von 0,24 m/s wird auf ca. 80 % reduziert, um die größere körperliche Anstrengung und Ermüdung beim Überwinden der großen Höhenunterschiede zu berücksichtigen.

(7) Verbindungen zur U-Bahn der SWM/MVG

Die Verbindungsgänge zum U-Bahnhof der SWM/MVG auf der Verteilerebene (Ebene -3) und dem Sperrengeschoss (Ebene -1) werden im Ereignisfall durch Brandschutztore geschlossen. Sie stellen keine Fluchtwege für Fahrgäste der S-Bahn dar und werden daher bei der Räumungsberechnung nicht angesetzt.

(8) Gehspurbreiten

Den Räumungsberechnungen wird entsprechend dem Forschungsvorhaben Notfallszenarien [2] eine Gehspurbreite von 60 cm zugrunde gelegt. Die Treppenbreiten werden über diese Gehspurbreite in die ganzzahlige Anzahl von Gehspuren umgerechnet. Restbreiten (< 60 cm) werden nicht in die Räumungsberechnungen mit einbezogen (Sicherheitsreserve). Dies gilt insbesondere für Fahrtreppen. Diese haben in der uPva MMHO eine Nutzbreite von 1 m. In den Räumungsberechnungen wird pro Fahrtreppe jedoch nur eine Gehspur angesetzt (Sicherheitsreserve).

(9) Personenkapazität der Treppenanlagen

Pro Fluchtspur werden folgende Personenkapazitäten angesetzt:

a) Aufwärts begangene notwendige Treppe (feste Treppe): 33 Personen pro Minute

b) Aufwärts begangene, stillgesetzte Fahrtreppe: 25 Personen pro Minute

- Auch fahrende Fahrtreppen werden gemäß NFPA 130 [1] als Rettungswege zugelassen. Es wird in der Räumungsberechnung aber davon ausgegangen, dass alle Fahrtreppen zur Zeit der Räumung ausgeschaltet sind. Dies gilt in der Räumungsberechnung auch für aufwärts laufende Fahrtreppen (Sicherheitsreserve), die jedoch in der Praxis so lange wie möglich in Betrieb bleiben sollten, um z. B. älteren Menschen die Flucht zu erleichtern [2].
- Die Begehbarkeit der stehenden Fahrtreppe ist beschwerlicher, da die stehende Fahrtreppe im Bereich des Treppenzu- und -abgangs unterschiedlich hohe Treppenstufen besitzt und auf dem Weg nach oben die Fahrtreppenstufen höher sind als bei notwendigen (festen) Treppen. Um diesem Umstand

und der großen Tiefenlage der uPva Rechnung zu tragen, wird die Personenkapazität einer stehenden Fahrtreppe gegenüber den notwendigen Treppenanlagen in Anlehnung an [3] auf drei Viertel reduziert (33 x 3/4 ≈ 25).

- Gemäß [4] wird exemplarisch davon ausgegangen, dass während der Räumung der uPva eine der Fahrtreppen, die vom Bahnsteig in die Verteilerebene hochführen, z. B. wegen Reparaturarbeiten nicht benutzbar ist.

(10) Personenkapazität von Türen

Die fliehenden Personen müssen auf dem Weg zu den Treppenanlagen in den Fluchttreppenräumen und zu den Fahrtreppen deren Zugangstüren passieren. Türen weisen eine Personenkapazität von ca. 49 Personen pro Minute je Gehspur (0,6 m) auf [1].

Da die Breite der Zugangstüren vor den Treppenanlagen jeweils größer ist als die sich anschließenden Treppenanlagen folgt hieraus, dass immer die Treppenanlage aufgrund der geringeren Personenkapazität (z. B. feste Treppe: 33 Personen pro Minute und Spur) die maßgebende Engstelle ist. Aus diesem Grund kann der Einfluss der Türen auf die Räumungszeit vernachlässigt werden.

(11) Aufzüge

Aufzüge werden bei der Räumungsberechnung nicht berücksichtigt.

4 Berechnung der Räumungszeit in Anlehnung an die NFPA 130

Die Räumungszeit RZ wird in Anlehnung an die NFPA 130 [1] unter Berücksichtigung der verschärfenden Vorgaben des Forschungsvorhabens Notfallszenarien [2] für den längsten Rettungsweg aus der Addition der Geh- und Wartezeiten auf den einzelnen Rettungswegabschnitten zuzüglich der Vorlaufzeit (4,5 Minuten) ermittelt.

Es werden folgende Teilräumungszeiten ermittelt (Tabelle 3):

(1) Die Zeit RZ1 ist diejenige Räumungszeit, bis die letzte Person einen temporär raucharmen Bereich (z. B. hinter den Brandschutztüren bzw. im Rettungsstollen) erreicht hat.

(2) Die Zeit RZ2 ist diejenige Räumungszeit, bis die letzte Person die Geländeoberfläche erreicht hat und 10 m vom jeweiligen Ausgang entfernt ist.

Gemäß durchgeführter Vorberechnungen sind die Seitenbahnsteige maßgebend für die nachfolgenden Berechnungen, da von dort mehr Personen (Mittelbahnsteig 1.308; Seitenbahnsteig: je 1.836) fliehen und im Vergleich zum Mittelbahnstieg jeweils dieselbe

Treppenkapazität zur Verfügung steht. Da beide Seitenbahnsteige über dieselbe Treppenkapazität verfügen (298 Personen pro Minute), jedoch die Treppenanlagen Nr. 1 und Nr. 4 des nördlichen Seitenbahnsteigs über das Sperrengeschoss bis ins Freie führen – die Treppenanlagen Nr. 10 und Nr. 13 des südlichen Bahnsteigs hingegen direkt ins Freie – wird am nördlichen Seitenbahnsteig die nicht nutzbare Fahrtreppe angesetzt, um die maßgebende Räumungszeit zu ermitteln (Tabelle 2).

Für die längste Räumungszeit RZ1 (alle Personen sind in temporär raucharmen Bereichen) ist eine Flucht über die Fahrtreppenanlagen vom nördlichen Seitenbahnsteig maßgebend. Die längste Räumungszeit RZ2 bis zum Erreichen des Freien (an der Geländeoberfläche) ergibt sich für diejenigen Personen, die vom mittleren Bereich des nördlichen Seitenbahnsteigs über die Treppenanlage Nr. 3 in die Verteilerebene und im weiteren Verlauf bis in das Sperrengeschoss und von dort weiter ins Freie fliehen (Bilder 1 bis 6; Tabelle 3).

Zur Berechnung der Räumungszeit müssen Geh- und Wartezeiten vorliegen. Die Wartezeiten werden mit Hilfe von Schleusungszeiten ermittelt (Tabelle 3). Als Schleusungszeit wird diejenige Zeit verstanden, die eine Personengruppe benötigt, um z. B. einen Engpass vor einem Treppenaufgang zu passieren.

Die Räumungszeit RZ ergibt sich aus der Addition der Gehzeiten T_i, den Wartezeiten W_i und der Vorlaufzeit bestehend aus der Restfahrzeit bis zur uPva MMHO, der Alarmierungszeit und der Reaktionszeit der Fahrgäste (Tabelle 3). Für die Ermittlung der Gehzeiten T_1 bis T_9 für die einzelnen Rettungswegabschnitte werden die entsprechenden Weglängen und Höhenunterschiede in der uPva [5] in Verbindung mit den vorstehend genannten Gehgeschwindigkeiten herangezogen (Tabelle 3).

Für die Ermittlung der Wartezeiten auf einzelnen Rettungswegabschnitten werden folgende Schleusungszeiten benötigt:

(1) Schleusungszeit vor dem durch die Brandschutztüren geschützten temporär raucharmen Bereich

Die Schleusungszeit S_1 wird unter Berücksichtigung der verfügbaren Staufläche vor den Fahrtreppen (temporär raucharmer Bereich) ermittelt:

a) Personenanzahl vor dem Zugang zur Treppenanlage Nr. 3 (Tabelle 2): 168 Personen

b) Personenkapazität der Wartefläche im temporär raucharmen Bereich vor der Treppenanlage Nr. 2

ca. 20 m² x 2 Personen pro m² = 40 Personen

c) Personenkapazität der Treppenanlage Nr. 3

1 Spur x 25 Personen pro Minute je Spur = 25 Personen pro Minute
(1 Fahrtreppe nicht begehbar)

d) Schleusungszeit

Von den insgesamt 168 Personen, die zur Treppenanlage Nr. 3 fliehen, können zunächst nur 40 Personen in den temporär raucharmen Wartebereich gelangen. Die Staufläche reicht daher nicht für alle 168 Personen.

Die restlichen 168 - 40 = 128 Personen müssen auf dem ungeschützten Bahnsteig so lange warten, bis entsprechend viele Personen den Wartebereich vor der Treppenanlage Nr. 3 über die eine Fahrtreppe verlassen haben und somit wieder Aufstellungsfläche im temporär raucharmen Bereich hinter den Brandschutztüren frei wird.

S_1 = 128 Personen / 25 Personen pro Minute = 5,1 Minuten

(2) Schleusungszeit am Fuß der vom nördlichen Seitenbahnsteig aufwärts führenden Treppenanlage Nr. 3 (Bild 1):

a) Personenanzahl vor der Treppenanlage Nr. 3 auf der Bahnsteigebene: 168 Personen (Tabelle 2)

b) Personenkapazität der von der Bahnsteigebene aufwärts führenden Treppenanlage Nr. 3: 1 Spur x 25 Personen pro Minute je Spur = 25 Personen pro Minute (1 Fahrtreppe nicht begehbar; Tabelle 2)

c) Schleusungszeit S_2 = 168 Personen / 25 Personen pro Minute = 6,7 Minuten

(3) Schleusungszeit am Fuß der von der Verteilerebene (Ebene -3) zum Zwischenpodest (Ebene -2) führenden Treppenanlage Nr. 16 (Bild 4):

a) Personenanzahl vor der Treppenanlage Nr. 16 auf der Verteilerebene: 565 Personen

b) Personenkapazität der von der Verteilerebene (Ebene -3) zum Zwischenpodest (Ebene -2) führenden Treppenanlage Nr. 16: 4 Spuren x 33 Personen pro Minute je Spur = 132 Personen pro Minute

c) Schleusungszeit S_3 = 565 Personen / 132 Personen pro Minute = 4,3 Minuten

(4) Schleusungszeit am Fuß der vom Zwischenpodest (Ebene -2) zum Sperrengeschoss (Ebene -1) führenden Treppenanlage Nr. 20 (Bild 5)

a) Personenanzahl vor der Treppenanlage Nr. 20 auf dem Zwischenpodest (Ebene -2) = 1.036 Personen

b) Personenkapazität der vom Zwischenpodest (Ebene -2) zum Sperrengeschoss (Ebene -1) führenden Treppenanlage Nr. 20: 6 Spuren x 33 Personen pro Minute je Spur = 198 Personen (Tabelle 2)

c) Schleusungszeit S_4 = 1.036 Personen / 198 Personen pro Minute = 5,2 Minuten

(5) Schleusungszeit am Fuß der vom Sperrengeschoss (Ebene -1) ins Freie führenden Treppenanlage Nr. 22 (Bild 6)

a) Personenanzahl vor der Treppenanlage Nr. 22: 1.880 Personen

b) Personenkapazität der vom Sperrengeschoss (Ebene -1) ins Freie führenden Treppenanlage Nr. 22: 6 Spuren x 33 Personen pro Minute je Spur + 2 Spuren x 25 Personen pro Minute je Spur = 248 Personen pro Minute

c) Schleusungszeit S_5 = 1.880 Personen / 248 Personen pro Minute = 7,6 Minuten

Mit den Schleusungszeiten S_1 bis S_5 können die zugehörigen Wartezeiten W_1 bis W_5 berechnet werden. Ferner können mit diesen Angaben die Räumungszeiten RZ1 und RZ2 ermittelt werden, welche auf volle Minuten gerundet werden (Tabelle 3).

5 Räumungssimulation mit ASERI

Für die computergestützten Räumungssimulationen mit ASERI (Individualmodell) wurden unter anderem folgende Festlegungen getroffen:

(1) Die Personen werden zu Simulationsbeginn gleichmäßig in den ihnen zugewiesenen Bereichen (Zugeinheit und Mittelbahnsteig) verteilt (Bild 7).

(2) Bei der Flucht aus den Fahrzeugen auf die Seitenbahnsteige nutzen die Personen die nächstliegende Fahrzeugtür zum angrenzenden Seitenbahnsteig.

(3) Den Personen wird der Modus „dynamische Ausgangswahl" zugewiesen. Die Personen fliehen zum nächstliegenden Ausgang, nutzen aber z. B. bei Staubildung auch andere erreichbare Ausgänge.

(4) Eine Fahrtreppe der Treppenanlagen Nr. 3 auf dem nördlichen Seitenbahnsteig bleibt für das Räumungsszenario unberücksichtigt (Sicherheitsreserve).

(5) Die anderen Fahrtreppen werden als stehend angesetzt.

Zeitabschnitte der Räumung		Dauer [min]
Zeit bis Fluchtbeginn (bestehend aus der Restfahrzeit bis in die uPva MMHO, der Alarmierungszeit und der Reaktionszeit der Fahrgäste)		4,6
Gehzeiten der Person, die den längsten Rettungsweg hat	T_1 = Zeit zum Erreichen des temporär raucharmen Bereichs vor der Treppenanlage Nr. 3 (ca. 30 m / 0,63 m/s)	0,8
	T_2 = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschieds zwischen Bahnsteigebene (Ebene -5) und Verteilerebene (Ebene -3) (ca. 14,1 m / 0,2 m/s)	1,2
	T_3 = Zeit zum Erreichen der Treppenanlage Nr. 16, die zum Zwischenpodest (Ebene -2) führt (ca. 17 m / 1 m/s)	0,3
	T_4 = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschieds zwischen Verteilerebene (Ebene -3) und dem Zwischenpodest (Ebene -2) (ca. 7,4 m / 0,2 m/s)	0,6
	T_5 = Zeit zum Erreichen der Treppenanlage Nr. 20, die zum Sperrengeschoss (Ebene -1) führt (ca. 5 m / 1 m/s)	0,1
	T_6 = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschieds zwischen Zwischenpodest (Ebene -2) und Sperrengeschoss (Ebene -1) (ca. 7,4 m / 0,2 m/s)	0,6
	T_7 = Zeit zum Erreichen der Treppenanlage Nr. 22, die vom Sperrengeschoss (Ebene -1) zur Geländeoberfläche ins Freie (ca. 50 m / 1 m/s)	0,8
	T_8 = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschieds zwischen Sperrengeschoss (Ebene -1) und der Geländeoberfläche (ca. 8,2 m / 0,2 m/s)	0,7
	T_9 = Zeit für den Weg an der Geländeoberfläche (ca. 10 m / 1 m/s)	0,2
Wartezeit an den Treppenaufgängen	Wartezeit vor dem temporär raucharmen Bereich: $W_1 = S_1 - T_1$ = (5,1 – 0,8) min	4,3
	Wartezeit am Fuß der vom Bahnsteig zur Verteilerebene (Ebene -3) aufwärts führenden Treppe: $W_2 = S_2 - S_1$ = (6,7 – 5,1) min	1,6
	Wartezeit auf der Verteilerebene (Ebene -3) am Fuß der Treppe zum Zwischenpodest (Ebene -2): $W_3 = S_3 - \max.(S_1, S_2)$ = (4,3 – 6,7) min	0
	Wartezeit auf dem Zwischenpodest (Ebene -2) am Fuß der Treppe zum Sperrengeschoss (Ebene -1): $W_4 = S_4 - \max.(S_1, S_2, S_3)$ = (5,2 – 6,7) min	0
	Wartezeit am Fuß der Treppe vom Sperrengeschoss (Ebene -1) zur Geländeoberfläche: $W_5 = S_5 - \max.(S_1, S_2, S_3, S_4)$ = (7,6 – 6,7) min	0,9
Räumungszeit RZ1 (letzte Person erreicht geschützten Bereich) = 4,6 min + T_1 + W_1	**ca.**	**10**
Räumungszeit RZ2 (bis ins Freie) = 4,6 min + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + W_1 + W_2 + W_3 + W_4+ W_5	**ca.**	**17**

Tabelle 3: Ermittelte Räumungszeit für die uPva MMHO (Rettungsweg über die Treppenanlagen im zentralen Zugangsbauwerk bis ins Sperrengeschoss und weiter ins Freie)

(6) Die freie Gehgeschwindigkeit entspricht einer Gleichverteilung mit Mittelwert 1,1 m/s und einer Standardabweichung von 0,4 m/s.

(7) Es wurden insgesamt zehn Simulationsläufe durchgeführt.

Im Ergebnis kann zusammenfassend festgestellt werden, dass bei den Räumungssimulationen mit ASERI unter Berücksichtigung einer Vorlaufzeit von 4,6 Minuten die letzte Person ca. 9 Minuten nach Brandbeginn einen temporär raucharmen Bereich hinter den Brandschutztüren erreicht (RZ1; Bild 8). Die letzte Person hat etwa 18 Minuten nach Brandbeginn das Freie erreicht (RZ2; Bild 9).

6 Ergebnis

Mit Hilfe der computergestützten Räumungssimulation (ASERI) und in Anlehnung an die NFPA 130 [1] unter Berücksichtigung der verschärfenden Vorgaben des Forschungsvorhabens Notfallszenarien [2] wurden Räumungszeiten für die uPva München MMHO ermittelt (Tabelle 4).

	AESRI [min]	In Anlehnung an die NFPA 130 [min]
RZ1: Alle Personen befinden sich in einem temporär raucharmen Bereich	9	10
RZ2: Alle Personen haben das Freie erreicht	18	17

Tabelle 4: Räumungszeiten der beiden Berechnungsmethoden einschließlich der Vorlaufzeit (4,6 Minuten)

Die beiden Berechnungsmethoden führen in der Größenordnung zu vergleichbaren Ergebnissen bei den maßgebenden Räumungszeiten. Hinsichtlich der Räumungszeit der Personen auf der Bahnsteigebene bis in einen temporär raucharmen Bereich (RZ1) ergibt die Berechnung in Anlehnung an die NFPA 130 unter Berücksichtigung der verschärfenden Vorgaben des Forschungsvorhabens Notfallszenarien einen etwas größeren Wert. Hinsichtlich der Räumungszeit bis ins Freie (RZ2) führt hingegen die Simulation zu einer etwas längeren Zeitspanne.

Bei Zugrundelegung der in Anlehnung an die NFPA 130 bestimmten Räumungszeit bis in einen temporär raucharmen Bereich (RZ1), muss die Bahnsteigebene mindestens bis zur 10. Minute nach Brandbeginn raucharm gehalten werden, damit alle Personen in temporär raucharmen Bereiche hinter den Brandschutztüren gelangen können. Die Rettungswege entlang der temporär raucharmen Bereiche dürfen frühestens 18 Minuten nach Brandbeginn verrauchen, da erst dann alle Personen das Freie erreicht haben (Tabelle 4).

7 Verwendete Unterlagen

[1] NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems; Ausgabe 2020, National Fire Protection Association, Quincy, USA

[2] Notfallszenarien für Tunnelanlagen des schienengebundenen ÖPNV und deren Bewältigung, Bericht der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. - STUVA -, Köln, zum Forschungsauftrag FE 70.653/2001 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2005

[3] Bosch, J. W.: North-South-Line: The Development of a new Safety Concept; International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, Dezember 1999

[4] DB Station & Service AG, Anlagen- und Instandhaltungsmanagement (I.SBI): Planungsvorgaben für die brandschutztechnische Ausstattung unterirdischer Verkehrsanlagen (uPva), Stand 1. Februar 2018

[5] Planunterlagen der Planungsgemeinschaft 2. S-Bahn-Stammstrecke München Gesamtplanung Los 2, Haltepunkt Marienhof, Vorabzug, Stand Februar 2021

(1) Grundriss Bahnsteigebene -5

(2) Grundriss Entrauchungsebene -5

(3) Grundriss Ballastebene -4

(4) Grundriss Verteilerebene -3

(5) Grundriss Zwischenebene -2

(6) Grundriss Sperrengeschoss Ebene -1

(6) Grundriss Technik-Zwischenebene -1

(7) Grundriss Ebene 0 (Oberfläche)

[6] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, uPva MMHO: Räumungsberechnung, STUVAtec, STU2BR4BE0002m_Räum, 31. Oktober 2008

[7] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, E-Mail der DB Netz AG, Frau Büttner, an die STUVAtec am 24. März 2021 mit Angaben zu den wartenden Personen in der uPva MMHO, resultierend aus den Nachfragewerten der Station Marienhof der INTRAPLAN Consult GmbH vom 23. Juli 2020

[8] 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

[9] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, uPva MMHO: Räumungsberechnung, STUVAtec, 4019-HHAP-100, 13. Januar 2017

[10] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, E-Mail der DB Regio AG (S-Bahn München), Herr Mader, an die DB Netz AG, Herr Arizti, am 28. Juli 2017 mit Angaben zum neuen Fahrzeuglayout der ET 423 mit erhöhter Personenkapazität

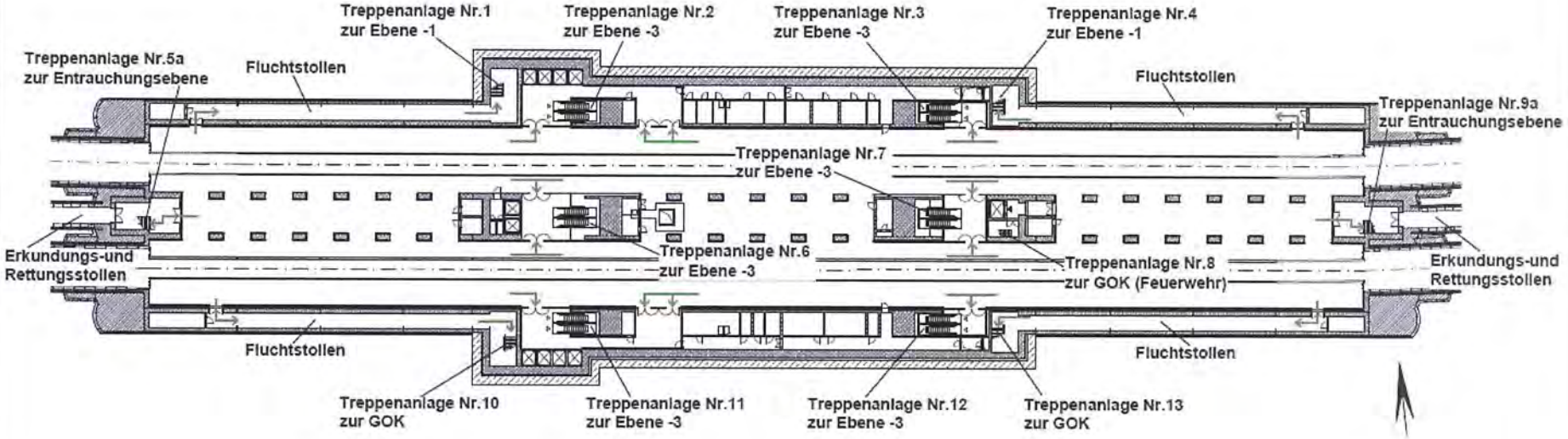

Bild 1: Bahnsteigebene der uPva MMHO (Ebene -5, Grundriss, Prinzip)

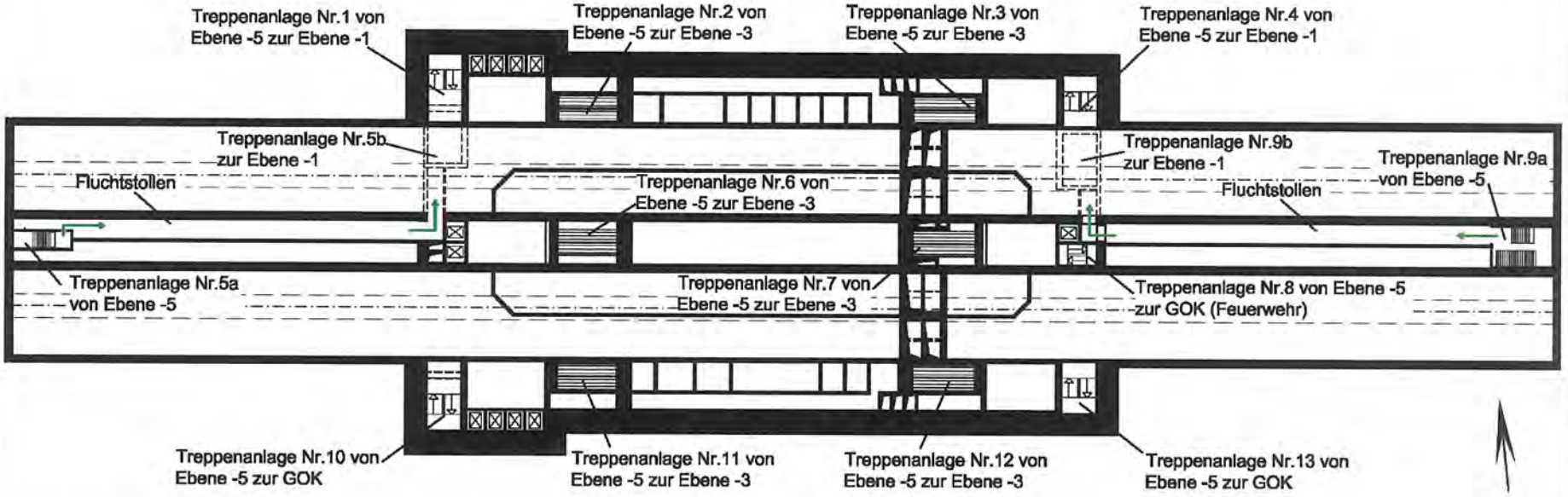

Bild 2: Entrauchungsebene der uPva MMHO (Grundriss, Prinzip)

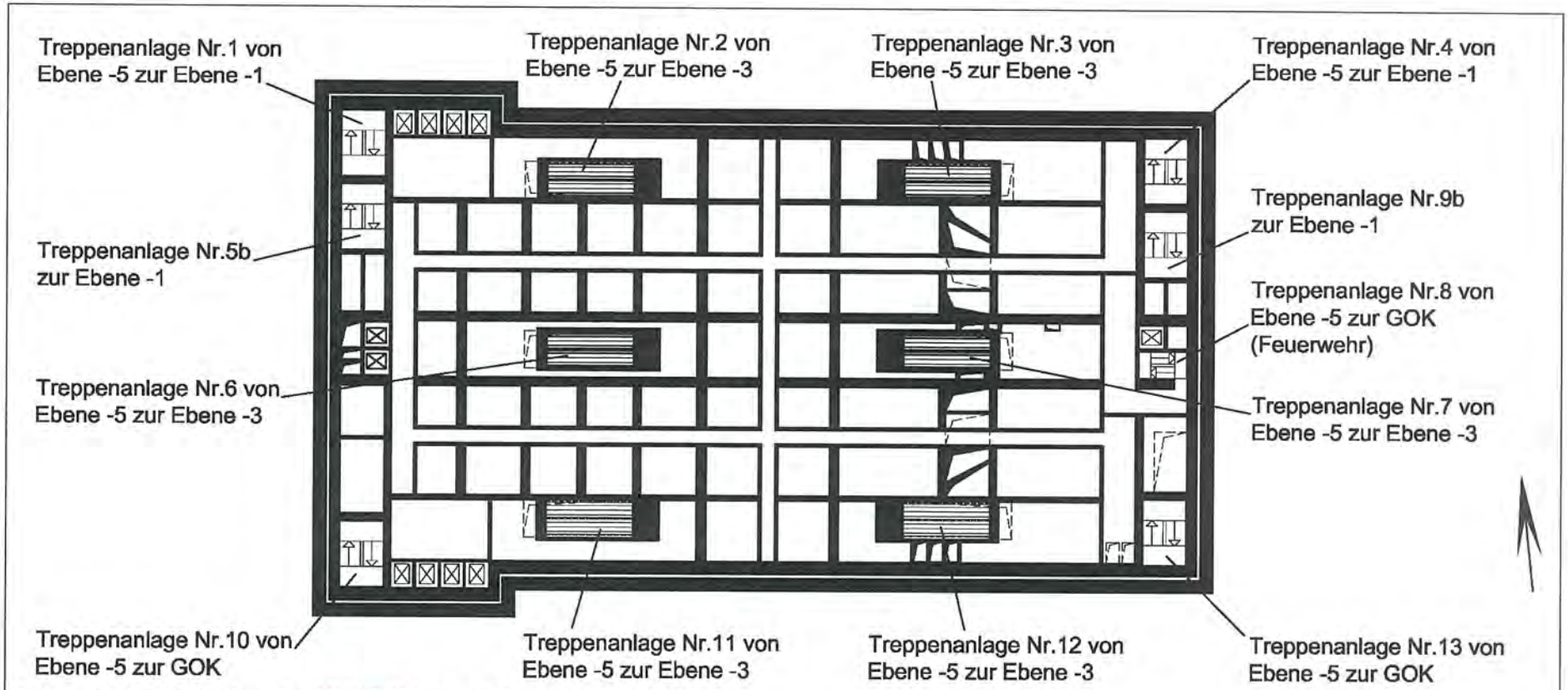

Bild 3: Ballastebene der uPva MMHO (Ebene -4, Grundriss, Prinzip)

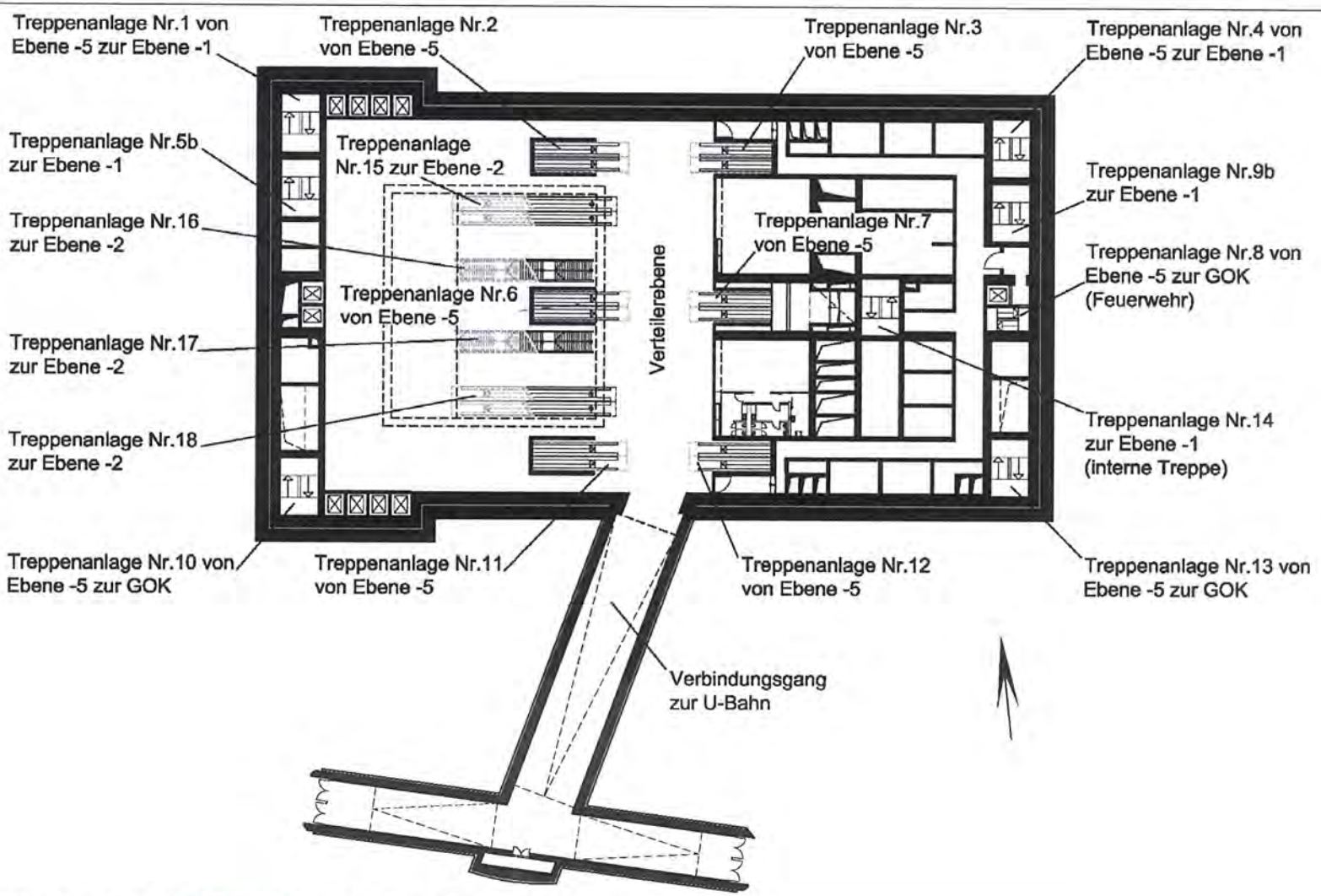

Bild 4: Verteilerebene der uPva MMHO (Ebene -3, Grundriss, Prinzip)

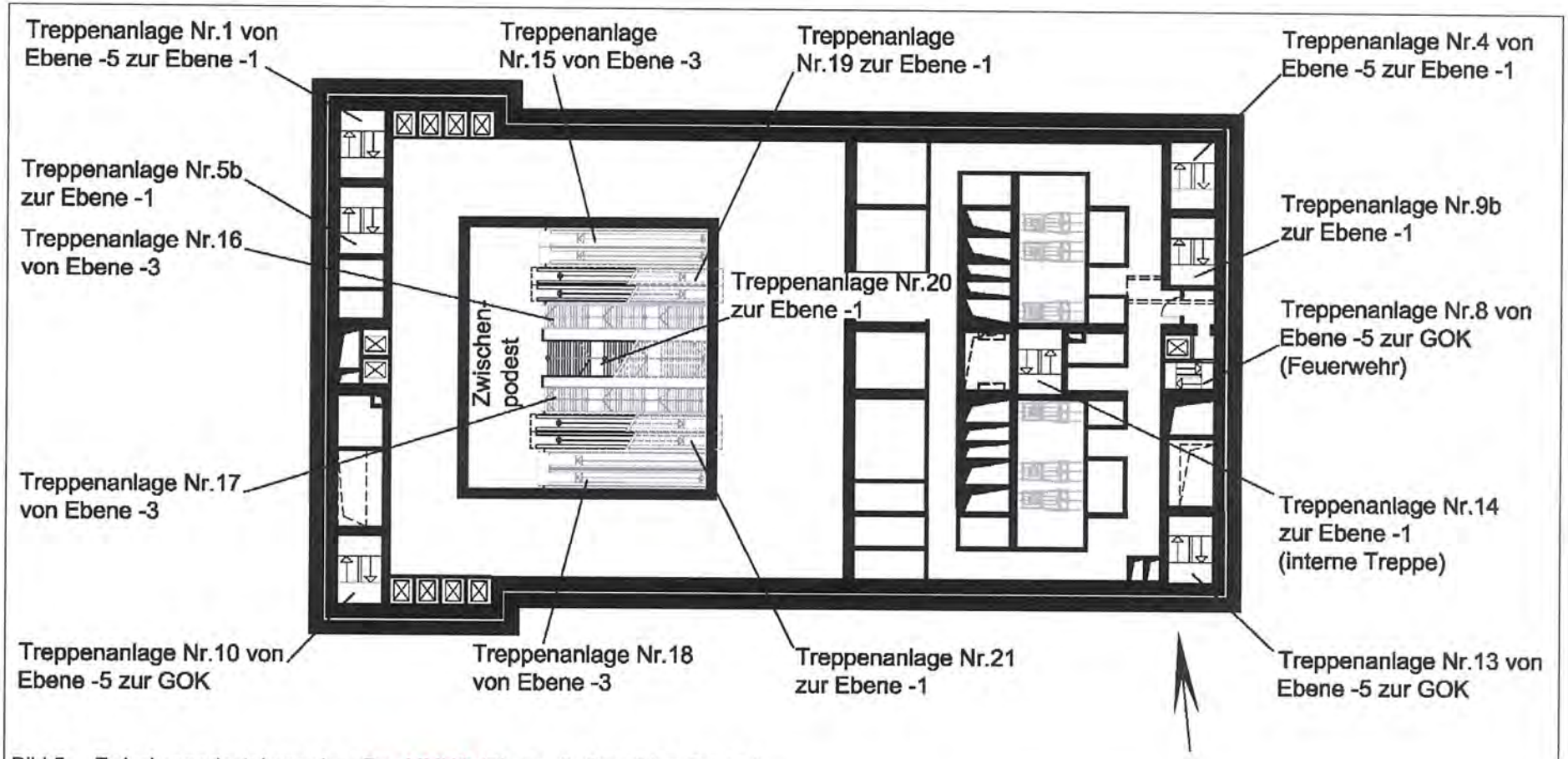

Bild 5: Zwischenpodestebene der uPva MMHO (Ebene -2, Grundriss, Prinzip)

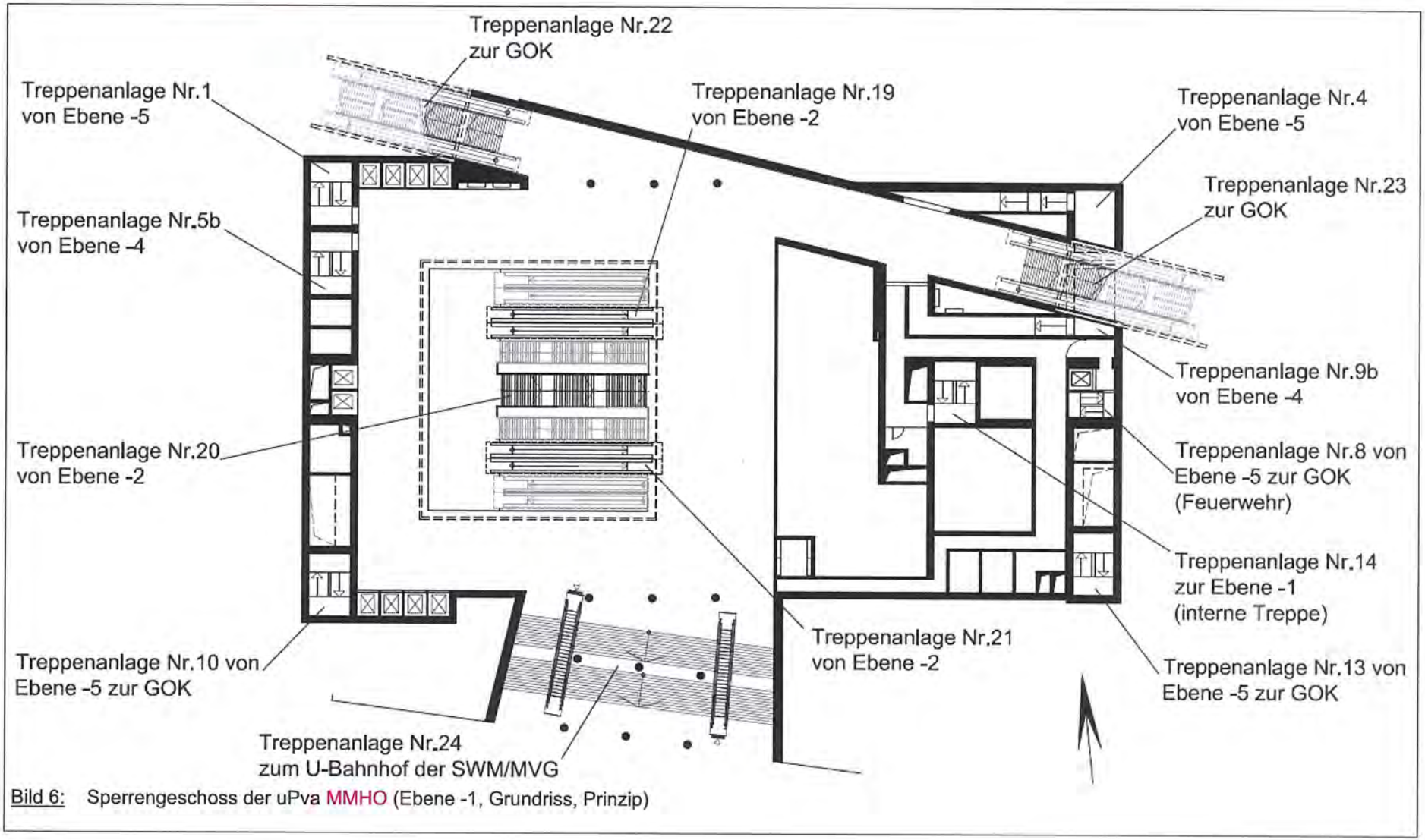

Bild 6: Sperrengeschoss der uPva MMHO (Ebene -1, Grundriss, Prinzip)

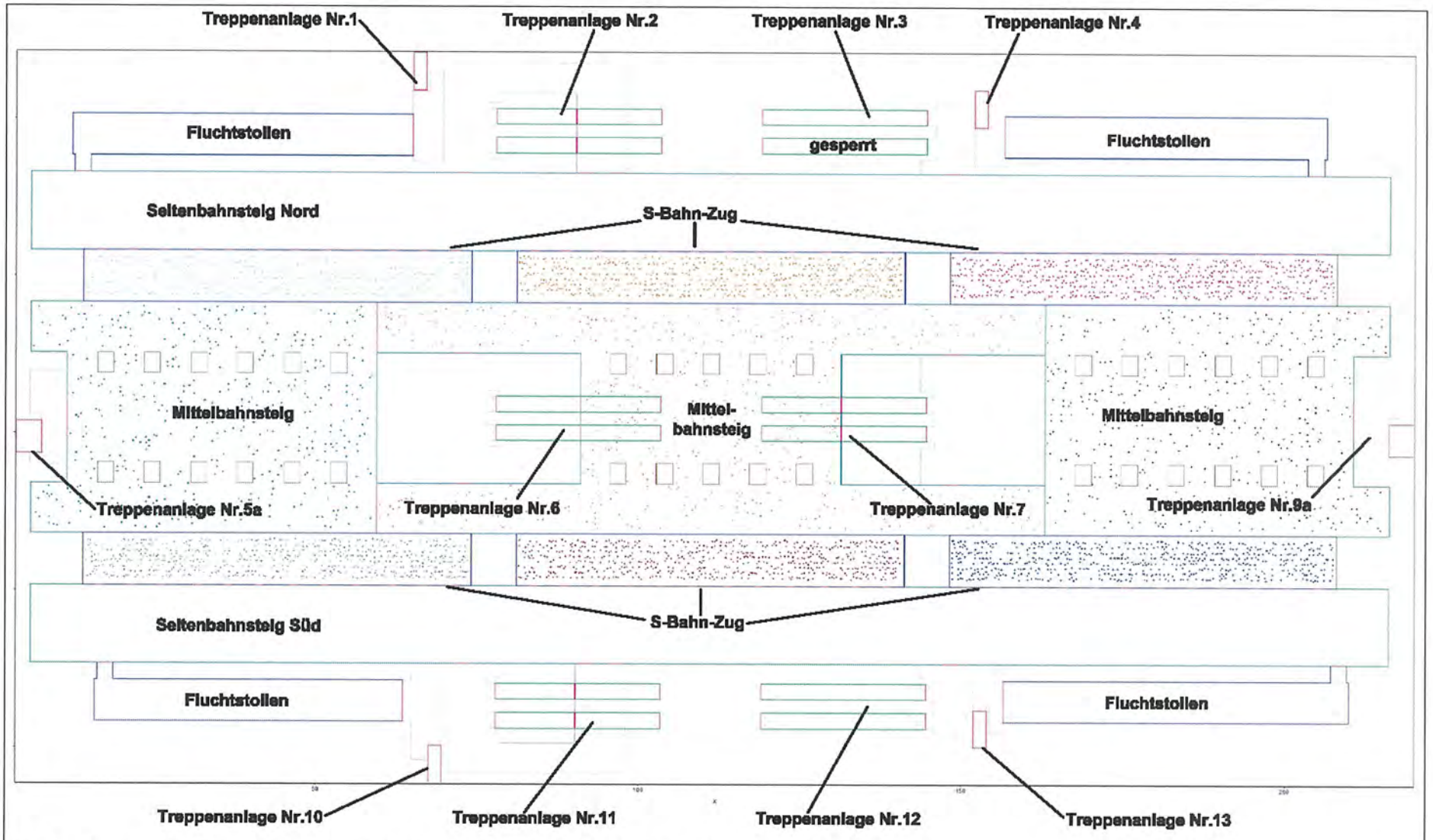

Bild 7: Personenverteilung zu Simulationsbeginn (Grundriss, Prinzip, Darstellung nicht maßstäblich)

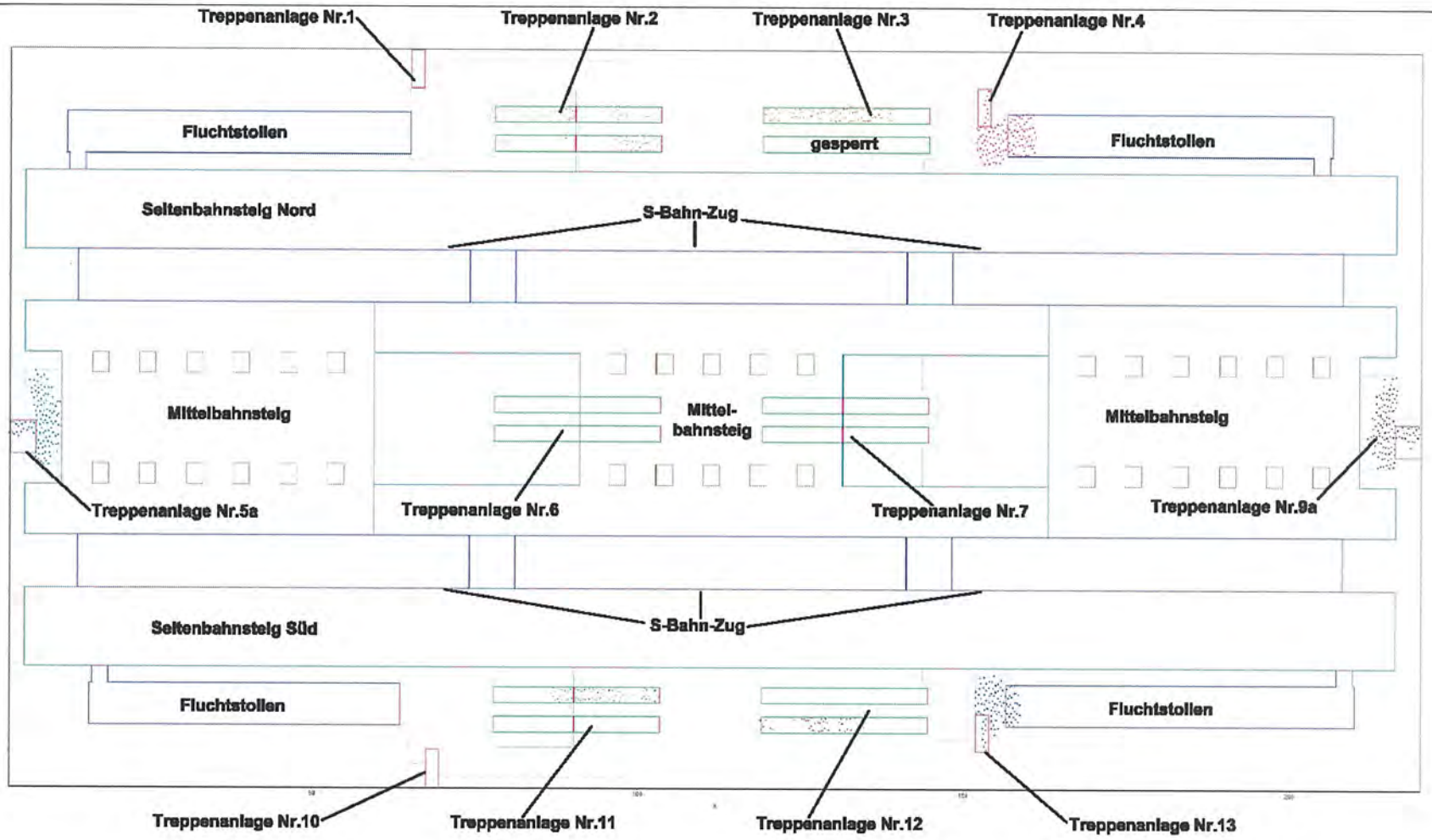

Bild 8: Letzte Person verlässt den Mittelbahnsteig und betritt den temporär raucharmen Bereich vor der Treppenanlage Nr. 2 rund 9 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip, Darstellung nicht maßstäblich)

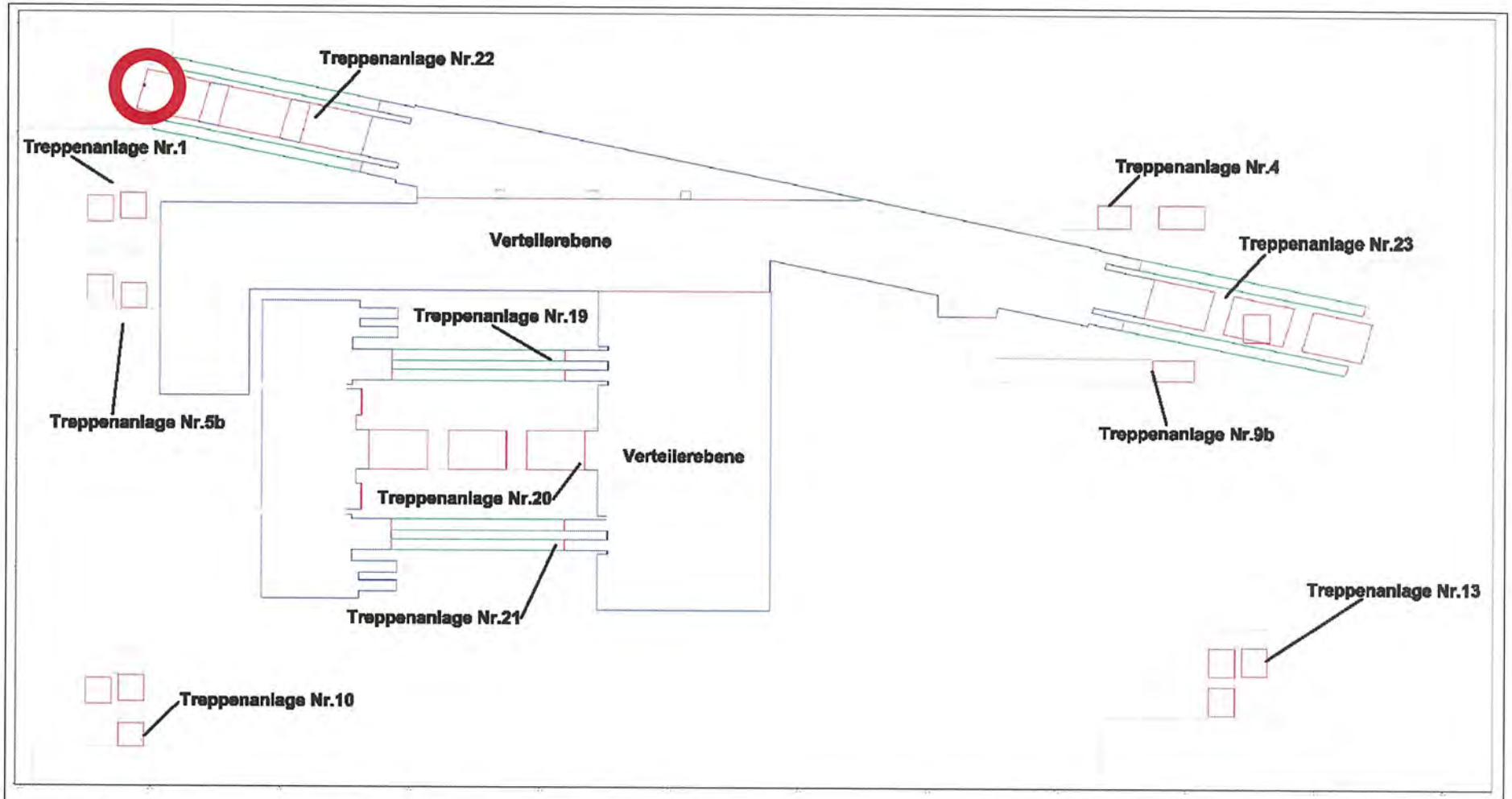

Bild 9: Letzte Person erreicht das Freie an der Geländeoberkante rund 18 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip, Darstellung nicht maßstäblich)