

Studiengesellschaft für  
Tunnel und Verkehrs-  
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41  
50827 Köln  
2017109-HHAP-080

## **Unterlage 18.1.1**

### **Anhang 2**

## **2. S-Bahn-Stammstrecke München**

### **Räumungsberechnung für die uPva MOPT**

Auftraggeber: DB Netz AG  
Arnulfstraße 27  
80335 München

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

**Inhaltsverzeichnis**

1	Ausgangssituation .....	3
2	Objektbeschreibung .....	3
3	Grundlagen der Räumungsberechnung.....	8
4	Berechnung der Räumungszeit in Anlehnung an die NFPA 130 .....	13
5	Räumungssimulation mit ASERI .....	18
6	Zusammenfassende Bewertung .....	23
7	Verwendete Unterlagen .....	24

## 1 Ausgangssituation

Die uPva München Ost Personenbahnhof tief (MOPT) erhält einen ca. 210 m langen Mittelbahnsteig. An jeder der beiden Bahnsteigkanten kann ein S-Bahn-Langzug halten. Von der Bahnsteigebene stehen den Personen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, das Freie zu erreichen (Bild 1). Hierbei ist zu unterscheiden zwischen den beiden Fluchttreppenräumen an den Bahnsteigenden, die direkt ins Freie an der Geländeoberkante (GOK) führen und den sechs Treppenanlagen, über die zunächst die Verteiler Ebene -1 (Sperrengeschoss) erreicht wird.

Im Sperrengeschoss sind großflächig Verkaufsflächen angeordnet. Daher wird das Sperrengeschoss bei der Räumungsberechnung als Passage betrachtet und es werden zusätzlich Personen aus diesen Läden sowie der davorliegenden Verkehrsfläche/Passage in Ansatz gebracht.

Es wird nachfolgend untersucht, welche Räumungszeiten sich bei einem Brandereignis in der uPva ergeben, um nachfolgend diese Räumungszeiten auf den Rettungswegabschnitten mit den Ergebnissen der Brandsimulation vergleichen zu können.

## 2 Objektbeschreibung

Die uPva MOPT ist eine Durchgangshaltestelle für S-Bahnen und kann im Ereignisfall über folgende Treppenanlagen bis ins Freie an der GOK verlassen werden:

- (1) Treppenanlagen zwischen Bahnsteigebene (Ebene -2) und dem Freien an der GOK

An beiden Bahnsteigenden steht jeweils ein durch Brandschutztüren geschützter Fluchttreppenraum mit einer festen Treppe zur Verfügung, über den die Personen den Bahnsteig direkt bis ins Freie verlassen können (Treppenanlagen Nr. 1 und Nr. 8; Bilder 1 bis 3; Tabelle 2).

- (2) Treppenanlagen zwischen Bahnsteigebene (Ebene -2) und Sperrengeschoss (Ebene -1)

Entlang des Bahnsteigs sind in gleichmäßigen Abständen sechs Treppenanlagen angeordnet. Diese bestehen jeweils aus einer festen Treppe, zwei Fahrtreppen, oder aus einer Kombination von Fahr- und Festtreppen. Die Aufgänge dieser sechs Treppenanlagen Nr. 2 bis Nr. 7 liegen jeweils geschützt hinter einer Abtrennung aus Brandschutzverglasung und zugehörigen Brandschutztüren, die im Brandfall bei Raucheintritt automatisch schließen. Diese Treppen verbinden die

Bahnsteigebene mit dem darüber liegenden Sperrengeschoss -1 (Bilder 1 und 2; Tabelle 2).

- (3) Treppenanlagen zwischen dem Sperrengeschoss (Ebene -1) und dem Freien an der GOK

Vom Sperrengeschoss stehen insgesamt drei Treppenanlagen zur Verfügung, die direkt ins Freie führen. Dies ist zum einen die Treppenanlage Nr. 9/9a mit einer südlich verlaufenden festen Treppe und zwei westlich verlaufenden Fahrtreppen, die am südlichen Ende der Personenunterführung (PU) Friedenstraße zur GOK führen. Etwa mittig zum Sperrengeschoss, südlich der Treppenanlage Nr. 3, ist die Treppenanlage Nr. 10 mit einer festen Treppe und zwei Fahrtreppen Richtung Westen angeordnet. Ferner ist im Osten des Sperrengeschosses auf der Südseite die Treppenanlage Nr. 11 mit einer festen Treppe Richtung Osten angeordnet (Bild 2; Tabelle 2).

- (4) Treppenanlagen zwischen dem Sperrengeschoss (Ebene -1) und der Zwischenpodestebene (Ebene -1)

Die Treppenanlage Nr. 12 führt im Osten des Sperrengeschosses (Ebene -1) an der Nordseite in die darüber liegende Zwischenpodestebene (Ebene -1). Die Treppenanlage Nr. 12 besteht aus einer festen Treppe und zwei Fahrtreppen (Bilder 2 und 3; Tabelle 2).

- (5) Treppenanlagen zwischen der Zwischenpodestebene (Ebene-1) und dem Freien an der GOK

Die Treppenanlage Nr. 13 führt von dem Zwischenpodest im Osten hinauf ins Freie an die GOK (Bild 3). Die Treppenanlage besteht aus einer festen Treppe und zwei Fahrtreppen (Tabelle 2).

- (6) Angeschlossene Personenunterführungen

Im Sperrengeschoss (Ebene -1) sind im Westen zwei Personenunterführungen (PU-West (neu) und PU Friedenstraße) angebunden. Über die PU-West (neu) können in Richtung Norden die oberirdischen Bahnsteige der bestehenden oPva München Ostbahnhof sowie deren Sperrengeschossebene erreicht werden. In entgegengesetzter Richtung liegt die PU Friedenstraße, welche zu den Treppenanlagen Nr. 9/9a führt (Bild 2).

Von der Zwischenpodestebene im Osten führt in nördlicher Richtung die bestehende PU-Ost, welche an die oberirdischen Bahnsteige der bestehenden oPva Ostbahnhof sowie deren Sperrengeschossebene -1 angebunden ist (Bild 3).

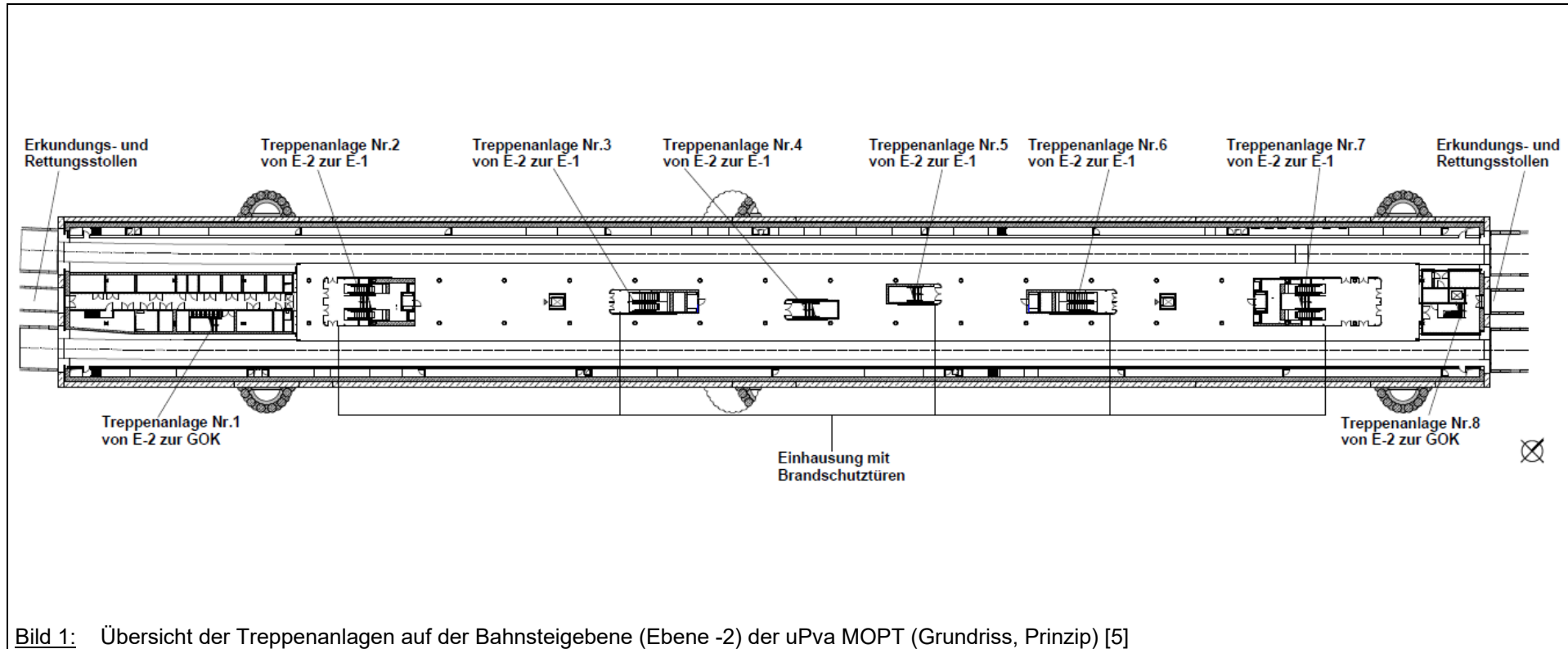
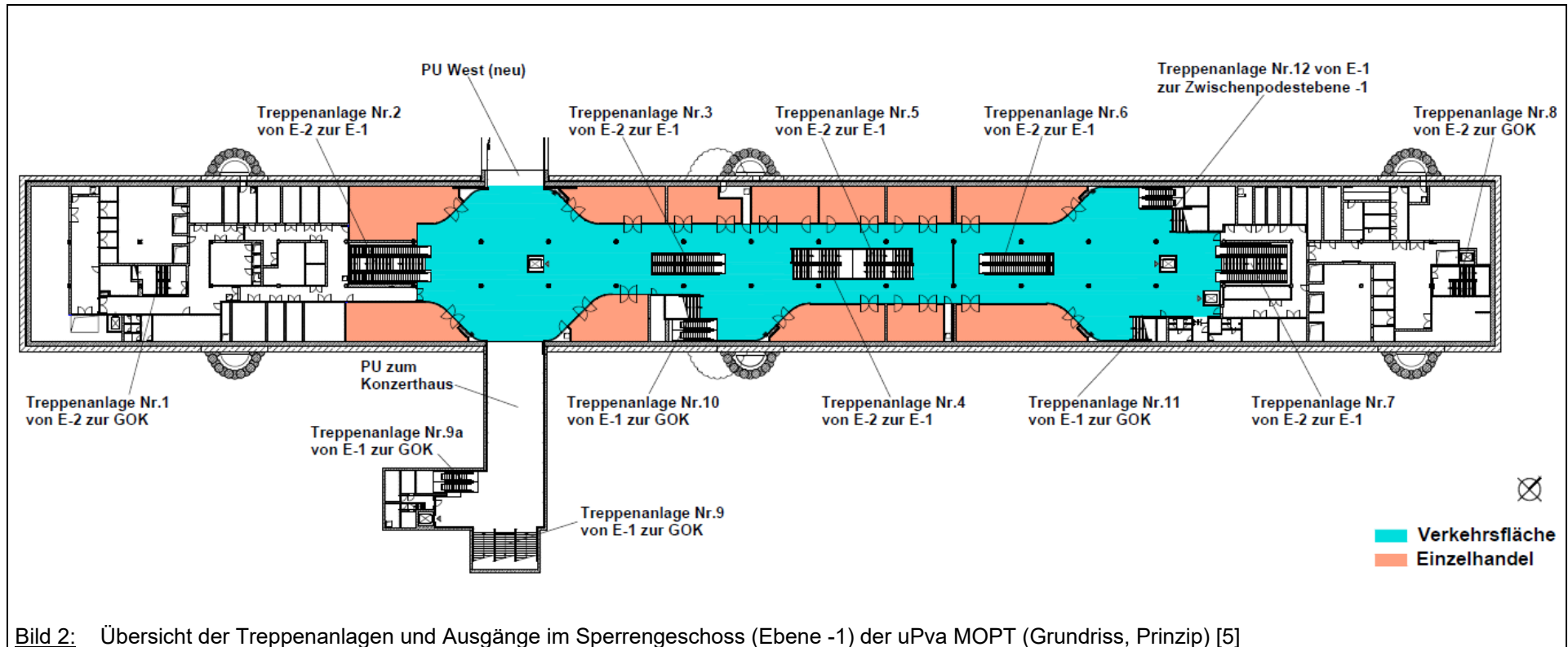


Bild 1: Übersicht der Treppenanlagen auf der Bahnsteigebene (Ebene -2) der uPva MOPT (Grundriss, Prinzip) [5]



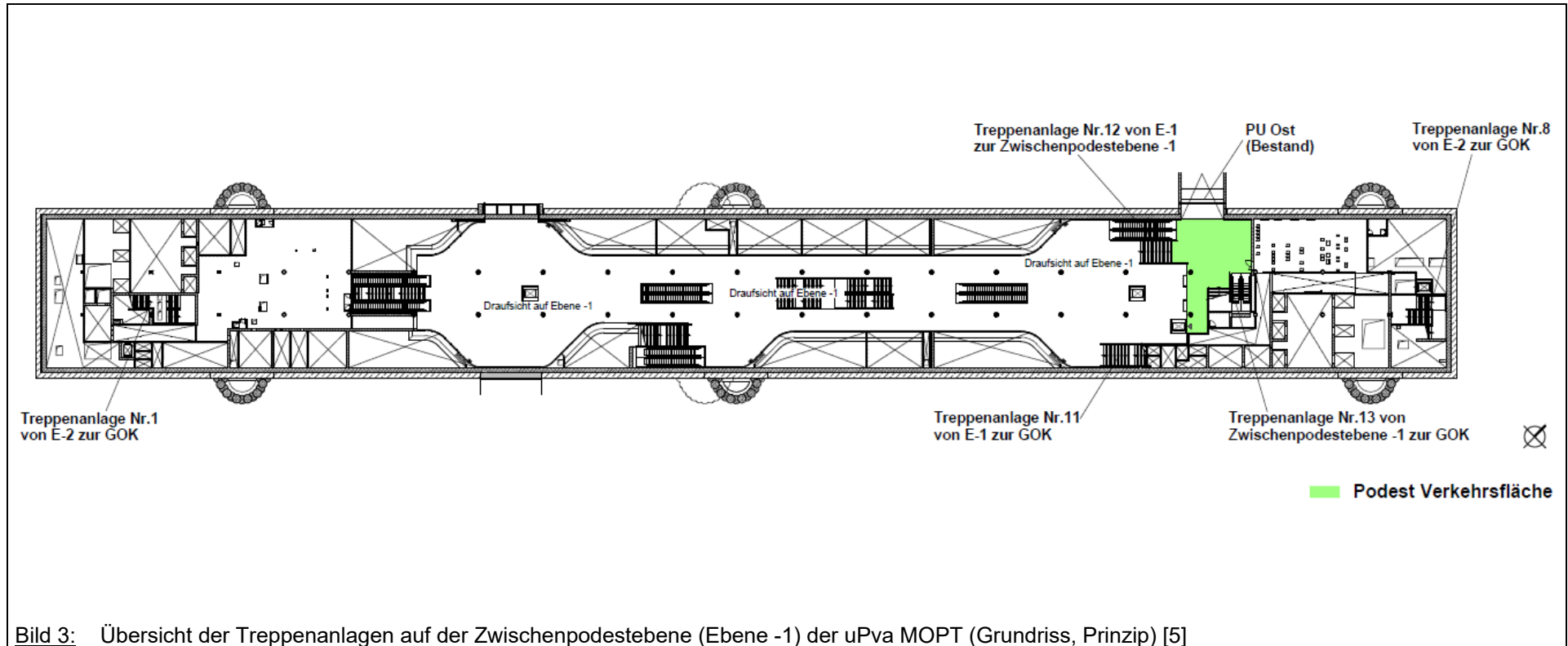


Bild 3: Übersicht der Treppenanlagen auf der Zwischenpodestebene (Ebene -1) der uPva MOPT (Grundriss, Prinzip) [5]

Die beiden PU in Richtung der bestehenden oPva Ostbahnhof werden im Ereignisfall durch Sperrzeichen abgesperrt und werden daher nicht als Ausgang für fliehende Personen 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

a) Bahnsteigebene

Bei der Räumung der uPva MOPT wird angenommen, dass auf der Bahnsteigebene zwei voll besetzte S-Bahn-Langzüge geräumt werden müssen. Abweichend von den bisherigen Räumungsberechnungen im Rahmen der Planungen für die uPva am Orleansplatz wird bei der Personenkapazität der S-Bahn-Fahrzeuge Typ ET 423 bereits die Datengrundlage verwendet, die die Fahrzeuge nach einer Optimierung des Innenraums im Laufe des Jahres 2020 aufweisen [7]. Ferner werden basierend auf aktuelleren Fahrgastprognosen [6] mehr wartende Personen auf dem Mittelbahnsteig als bisher berücksichtigt.

Jeder modernisierte S-Bahn-Langzug (ET 423) besteht aus drei Zügeinheiten, die jeweils über 166 Sitzplätze und 446 Stehplätze verfügen. Ein S-Bahn-Langzug mit drei Zügeinheiten befördert demnach  $3 \times (166 + 446) = 1.836$  Personen, die jeweils zum Mittelbahnsteig aussteigen [7]. Auf dem Mittelbahnsteig warten ferner gemäß den Vorgaben aus der Verkehrsprognose [6] 804 Personen. Die gesamte Bahnsteigebene der uPva muss bei zwei voll besetzten S-Bahn-Langzügen und den genannten wartenden Personen von insgesamt 4.476 Personen geräumt werden (Tabelle 1).

b) Öffentliche Verkehrsfläche der Passage im Sperrengeschoss

Die Personenanzahl auf der öffentlichen Verkehrsfläche der Passage (Ebene -1) wird in zwei Abschnitten ermittelt. Die zwischen den Treppenanlagen Nr. 5 und Nr. 6 gelegene Rauchschutztüranlage wird im Ereignisfall geschlossen, um so zwei unabhängige Rauchabschnitte im Sperrengeschoss zu schaffen. Für die Räumungsberechnung wird davon ausgegangen, dass die geschlossene Rauchschutztüranlage nicht von fliehenden Personen durch-



quert wird. Deshalb werden die beiden durch die Türanlage getrennten Bereiche West und Ost separat betrachtet. Die Personenzahlen im Sperrgeschoss werden daher wie folgt ermittelt:

Personendichte für öffentliche Verkehrsflächen in Passagen [8]: 1,4 P/m<sup>2</sup>

- Fläche der Passage im Westen  $A_{\text{Pass, West}} = \text{ca. } 1.500 \text{ m}^2$  [5]
- Fläche der Passage im Osten  $A_{\text{Pass, Ost}} = \text{ca. } 830 \text{ m}^2$  [5]

Daraus ergeben sich folgende Personenanzahlen für die öffentliche Verkehrsfläche:

- $P_{\text{Pass, West}} = 1.500 \times 1,4 = 2.100$  Personen
- $P_{\text{Pass, Ost}} = 830 \times 1,4 = 1.162$  Personen
- $P_{\text{Pass}} = 2.100 + 1.162 = 3.262$  Personen

#### c) Verkaufsstätten der Passage im Sperrgeschoss

Die Personenanzahlen in den Verkaufsstätten der Passage werden, ebenfalls getrennt für die Abschnitte West und Ost, wie folgt bestimmt:

Personendichte für Verkaufsstätten [8]: 0,5 P/m<sup>2</sup>

- Fläche der Verkaufsstätten im Westen  $A_{\text{Verkaufsstätten, West}} = \text{ca. } 1.100 \text{ m}^2$  [5]
- Fläche der Verkaufsstätten im Osten  $A_{\text{Verkaufsstätten, Ost}} = \text{ca. } 300 \text{ m}^2$  [5]

Daraus ergibt sich folgende Personenanzahl in den Verkaufsstätten der Passage:

- $P_{\text{Verkaufsstätten, West}} = 1.100 \times 0,5 = 550$  Personen
- $P_{\text{Verkaufsstätten, Ost}} = 300 \times 0,5 = 150$  Personen
- $P_{\text{Verkaufsstätten, Ges}} = 550 + 150 = 700$  Personen

Die Gesamtzahl der Personen, die sich zu Räumungsbeginn auf der öffentlichen Verkehrsfläche und in den Verkaufsstätten des Sperrgeschosses befindet, beträgt:

$$P_{\text{Sperrgeschoss}} = 2.100 + 1.162 + 550 + 150 = 3.962 \text{ Personen}$$

Für die Räumungsberechnung werden insgesamt 3.962 Personen berücksichtigt, die sich zu Räumungsbeginn im Sperrgeschoss (Ebene -1) befinden (Tabelle 1).

Bereich	Personenzahl
Bahnsteigebene	4.476
Passage	3.262
Verkaufsstätten	700
	Summe: 8.438

Tabelle 1: Für die Räumung der uPva MOPT berücksichtigte Personenzahlen [6, 7]

(2) Nutzbare Treppenbreite

Es werden die in Tabelle 2 mit der jeweiligen Nutzbreite angegebenen Treppen und Durchgänge berücksichtigt. Als nutzbare Treppenlaufbreite gilt die lichte Breite zwischen den Handläufen.

(3) Streckentunnel/Erkundungs- und Rettungsstollen

Es wird angenommen, dass die Fahrgäste von der Bahnsteigebene (Ebene -2) nur über die Treppenanlagen bis ins Freie fliehen, nicht aber über die Streckentunnel sowie den Erkundungs- und Rettungsstollen.

(4) Vorlaufzeit

Damit die Beurteilung der Verrauchungssituation auf den Fluchtwegabschnitten durch einen Vergleich von Räumungszeit und Verrauchungszeit (Brandsimulation) möglich ist, muss sich der Räumungsbeginn auf den Brandbeginn beziehen. Dies erfolgt mithilfe der Vorlaufzeit. Die Vorlaufzeit besteht aus der Restfahrzeit zur betrachteten uPva sowie für die 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 Marienhof (MMHO) zur uPva MOPT von 2,6 Minuten [3].

(5) Personenverteilung auf der Bahnsteigebene und im Sperrengeschoss

Die Personenverteilung auf der Bahnsteigebene und im Sperrengeschoss ergibt sich in Abhängigkeit von den verfügbaren Treppenkapazitäten (hydraulisches Prinzip). Auf der Bahnsteigebene befinden sich insgesamt 4.476 Personen (Tabelle 1), von denen  $2 \times 611 = 1.222$  Personen (Tabelle 2) von der Bahnsteigebene über die Fluchttreppenträume Nr. 1 und Nr. 8 direkt ins Freie an die Geländeoberkante fliehen ohne das Sperrengeschoss zu passieren.

## Räumungsberechnung für die uPva MOPT

Treppenverbindung/Ausgang	Nr.	Treppenanlagen	Personenkapazität der Treppenanlagen [Personen / Minute]	Personenaufteilung auf die Treppenanlagen [Personen]	
Bahnsteigebene/Geländeoberfläche	1	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,4 m	$4 \times 33 = 132$	611	
	8	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,4 m	$4 \times 33 = 132$	611	
Bahnsteigebene/Sperrengeschoss	2	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,4 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$4 \times 33 + 2 \times 25 = 182$	842	
	3	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$2 \times 25 = 50$	232	
	4	1 feste Treppen, Nutzbreite 2,4 m	$4 \times 33 = 132$	611	
	5	1 feste Treppen, Nutzbreite 2,4 m	$4 \times 33 = 132$	611	
	6	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$2 \times 25 = 50$	231	
	7	1 feste Treppe, Nutzbreite 2,4 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m (davon 1 nicht nutzbar)	$4 \times 33 + 1 \times 25 = 157$	727	
Sperrengeschoss/Geländeoberfläche	9/9a	3 feste Treppen, Nutzbreite je 3,6 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$3 \times 6 \times 33 + 2 \times 25 = 644$	842 (Nr. 2) + 232 (Nr. 3) + 611 (Nr. 4) + 611 (Nr. 5) + 2.650 (Sperrengeschoss) = 4.946	3.571
	10	1 feste Treppe, Nutzbreite 4,0 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$6 \times 33 + 2 \times 25 = 248$		1.375
	11	1 feste Treppe, Nutzbreite 4,0 m	$6 \times 33 = 198$	231 (Nr. 6) + 727 (Nr. 7) + + 1.312 (Sperrengeschoss) = 2.270	1.008
Sperrengeschoss/Zwischenpodestebene	12	1 feste Treppe, Nutzbreite 4,0 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$6 \times 33 + 2 \times 25 = 248$	1.262	
Sperrengeschoss/PU West	---	Durchgangsbreite 10 m	$16 \times 49 = 784$	---	
Zwischenpodestebene/Geländeoberfläche	13	1 feste Treppe, Nutzbreite 4,0 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$6 \times 33 + 2 \times 25 = 248$	1.262	
Zwischenpodestebene/PU Ost	---	Durchgangsbreite ca. 7 m	$11 \times 49 = 539$	---	

Tabelle 2: Verteilung der Personen bei der Räumungsberechnung für die uPva MOPT mit Passage im Sperrengeschoss (hydraulische Verteilung)

Die restlichen  $4.476 - 1.222 = 3.254$  Personen fliehen von der Bahnsteigebene über die Treppenanlagen Nr. 2 bis Nr. 7 zunächst in das Sperrengeschoss, wo sie auf die Personen treffen, die vom Sperrengeschoss ins Freie fliehen. Im Sperrengeschoss nutzen die Personen die verfügbaren Treppenanlagen Nr. 9 bis Nr. 12, um das Freie oder die Zwischenpodestebene im Osten zu erreichen (Tabelle 2).

Da die beiden PU West (neu) und PU Ost (Bestand) in Richtung der oPva Ostbahnhof im Ereignisfall durch Sperrschilde abgesperrt werden, wird davon ausgegangen, dass keine Personen aus der uPva MOPT über die beiden PU zur oPva Ostbahnhof fliehen.

(6) Gehgeschwindigkeiten

- a) Auf der Bahnsteigebene (Ebene -2) und dem Sperrengeschoss sowie der Zwischenpodestebene (Ebene -1): 0,63 m/s [1]
- b) An der Geländeoberfläche: 1 m/s [1]
- c) Vertikalgeschwindigkeit der Personen beim Überwinden der Treppenanlagen: 0,24 m/s [1]

(7) Gehspurbreiten

Den Räumungsberechnungen wird entsprechend dem Forschungsvorhaben Notfallszenarien [2] eine Gehspurbreite von 60 cm zugrunde gelegt. Die Treppen- und Durchgangsbreiten werden über diese Gehspurbreite in die ganzzahlige Anzahl von Gehspuren umgerechnet. Restbreiten (< 60 cm) werden nicht in die Räumungsberechnung mit einbezogen (Sicherheitsreserve).

(8) Personenkapazität von Treppenanlagen

Pro Gehspur (0,6 m) werden folgende Personenkapazitäten angesetzt:

- a) Aufwärts begangene notwendige (feste) Treppe: 33 Personen pro Minute
- b) Fahrtreppen: 25 Personen pro Minute
  - Auch fahrende Fahrtreppen werden gemäß NFPA 130 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 solange wie möglich in Betrieb bleiben sollen, um z. B. älteren Menschen die Flucht zu erleichtern [2].

- Die Begehrbarkeit einer 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 Rechnung zu tragen, wird die Personenkapazität einer stehenden Fahrtreppe gegenüber den festen Treppenanlagen in Anlehnung an [9] auf drei Viertel reduziert ( $33 \times 0,75 \approx 25$ ).
- Gemäß [4] wird exemplarisch davon ausgegangen, dass während der Räumung der uPva eine der Fahrtreppen, die vom Bahnsteig ins Sperrengeschoss hochführen, z. B. wegen Reparaturarbeiten nicht benutzbar ist.

(9) Personenkapazitäten von Türen

Die fliehenden Personen müssen auf dem Weg zu den Treppenanlagen und den Fluchttreppenräumen die Zugangstüren der Einhausungen passieren, welche solange geöffnet sind, bis Brandgase in die Einhausung eindringen. Die Türen weisen eine Personenkapazität von ca. 49 Personen pro Minute je Gehspur (0,6 m) auf [1].

Da die Breite der Zugangstüren vor den notwendigen (festen) Treppen jeweils größer ist als die in geringer Entfernung befindliche Treppenbreite folgt hieraus, dass immer die Treppenanlage aufgrund der geringeren Personenkapazität die maßgebende Engstelle ist. Aus diesem Grund kann der Einfluss der Türen auf die Räumungszeit vernachlässigt werden.

(10) 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 (4,6 Minuten) ermittelt.

Es werden folgende Teilräumungszeiten ermittelt (Tabelle 3):

- (1) Die Zeit RZ 1 ist diejenige Räumungszeit, bis die letzte Person einen temporär sicheren Bereich (z. B. hinter den Brandschutztüren der Einhausung) erreicht hat.

- (2) Die Zeit RZ 2 ist diejenige Räumungszeit, bis die letzte Person das Freie an der GOK erreicht hat und 10 m vom jeweiligen Ausgang entfernt ist.

Vorberechnungen haben ergeben, dass der Fluchtweg von der Bahnsteigebene über die Treppenanlage Nr. 4 zum Sperrengeschoss, dort weiter über die benachbarte Treppenanlage Nr. 10 bis ins Freie maßgebend für die Räumungsberechnung ist. Das ergibt sich insbesondere aus dem Verhältnis zwischen verfügbarer Fläche im geschützten Bereich vor den Treppenanlagen und der Anzahl der über die Treppenanlage fliehenden Personen. Darüber hinaus ist die zu erwartende Wartezeit im östlichen Bereich des Sperrengeschosses geringer als im westlichen Bereich. Über die Treppenanlagen Nr. 6 und Nr. 7 stellen sich folglich kürzere Räumungszeiten ein.

Da die Treppenanlage Nr. 13 dieselbe Personenkapazität aufweist wie die Treppenanlage Nr. 12 (Tabelle 2) und auf dem Zwischenpodest keine zusätzlichen Personen dazu stoßen, ergibt sich dieselbe Schleusungszeit und es kommt zu keinem weiteren Rückstau. Es fließen deshalb genauso viele Personen über die Treppenanlage Nr. 13 ab, wie über die Treppenanlage Nr. 12 nachströmen. Da die Treppenanlagen Nr. 1 und Nr. 8 direkt ins Freie führen, ohne das Sperrengeschoss zu passieren, sind auch diese Wegbeziehungen nicht maßgebend.

Es wird bei der Räumungsberechnung davon ausgegangen, dass sich die Personen auf der Bahnsteigebene und im Sperrengeschoss nach dem hydraulischen Prinzip auf die Ausgänge verteilen. Die Personen auf der Bahnsteigebene und im Sperrengeschoss werden zeitgleich alarmiert und beginnen mit der Flucht. Daher fliehen aus dem Sperrengeschoss zunächst nur Personen ins Freie, die sich bereits zu Räumungsbeginn im Sperrengeschoss aufgehalten haben. Ab dem Zeitpunkt, an dem die ersten Personen von der Bahnsteigebene das Sperrengeschoss erreichen, fliehen die Personen zusammen.

Die Räumungszeit RZ ergibt sich aus der Addition der Gehzeiten  $T_i$ , den Wartezeiten  $W_i$ , der Restfahrzeit bis zur uPva MOPT, der Alarmierungszeit und der Reaktionszeit der Fahrgäste (Tabelle 3). Die Gehzeiten  $T_1$  bis  $T_5$  für die einzelnen Rettungswegabschnitte werden mithilfe der verschiedenen Weglängen und Höhenunterschiede in der uPva in Verbindung mit den im Kapitel 3 genannten Gehgeschwindigkeiten berechnet (Tabelle 3).

Zur Berechnung der Räumungszeiten müssen Geh- und Wartezeiten vorliegen. Die Wartezeiten werden mit Hilfe von Schleusungszeiten ermittelt. Als Schleusungszeit wird diejenige Zeit verstanden, die eine Personengruppe benötigt, um z. B. einen Engpass vor einem Treppenaufgang zu passieren. Für den betrachteten Weg von der

Bahnsteigebene bis ins Freie an der GOK müssen folgende Schleusungszeiten ermittelt werden:

(1) Schleusungszeit  $S_1$  am Zugang zum temporär sicheren Bereich auf dem Bahnsteig

a) Personenanzahl vor dem Zugang der Treppenanlagen Nr. 4 (Tabelle 2):

611 Personen

b) Personenkapazität der Staufläche im temporär raucharmen Bereich vor den Treppenanlage Nr. 4 (Bild 1: Fläche vor den Fußpunkten der Treppenanlage Nr. 4):

ca.  $15 \text{ m}^2 \times 2 \text{ Personen pro m}^2 = 30 \text{ Personen}$

c) Personenkapazität der Treppenanlage Nr. 4 (Tabelle 2):

4 Spuren  $\times$  33 Personen pro Minute je Spur = 132 Personen pro Minute

d) Schleusungszeit  $S_1$ :

Von den insgesamt 611 Personen, die zur Treppenanlage Nr. 4 fliehen, können zunächst nur 30 Personen in den temporär raucharmen Bereich gelangen. Die Staufläche reicht daher nicht zeitgleich für alle 611 Personen.

Die restlichen  $611 - 30 = 581$  Personen müssen auf dem ungeschützten Bahnsteig so lange warten, bis entsprechend viele Personen den Staubereich vor der Treppenanlage Nr. 4 über die Treppen verlassen haben, und deshalb wieder Aufstellfläche im temporär raucharmen Bereich hinter den Brandschutztüren frei wird.

$S_1 = 581 \text{ Personen} / 132 \text{ Personen pro Minute} = 4,4 \text{ Minuten}$

(2) Schleusungszeit  $S_2$  am Fuß der von der Bahnsteigebene zum Sperrengeschoss führenden Treppenanlage Nr. 4:

a) Personenanzahl am Fußpunkt der Treppenanlage Nr. 4 (Tabelle 2):

611 Personen

b) Personenkapazität der von der Bahnsteigebene zum Sperrengeschoss führenden Treppenanlage Nr. 4:

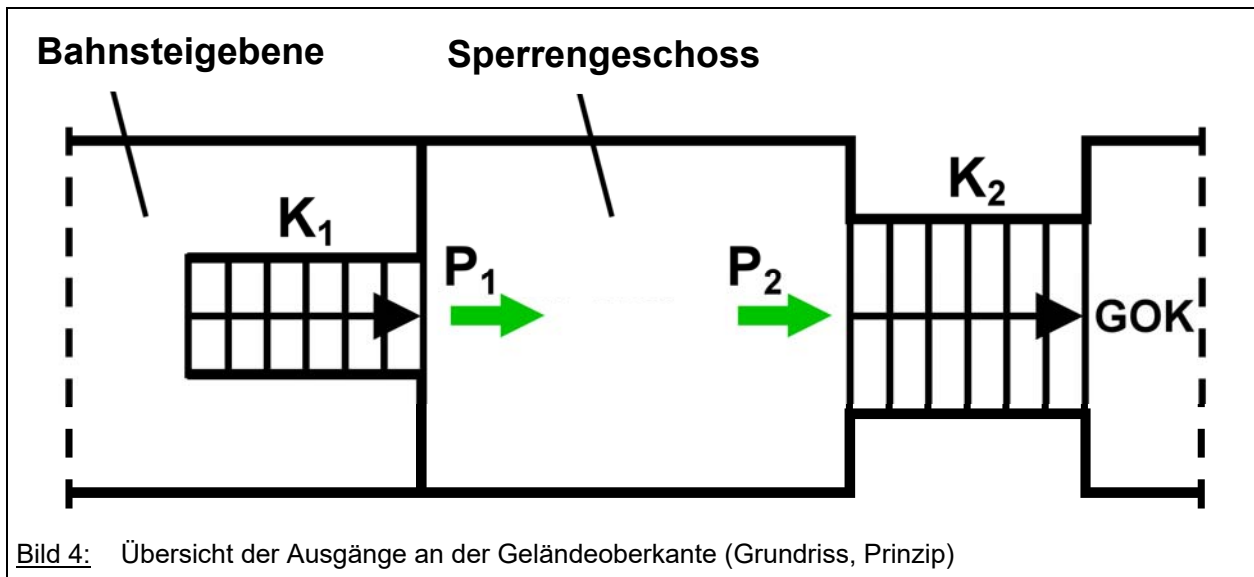
4 Spuren  $\times$  33 Personen pro Minute je Spur = 132 Personen pro Minute

c) Schleusungszeit  $S_2 = 611 \text{ Personen} / 132 \text{ Personen pro Minute} = 4,6 \text{ Minuten}$

(3) Schleusungszeit  $S_3$  an den Ausgängen des Sperrengeschosses

- a) Aus dem Sperrengeschoss abströmende Personen vor dem Eintreffen von Personen von der Bahnsteigebene

Zunächst werden die Treppenanlagen des Sperrengeschosses im Westen bis ins Freie ( $K_2$ ) nur von Personen, die sich in der Passage befinden ( $P_2$ ) benutzt (Bild 4). Diese Personen haben keinen Einfluss auf die Wartezeit für Personen, die von der Bahnsteigebene fliehen. Nach etwa einer halben Minute ( $T_2 = 0,5$  Minuten aus Tabelle 3) erreichen jedoch die ersten Personen von der Bahnsteigebene ( $P_1$ ) die Treppenanlagen Nr. 10.



Innerhalb dieser ersten halben Minute kann von den 2.650 Personen ( $P_{2\text{West}}$ ) (Tabelle 1), die sich zu Beginn der Räumung im westlichen Bereich der Passage befinden, folgende Personenanzahl die Passage unter Berücksichtigung der Treppenkapazität  $K_2$  verlassen ( $\Delta P_2$ ).

Für die Kapazität  $K_2$  werden die Treppenanlagen Nr. 9 und Nr. 10 herangezogen.  $K_2$  beträgt  $644 + 248 = 892$  Personen pro Minute (Tabelle 2). Mit  $K_2$  und der Dauer des ungestörten Personenabflusses ca. 0,5 Minuten kann die abströmende Personenanzahl bestimmt werden:

Abströmende Personenanzahl  $\Delta P_2$ :  $\Delta P_2 = 0,5 \times K_2$

$$\Delta P_2 = 0,5 \times 892$$

$$\Delta P_2 = 446 \text{ Personen}$$



Diese 446 Personen sind bei der Ermittlung der Schleusungszeit  $S_2$  bzw. Wartezeit der Personen, die von der Bahnsteigebene über das Sperrengeschoss ins Freie fliehen nicht zu berücksichtigen, da sie das Sperrengeschoss bereits verlassen haben, bevor die ersten Personen von der Bahnsteigebene in dem Sperrengeschoss eintreffen.

b) Personenanzahl an den Ausgängen und Treppenanlagen des Sperrengeschosses

Die Personenanzahl, die noch über die Ausgänge der Passage fliehen müssen (Bild 4), wenn die ersten Personen von der Bahnsteigebene (2.296 Personen über die Treppenanlagen Nr. 2 bis Nr. 5) die Ausgänge des Sperrengeschosses erreichen (Tabelle 1) beträgt nach einer halben Minute:

$$P_2 - \Delta P_2 = 2.650 - 446 = 2.204 \text{ Personen}$$

Für die Berechnung der Schleusungszeit  $S_3$  muss deshalb die folgende Personenanzahl im Sperrengeschoss West berücksichtigt werden:

$$(P_2 - \Delta P_2) + P_1 = (2.650 - 446) + 2.296 = 4.500 \text{ Personen.}$$

c) Kapazität der Ausgänge aus dem Sperrengeschoss im Osten

$$K_2 = 892 \text{ Personen pro Minute (Tabelle 2: Treppenanlagen Nr. 9 und Nr. 10)}$$

d) Schleusungszeit  $S_3$

$$S_3 = \frac{(P_2 - \Delta P_2) + P_1}{K_2} = \frac{4.500}{892} = 5,0 \text{ min}$$

Mit den Schleusungszeiten  $S_1$  bis  $S_3$  können die zugehörigen Wartezeiten  $W_1$  bis  $W_3$  berechnet werden (Tabelle 3). Insgesamt ergeben sich für die Bahnsteigebene folgende auf den Brandbeginn bezogene Räumungszeiten:

- (1) Räumungszeit RZ1 bis zum Erreichen der geschützten Bereiche auf der Bahnsteigebene: ca. 9 Minuten (Tabelle 3)
- (2) Räumungszeit RZ2 bis zum Erreichen des Freien (ca. 10 m Abstand vom Ausgang): ca. 12 Minuten (Tabelle 3)

Zeitabschnitte der Räumung		Dauer [min]
Zeit bis Fluchtbeginn (bestehend aus der Restfahrzeit nach Brandbeginn bis in die uPva MOPT, der Alarmierungszeit und der Reaktionszeit der Fahrgäste)		4,6
Gehzeiten der Person, die den längsten Rettungsweg hat	$T_1$ = Zeit zum Erreichen der Treppenanlage Nr. 4 von der Bahnsteigebene zum Sperrengeschoss (ca. 35 m / 0,63 m/s)	0,9
	$T_2$ = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschiedes (ca. 7,2 m / 0,24 m/s) zwischen Bahnsteigebene und Sperrengeschoss	0,5
	$T_3$ = Zeit zum Erreichen der Treppenanlage Nr. 10 im Sperrengeschoss, die ins Freie führt (ca. 40 m / 0,63 m/s)	1,1
	$T_4$ = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschiedes (ca. 7,7 m) zwischen Sperrengeschoss und dem Freien an der GOK	0,5
	$T_5$ = Zeit für den Weg an der Geländeoberfläche (ca. 10 m / 1 m/s)	0,2
Wartezeit an den Treppenaufgängen	Wartezeit vor dem temporär sicheren Bereich: $W_1 = S_1 - T_1 = (4,4 - 0,9)$ min	3,5
	Wartezeit am Fuß der Treppenanlage Nr. 4, die von der Bahnsteigebene zum Sperrengeschoss führt: $W_2 = S_2 - S_1 = (4,6 - 4,4)$ min	0,2
	Wartezeit am Fuß der Treppenanlage Nr. 9, die vom Sperrengeschoss ins Freie an der GOK führt: $W_3 = S_3 - (\max S_1, S_2) = (5,0 - 4,6)$	0,4
<b>Räumungszeit RZ1 (letzte Person erreicht geschützten Bereich) =</b> <b>4,6 min + <math>T_1</math> + <math>W_1</math></b>		<b>ca. 9</b>
<b>Räumungszeit RZ2 (bis ins Freie) =</b> <b>4,6 min + <math>T_1</math> + <math>T_2</math> + <math>T_3</math> + <math>T_4</math> + <math>T_5</math> + <math>W_1</math> + <math>W_2</math> + <math>W_3</math></b>		<b>ca. 12</b>

Tabelle 3: Räumungszeiten RZ1 (bis in den temporär sicheren Bereich) und RZ2 (bis ins Freie) der uPva MOPT

## 5 Räumungssimulation mit ASERI

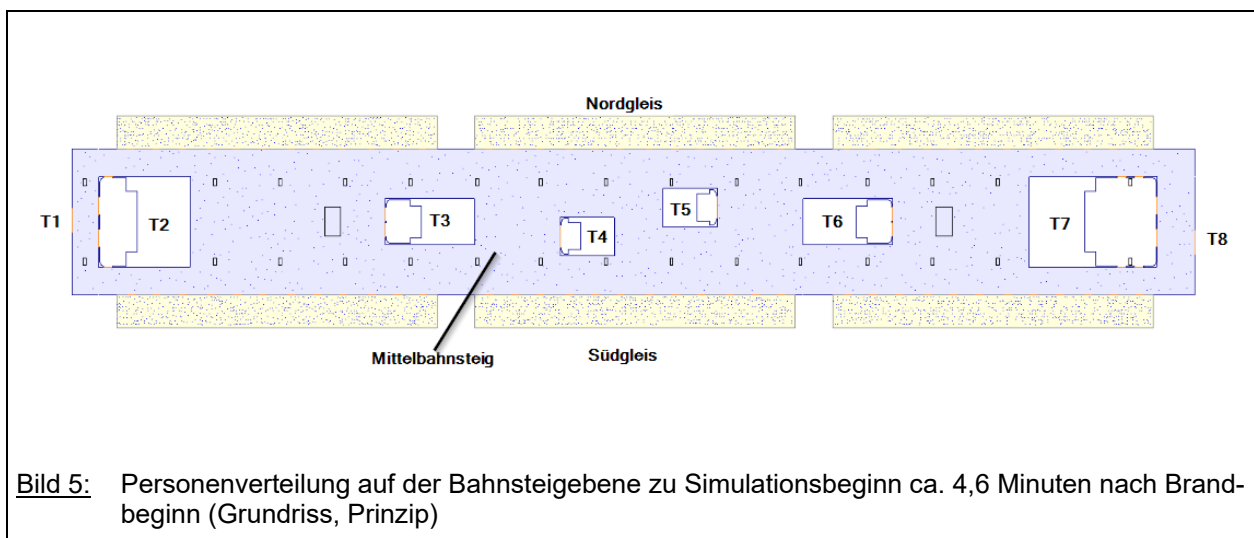
Für die computergestützten Räumungssimulationen mit ASERI (Individualmodell) wurden unter anderem folgende Festlegungen getroffen:

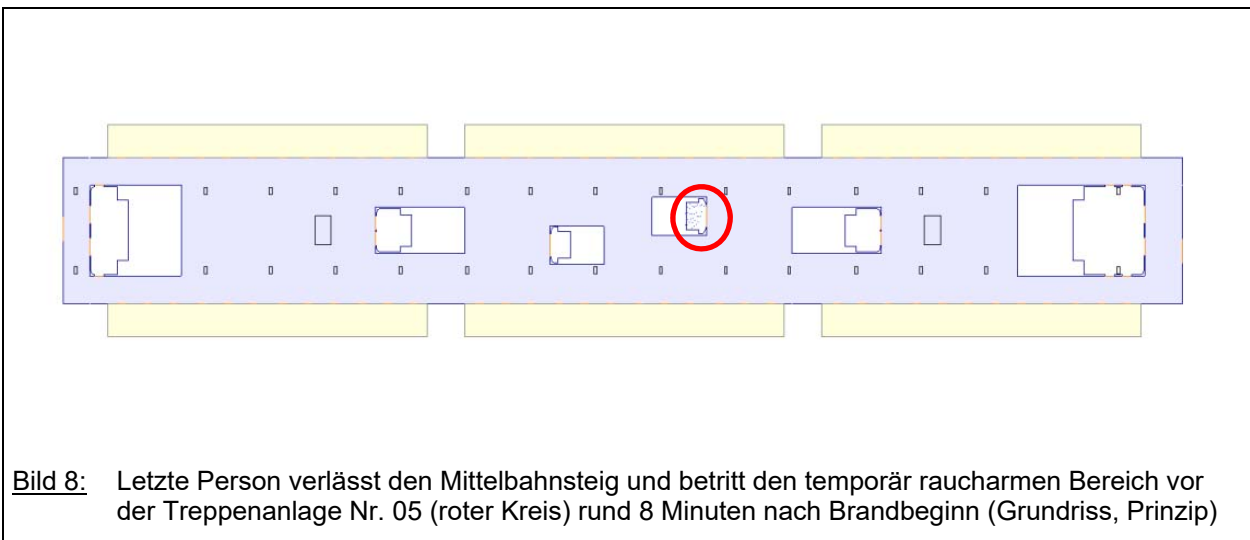
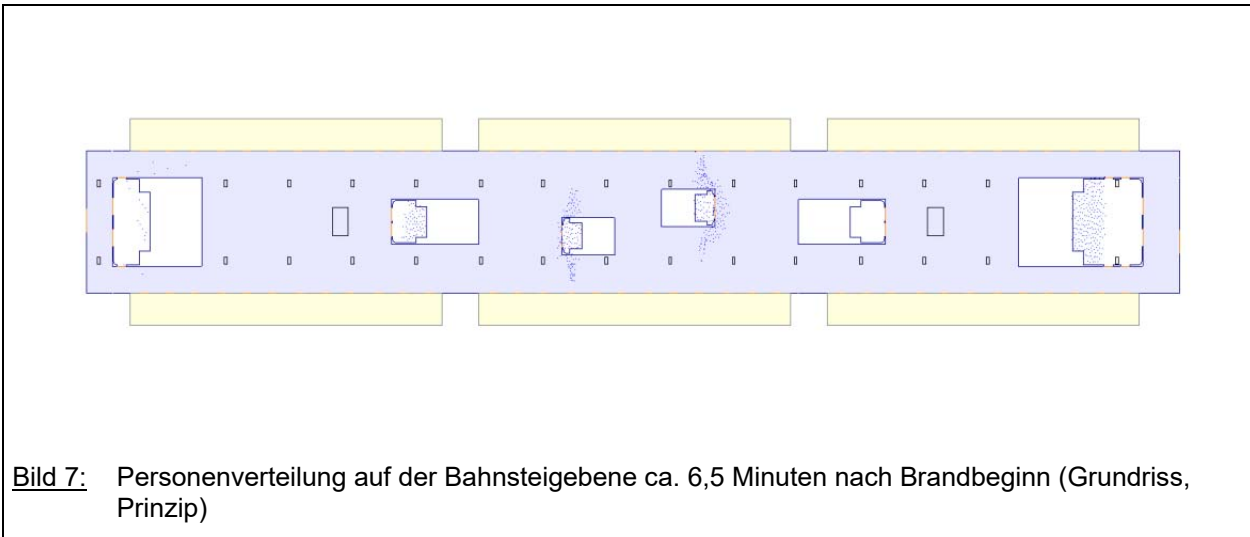
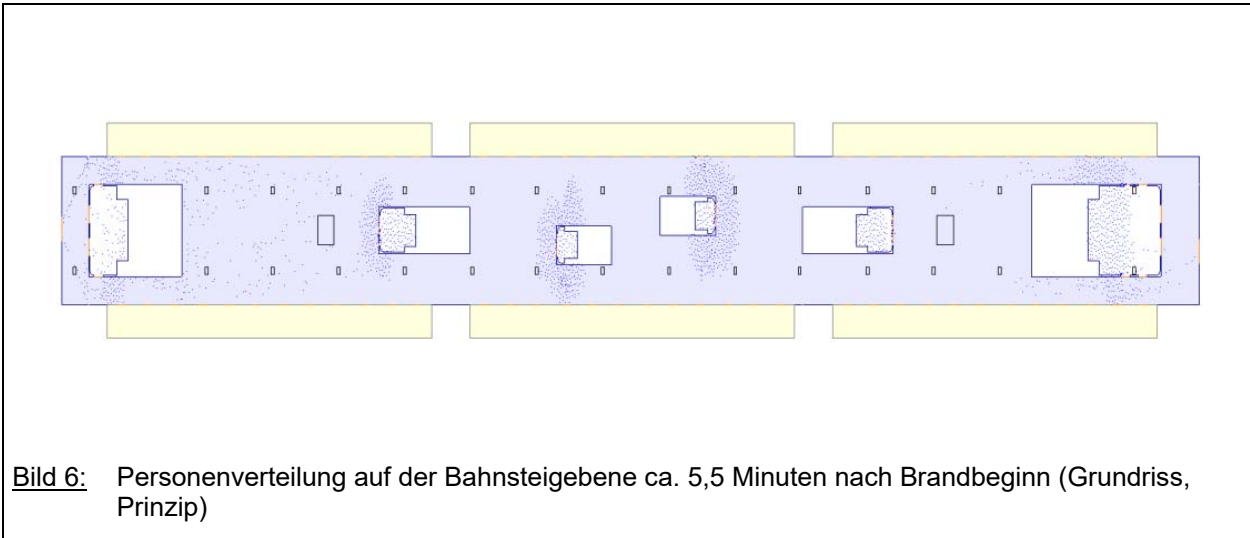
- (1) Die Personen werden zu Simulationsbeginn gleichmäßig in den ihnen zugewiesenen Bereichen (Zugeinheiten und Mittelbahnsteig) verteilt (Bild 5).
- (2) Den Personen wird der Modus „dynamische Ausgangswahl“ zugewiesen. Die Personen fliehen zum nächstliegenden Ausgang, nutzen aber z. B. bei Staubbildung auch andere erreichbare Ausgänge.
- (4) Eine Fahrtreppe der Treppenanlage Nr. 7, welche die Bahnsteigebene mit dem Sperrengeschoss verbindet, wird als nicht begehbar definiert (Sicherheitsreserve).

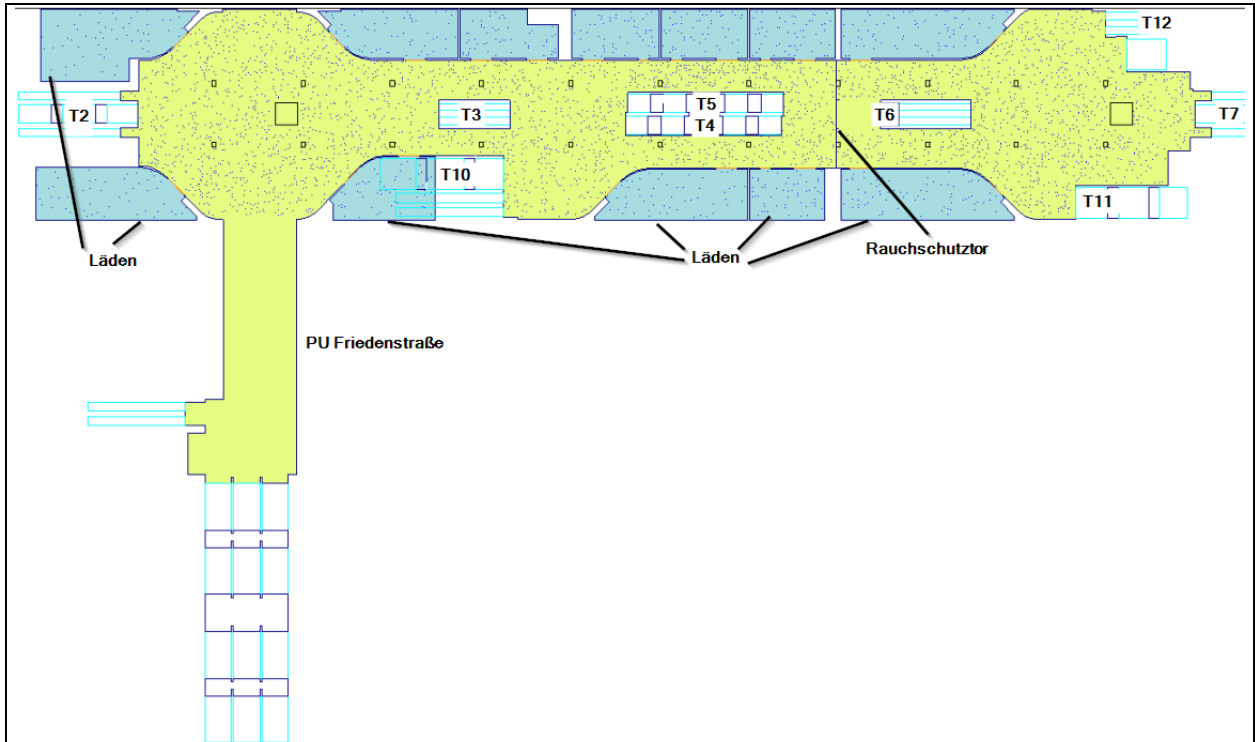
- (5) Die freie Gehgeschwindigkeit entspricht einer Gleichverteilung mit Mittelwert 1,1 m/s und einer Standardabweichung von 0,4 m/s. Dies ist die Wunschgeschwindigkeit, die Personen gehen können. Wenn der Weg nicht frei ist (z. B. Pulkbildung) passt sich die tatsächliche Geschwindigkeit den Gegebenheiten automatisch an.
- (6) 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. 8 Minuten nach Brandbeginn einen temporär raucharmen Bereich hinter den Brandschutztüren erreicht (RZ1; Bahnsteigebene, Bild 8). Die letzte Person hat etwa 12 Minuten nach Brandbeginn das Freie über den Ausgang am südlichen Ende der Personenunterführung West zur Friedenstraße erreicht (RZ2; Bild 13). Während des gesamten Simulationsverlaufes stellt sich eine mittlere Gehgeschwindigkeit von ca. 0,6 m/s ein.

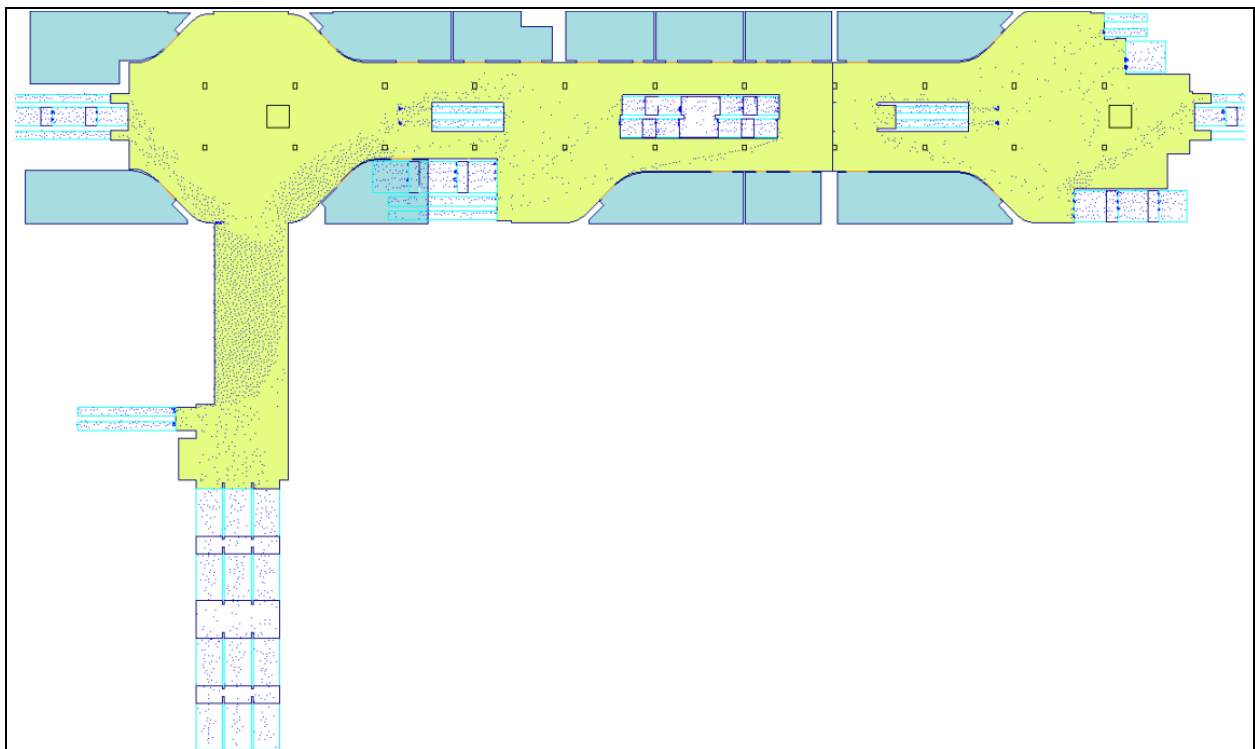
Ferner zeigt sich, dass sich die maßgebenden Staueffekte erwartungsgemäß vor den mittleren Treppenanlagen auf der Bahnsteigebene sowie im Bereich der PU Friedenstraße einstellen (Bilder 6 und 7 sowie 10 und 11).







**Bild 9:** Personenverteilung im Sperrgeschoss zu Simulationsbeginn ca. 4,6 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip)



**Bild 10:** Personenverteilung im Sperrgeschoss ca. 6 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip)

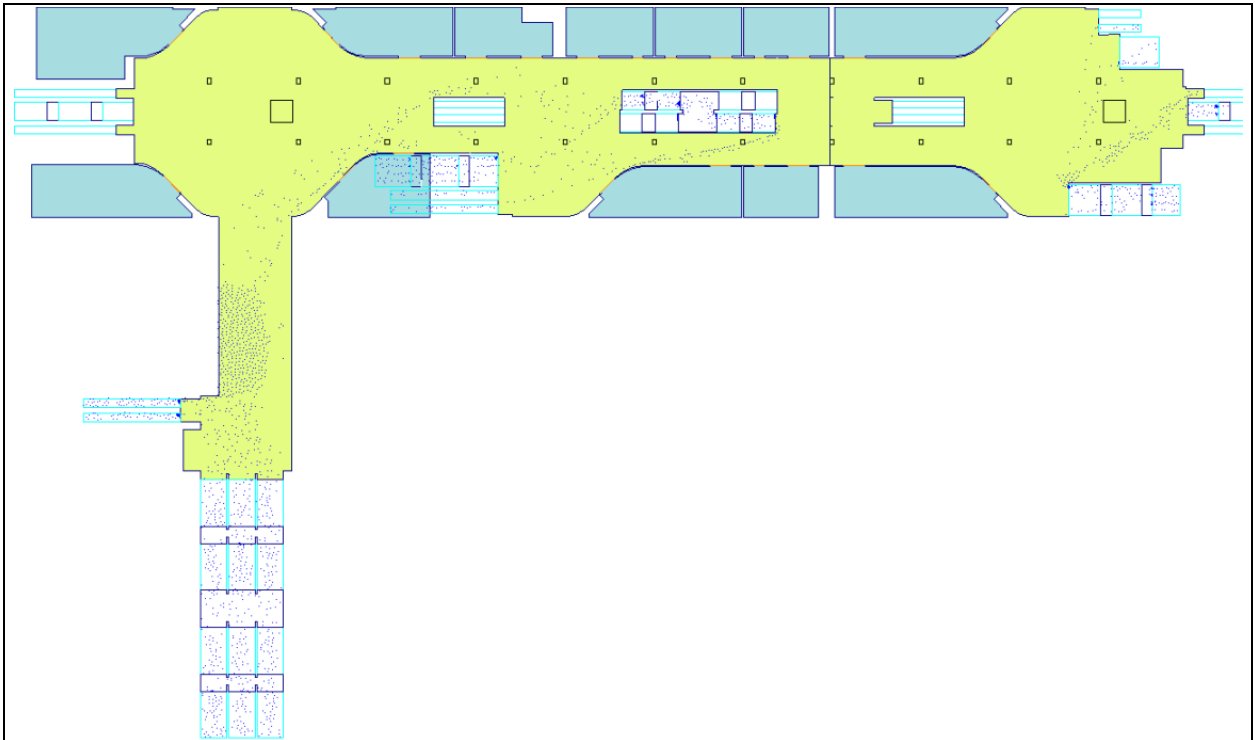


Bild 11: Personenverteilung im Sperrgeschoss ca. 8 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip)

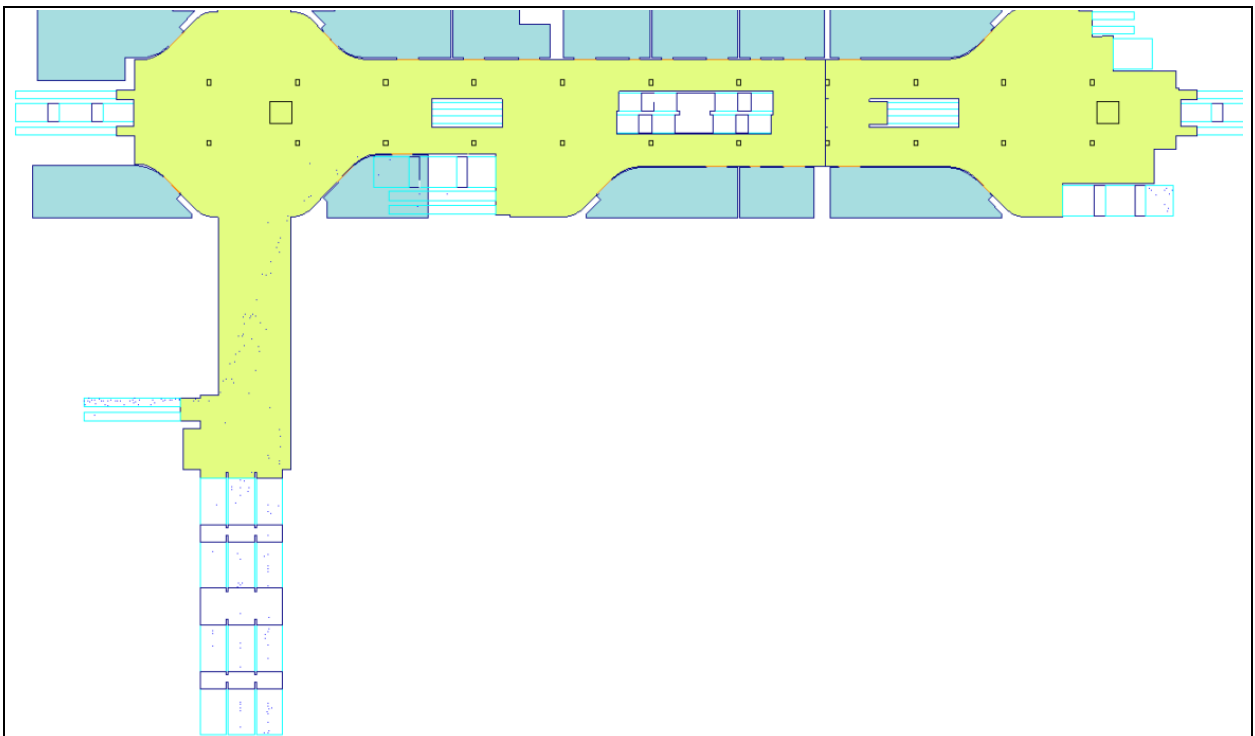
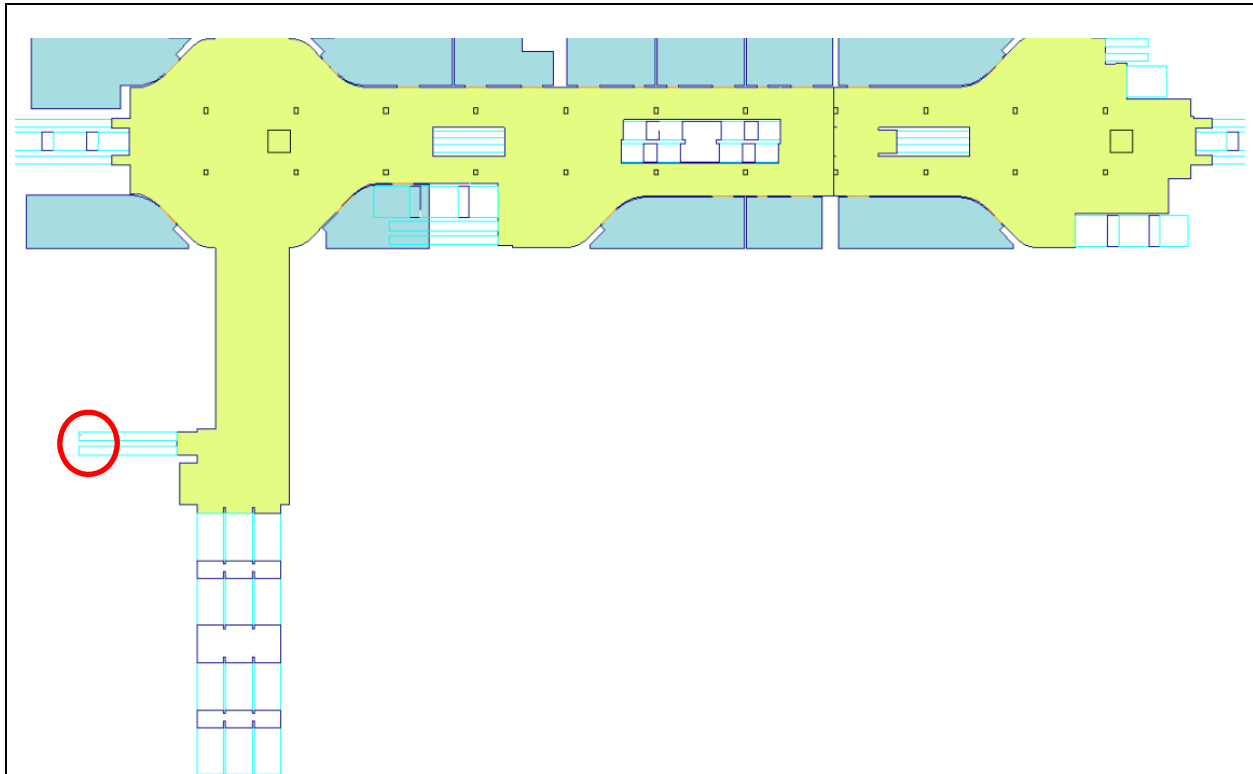


Bild 12: Personenverteilung im Sperrgeschoss ca. 10 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip)



**Bild 13:** Letzte Person erreicht das Freie über die Treppenanlage 9a zur Friedenstraße (roter Kreis) rund 12 Minuten nach Brandbeginn (Grundriss, Prinzip)

## 6 Zusammenfassende Bewertung

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 MOPT ermittelt (Tabelle 4).

	ASERI [min]	In Anlehnung an NFPA 130 [min]
RZ1: Alle Personen befinden sich in temporär raucharmen Bereichen	8	9
RZ2: Alle Personen haben das Freie erreicht	12	12

**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) führen beide Berechnungen zum gleichen Ergebnis.

Bei Zugrundelegung der ermittelten Räumungszeiten muss die Bahnsteigebene mindestens bis zur 9. Minute nach Brandbeginn raucharm gehalten werden, damit alle Personen gefahrlos in die temporär raucharmen Bereiche hinter den Brandschutztüren gelangen können. Die Rettungswege entlang der temporär raucharmen Bereiche dürfen frühestens 12 Minuten nach Brandbeginn verrauchen, da erst dann alle Personen das Freie erreicht haben.

## 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] 2. S-Bahn-Stammstrecke München: E-Mail der DB, Frau Büttner vom 17. November 2020 an die STUVAtec mit den geplanten Fahrzeiten zur uPva MOPT
- [4] DB Station & Service AG, Planungsvorgaben für die brandschutztechnische Ausstattung unterirdischer Personenverkehrsanlagen (uPva), Stand 01. Februar 2018
- [5] Planunterlagen der atelier 4d Architekten, 2. S-Bahn-Stammstrecke München Optimierung Planung Ostbahnhof, Koordination Stand 4. Dezember 2020
  - (1) Grundriss Draufsicht
  - (2) Grundriss Oberfläche 0
  - (3) Grundriss Ebene -1 (Zwischengeschoss)
  - (4) Grundriss Ebene -1 (Sperrengeschoss)
  - (5) Grundriss Ebene -1 (PU West)
  - (6) Grundriss Ebene -2 (Zwischengeschoss)
  - (7) Grundriss Ebene -2 (Bahnsteigebene)



- (8) Grundriss Ebene -3 (Medientunnel)
  - (9) Längsschnitt A–A (Mittelachse)
  - (10) Längsschnitt B–B (Gleisachse)
  - (11) Längsschnitt C–C (Gleisachse) und O–O (Hebeanlage)
  - (12) Querschnitt D–D, E–E, F–F, G–G, H–H
  - (13) Querschnitt I–I, J–J, K–K, L–L, M–M, N–N
  - (14) Schnitt PU West und PU Friedenstraße
- [6] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, E-Mail der DB Netz AG, Frau Büttner an die STUVAtec am 17.11.2020 mit Angaben zu den wartenden Personen in der uPva MOPT
- [7] 2. S-Bahn-Stammstrecke München, E-Mail der DB Regio AG (S-Bahn München), Herr Mader, an die DB Netz AG, Herrn Arzti, am 28. Juli 2017 mit Angaben zum neuen Fahrzeuglayout der ET 423 mit erhöhter Personenkapazität
- [8] vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, TB04-01, Herausgeber Jochen Zehfuß, 4. überarbeitete und ergänzte Auflage März 2020
- [9] Bosch, J. W.: North-South-Line: The Development of a new Safety Concept, International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, Dezember 1999