

Integrierte Gesamtlösung München Hauptbahnhof

Vorhaltemaßnahme Rohbau Stationsbauwerk U9

Evakuierungssimulationen Bahnhofsgebäude U9 Haltepunkt Hauptbahnhof der U9 (nachrichtlich)

Vorhabenträger

DB NETZE

DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Richelstraße 1, 80634 München

DB NETZE

DB Station & Service AG
Bahnhofsmanagement München
Bayerstraße 10a, 80335 München

DB NETZE

DB Energie GmbH
Energieversorgung Süd
Richelstraße 3, 80634 München

Landeshauptstadt München

Die Vorhabenträger vertreten durch

DB NETZE

DB Netz AG
Großprojekt 2. S-Bahn-Stammstrecke München
Arnulfstr. 27, 80335 München, Tel 089/1308-0



München, den 21.09.2020



Stadtwerke München

Haltepunkte Hauptbahnhof der U9
Evakuierungssimulationen
Bahnhofsgebäude U9

21.09.2020

ILF CONSULTING ENGINEERS

Feldkreuzstraße 3, A-6063 Rum bei Innsbruck
Tel: 0512-2412-0 / Fax: 0512-2412-5900
E-Mail: info.ibk@ilf.com



REVISIONSVERZEICHNIS

Rev.	Datum	Ausgabe, Art der Änderung	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
02	21.09.2020	Einarbeitung der Anmerkungen aus der Besprechung am 11.09.2020	Kammerer	Zaunrith	Kammerer
01	21.07.2020	Erste Ausgabe	Kammerer	Zaunrith	Kammerer
Rev.	Datum	Ausgabe, Art der Änderung	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	4
1.1	Projektübersicht	4
1.2	Inhalt dieses Dokuments	4
1.3	Grundlagen	4
2	PARAMETER	5
2.1	Verwendete Software – <i>Pathfinder</i>	5
2.2	Geometrisches Modell	6
2.2.1	Stationsbauwerk	6
2.2.2	Ausgänge an die Oberfläche	9
2.2.3	U-Bahngarnitur	10
2.3	Personenmodell	11
2.3.1	Initiale Verteilung der Personen	11
2.3.2	Eigenschaften der Personen	12
2.4	Evakuierungsszenario	15
3	ERGEBNISSE	16
4	ANHANG 1 – SCREENSHOTS ZU RELEVANTEN ZEITSCHRITTEN	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Darstellung des geometrischen Modells des Stationsbauwerkes U9	6
Abbildung 2: Ausgänge des Haltepunkts Hauptbahnhof der U9	7
Abbildung 3: Gesperrte Fahrsteige bei den nördlichen Ausgängen	8
Abbildung 4: Sicherer Bereich am Fuß des Aufgangs Nord 1	8
Abbildung 5: Darstellung des nördlichen Ausganges an die Oberfläche (Ebene E0) auf Ebene E-19	
Abbildung 6: Darstellung des südlichen Ausganges an die Oberfläche (Ebene E0) auf Ebene E-1	10
Abbildung 7: Sitzlayout Kopf- und Mittelwagen gem. [3]	10
Abbildung 8: Typenplan Kopf- und Mittelwagen gem. [3]	11
Abbildung 9: Kapazität der U-Bahngarnitur gem. [3]	11
Abbildung 10: Initiale Verteilung der Personen	12
Abbildung 11: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit des Alters gem. [7]	13
Abbildung 12: Reduktionsfaktor der Fortbewegungsgeschwindigkeit auf der Treppenachse gem. [8]	14
Abbildung 13: Darstellung der Staubereiche – gesamte Bahnsteigebene	17
Abbildung 14: Darstellung der Staubereiche – Aufgangsgebäude Nord	18
Abbildung 15: Darstellung der Staubereiche – Aufgangsgebäude Süd	18
Abbildung 16: Darstellung der Staubereiche – Ebene E-1 Nord	19
Abbildung 17: Darstellung der Staubereiche – Ebene E-1 Süd	19

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Altersverteilung der Population	12
Tabelle 2: Gehgeschwindigkeitsverteilung der Population	13
Tabelle 3: Detaillierergebnisse der einzelnen Simulationsläufe	16

1 EINLEITUNG

1.1 Projektübersicht

Die Linie U9 der Münchner U-Bahn ist ein geplanter Streckenabschnitt im U-Bahn-Netz von München. Sie verläuft in Nord-Süd-Richtung und soll unter anderem die 1. Stammstrecke entlasten. Sie soll am U-Bahnhof Dietlindenstraße von der 1. Stammstrecke abzweigen und weiter über die Münchner Freiheit, den Elisabethplatz, die Pinakotheken, den Hauptbahnhof und den Esperantoplatz (2. Wiesn-Bahnhof) zur Implert- bzw. Poccistraße führen, wo sie wieder in die 1. Stammstrecke einmündet.

1.2 Inhalt dieses Dokuments

Im gegenständlichen Dokument werden die Grundlagen und Berechnungen der Evakuierungssimulation als Ergänzung zu den Berechnungen der Lüftung und Entrauchung für den Haltepunkt Hauptbahnhof der U9 beschrieben und die Ergebnisse entsprechenden ausgewertet und erörtert.

1.3 Grundlagen

- [1] User Manual – Pathfinder 2014, von Thunderhead Engineering, Manhattan, USA, https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/downloads/2014/10/users_guide.pdf, 07.02.2020
- [2] BIM-Modelle Bahnsteig U9 zum Rohbau (23_M_SSFxx_V04_312_XX_MRB_003) und zur Architektur (23_M_A4Dxx_V04_351_XX_MAR_034) , Planungsstand 11.05.2020
- [3] Typenplan und Sitzlayout D-Zug; E-Mail Hr. Rehm (SWM) am 03.03.2020.
- [4] Auszug aus dem Schreiben der DB vom 09.12.2019 sowie dem E-Mail-Verkehr zwischen Daniel Stix (ILF) und Victoria Büttner (DB) am 19.12.2019.
- [5] Liste mit abgestimmten Randbedingungen – Telefonkonferenz am 27.05.2020 sowie zugehörige E-Mail von D. Stix am 27.05.2020.
- [6] Bevölkerungszensus Deutschland – Stichtag 09.05.2011, des Statistischen Bundesamts (Destatis), <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data?operation=abruftabelle&levelindex=1&levelid=1578998865520&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=12111-0002&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf>, 14.01.2020 / 11:48:03
- [7] Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen, von RIMEA e. V., Version 3.0.0, 10.03.2016
- [8] Hurley, M.J. et al., in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.
- [9] Brandschutzkonzept für den U-Bahnhoflinie 9 am Hauptbahnhof München, Stand 14.02.2020

2 PARAMETER

2.1 Verwendete Software – *Pathfinder*

Als Berechnungsverfahren wird die Evakuierungssoftware *Pathfinder* (Version 2019.1.0509 x64) herangezogen, welche die dynamische Simulation von Evakuierungsprozessen ermöglicht. Im Vordergrund stehen dabei die Berechnung und Darstellung von Bewegungen großer Personenströme in definierten Geometrien, wobei der Weg jeder einzelnen Person nachvollzogen werden kann. Durch die exakte Modellierung kann zu jedem Zeitpunkt der Evakuierung ein genaues Bild der Entfluchtung erstellt werden, sodass für jede Evakuierungsphase das mögliche Gefährdungspotenzial untersucht und überprüft werden kann.

Zur Berechnung der Evakuierungszeiten berücksichtigt das Programm die Interaktion zwischen den Personen untereinander, zwischen den Personen und dem Gebäude sowie der Umgebung. Jede Person wird dabei als ein Individuum betrachtet, dessen Verhalten und Fortbewegung durch eine Anzahl an heuristischen Regeln bestimmt wird.

Pathfinder bietet die Möglichkeit, sowohl für Personengruppen als auch für jede einzelne Person individuelle Merkmale bezüglich physischer und psychischer Fähigkeiten (Attribute) vorzugeben. Im Allgemeinen werden diese Attribute, einer bestimmten Verteilung folgend, der Population zugewiesen.

Entwickelt wurde *Pathfinder* von *Thunderhead Engineering Consultants*, USA, wobei die Software auf einer Berechnungsmethode basiert, die nach den „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ aufgestellt bzw. veröffentlicht und in der Fachwelt als ausreichend verifiziert eingestuft wurde.

Die Simulationen werden 6 mal wiederholt und das arithmetische Mittel für die Interpretation der Ergebnisse herangezogen. Je Durchlauf werden die Eigenschaften der Personen (z.B. Gehgeschwindigkeit) sowie deren Position im jeweiligen Raum (Bahnsteig oder Zug) zufällig neu verteilt.

2.2 Geometrisches Modell

Das geometrische Modell einer Evakuierungssimulation beruht auf einer vereinfachten, zweidimensionalen Geometrie, bestehend aus den für die Flüchtenden verfügbaren Wegflächen. Dazu gehören unter anderem die Ebenen (Räume, Gänge etc.), Fahrtreppen und Festtreppen. Gegebenenfalls sind auch noch etwaige Türen und Liftanlagen zu berücksichtigen.

Das geometrische Modell des Haltepunkts Hauptbahnhof der U9 beruht auf den vorliegenden Planunterlagen [2] sowie den zu berücksichtigenden Zügen gemäß [3] und [4]. Und setzt sich daher aus den folgenden zwei Submodellen zusammen:

- Stationsbauwerk (inkl. Fahrsteigen & (Flucht-)Treppen)
- Zuggarnituren

Abbildung 1 zeigt einen Screenshot des geometrischen Modells in Pathfinder.



Abbildung 1: Darstellung des geometrischen Modells des Stationsbauwerkes U9

2.2.1 Stationsbauwerk

Dieser Bericht umfasst die Eingangsparameter und Ergebnisse der Berechnungen für das Gesamtbauwerk der U-Bahn-Station U9 - Bahnsteigebene bis zur Oberfläche (Ebene E0).

Das geometrische Modell des Nord-Süd-ausgerichteten Stationsbauwerks umfasst zwei circa 120 m lange Inselbahnsteige sowie 16 einzelne Ausgänge zur Entfluchtung. Die Gleisbezeichnung erfolgt dabei von West nach Ost respektive wie folgt: Gleis 3, Gleis 1, Gleis 4 und zuletzt Gleis 2.

Die Lage der Ausgänge für die Evakuierungssimulation können der folgenden Skizze entnommen werden:

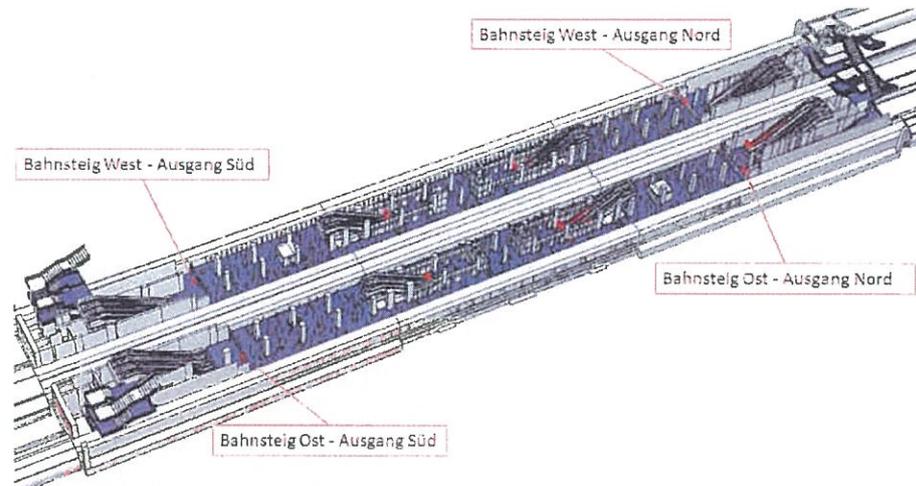


Abbildung 2: Ausgänge des Haltepunkts Hauptbahnhof der U9

Die Bahnsteigebene (rd. 1.500 m²) steht den Reisenden uneingeschränkt zur Verfügung. Hinzu kommen die folgenden 16 Auf- und Abgänge:

- vier Treppenhäuser: je 1 Treppenhaus pro Inselbahnsteig (Ost und West) jeweils am südlichen und am nördlichen Ende der Station
- 12 einzelne Fahrtreppen: je 3 Stück pro Inselbahnsteig (Ost und West) jeweils am südlichen und am nördlichen Ende der Station

Die 8 einzelne Fahrtreppen (jeweils 2x2 Stück pro Inselbahnsteig mittig) werden im Zuge der Evakuierungssimulationen nicht für die Flucht verwendet.

Im Ereignisfall, speziell im Brandfall, können beziehungsweise werden die Fahrtreppen angehalten, sodass den flüchtenden die Abgänge ebenfalls zur Verfügung stehen. Allerdings ist bei der Szenarioerstellung die Möglichkeit zu berücksichtigen, dass einzelne Fahrtreppen aus Gründen der Wartung nicht benutzbar sind. Es wird daher je Bahnsteig eine Fahrtreppe als nicht funktionstüchtig eingestuft. Die nicht benutzbaren Fahrsteige (in Rot markiert) wurden an den Aufgängen Nord 1 und Nord 2 angesetzt, da der alternative Fluchtweg (Stiegenhaus) hier länger ausfällt als auf der Südseite (konservativer Ansatz).

Für das erstellte Evakuierungsszenario stehen den Flüchtenden somit je Bahnsteig zwei Treppenhäuser und fünf Fahrsteige als Fluchtwege zu Verfügung. Die Lage der gesperrten Fahrsteigen am nördlichen Ende der Bahnsteige kann der Abbildung 3 entnommen werden.

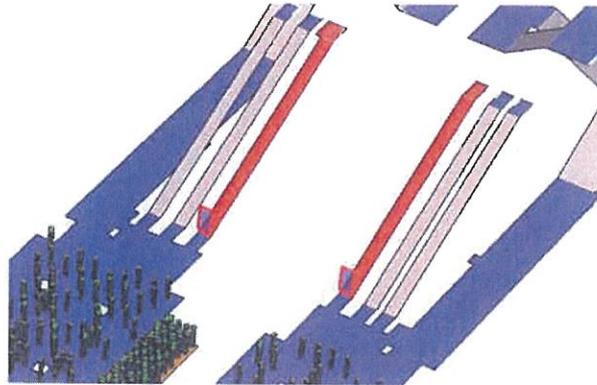


Abbildung 3: Gesperrte Fahrsteige bei den nördlichen Ausgängen

Die Fahrstühle stehen in den Evakuierungssimulationen nicht zur Flucht zur Verfügung. Die Evakuierung erfolgt ausschließlich über Festtreppen und Fahrtreppen.

Die Treppenhäuser haben grundsätzlich eine lichte Weite von 3,0 m zwischen den Handläufen. Davon ausgenommen sind die ersten Treppenläufe parallel zum Fahrtunnel: Aufgrund einer Verbreiterung des Randweges im Tunnel, weisen die Festtreppen eine lichte Weite von mind. 2,8 m auf. Weiters verfügen die Treppenaufgänge von Ebene E-1 auf Ebene E0 (Oberfläche) abweichende lichte Breiten, da hier mehrere Aufgänge (Festtreppen, Fahrtreppen) zusammenführen. Details zu den Ausgängen an die Oberfläche sind im nächsten Kapitel angeführt.

Die Abmessungen der Stufen betragen jeweils 30 cm x 16,4 cm. Die Fahrsteige haben allesamt eine lichte Weite von 1,0 m. Die Abmessungen der Stufen betragen circa 40 cm x 25 cm.

In der gegenständlichen Evakuierungssimulation wurden die Verglasung vom Bahnsteig abgeschotteten Bereiche am Fuß der (Flucht)-Treppen beziehungsweise der Fahrsteige als **Sichere Bereiche** festgelegt. In Abbildung 4 ist ein solcher Bereich beispielhaft dargestellt.

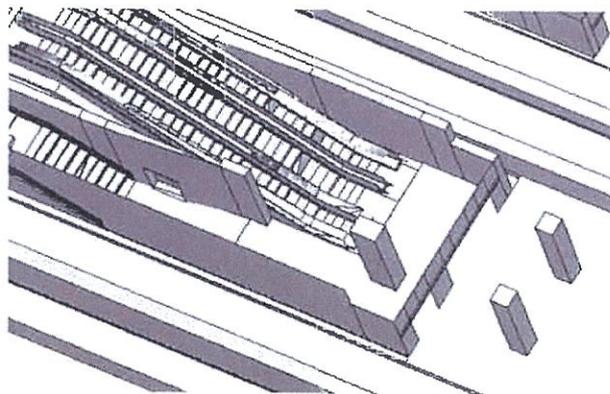


Abbildung 4: Sicherer Bereich am Fuß des Aufgangs Nord 1

Das Modell umfasst somit vier Sichere Bereiche; einen an jedem Bahnsteigende.

2.2.2 Ausgänge an die Oberfläche

Als **Endgültig Sicherer Ort** gilt der Bereich an der Oberfläche (Ebene E0) nach Verlassen des Stationsbauwerks. In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind die nördlichen und südlichen Aufgänge von Ebene E-1 auf Ebene E0, die in der Evakuierungssimulation für die Station der U9 betrachtet wurden, dargestellt.

Der nördliche Ausgang verfügt über eine Festtreppe mit einer lichten Weite von 3,5 m und zwei parallelen Fahrtreppen. Der südliche Ausgang verfügt über eine Festtreppe mit einer lichten Weite von 5,4 m und einer parallelen Fahrttreppe.

Zusätzlich sind die jeweiligen Aufgänge von Bahnsteig Ost und Bahnsteig West mittels Fahrtreppen sowie Festtreppen (Fluchttiegenhaus) gekennzeichnet. Mögliche Aus- bzw. Aufgänge zugehörig zur 1. SBSS sowie U4/U5 werden in den Simulationen nicht herangezogen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass eine Verteilerebene gem. E DIN 5647, Ziffer 6.3.1 zumindest 2 unabhängige Ausgänge benötigt. Für weitere Details wird auf das Brandschutzkonzept verwiesen [9].

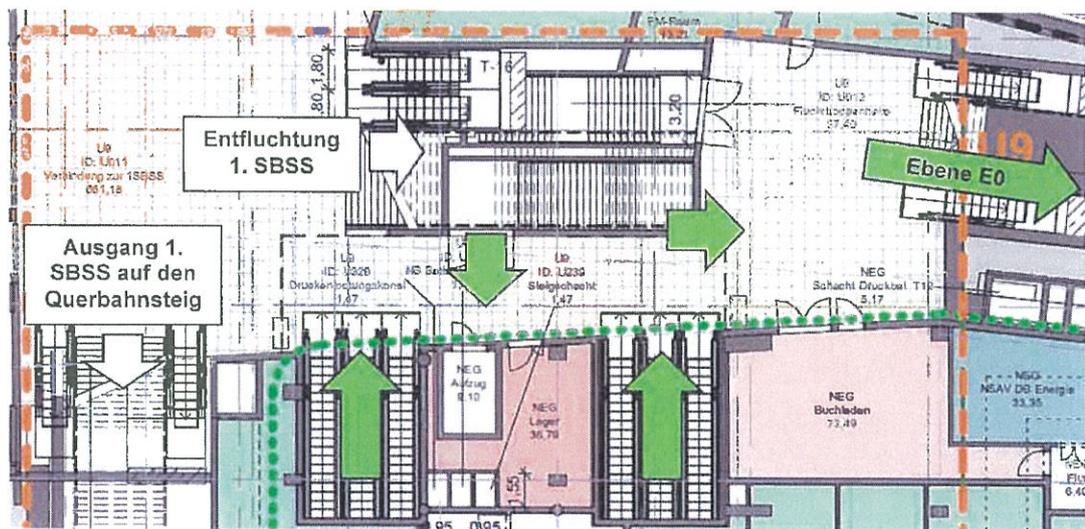


Abbildung 5: Darstellung des nördlichen Ausgangs an die Oberfläche (Ebene E0) auf Ebene E-1

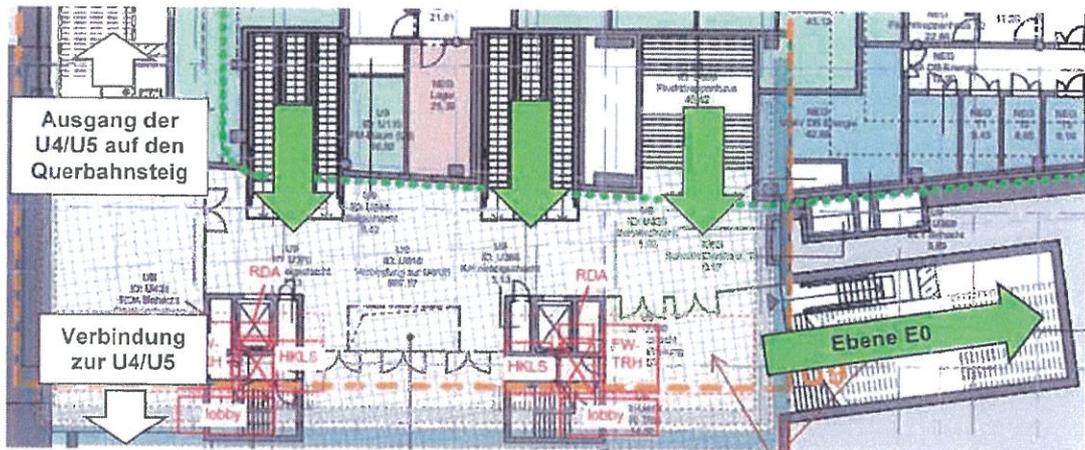


Abbildung 6: Darstellung des südlichen Ausganges an die Oberfläche (Ebene E0) auf Ebene E-1

2.2.3 U-Bahngarnitur

Bei den zu evakuierenden Zügen handelt es sich gemäß [3] um 6 durchgängige U-Bahngarnituren, die sich an den Bahnsteigen der Gleise 3, 1 & 2 befinden. Dabei besteht eine jede Garnitur aus zwei Kopfwägen und 4 Mittelwägen, wie sie der Abbildung 7 und Abbildung 8 entnommen werden können.

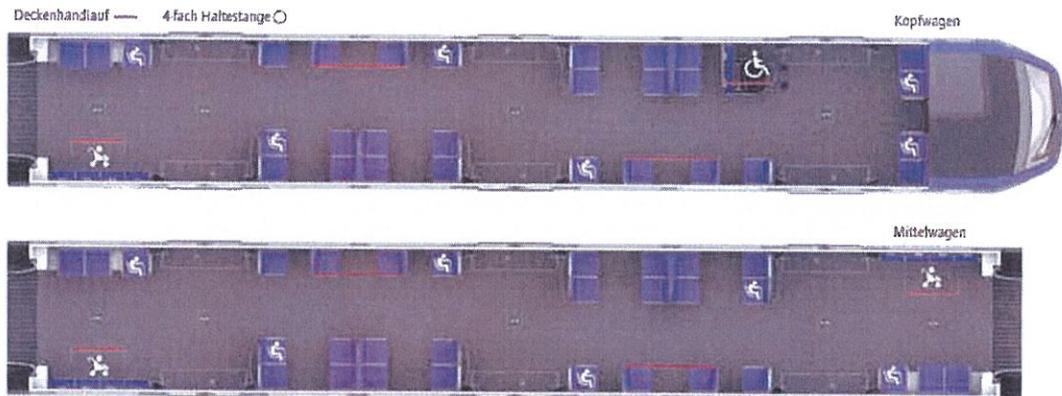


Abbildung 7: Sitzlayout Kopf- und Mittelwagen gem. [3]

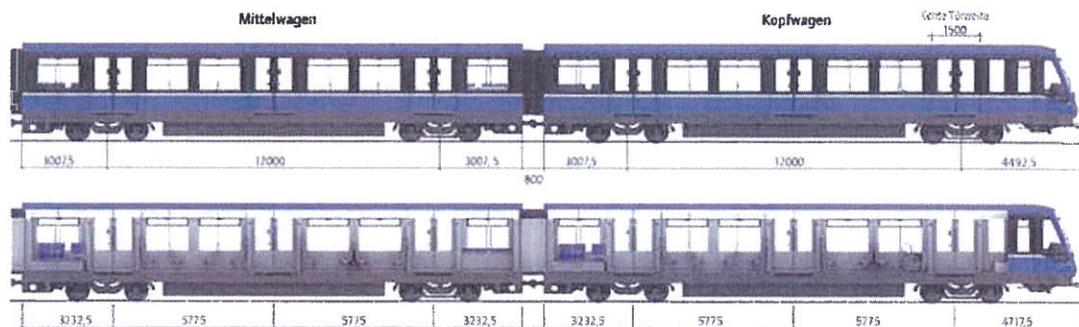


Abbildung 8: Typenplan Kopf- und Mittelwagen gem. [3]

Je Wagen stehen zur Evakuierung drei doppelflügelige, 1,50 m breite, seitlich aufgehende Türen zur Verfügung. Auf eine Modellierung des Wageninneren (Bänke etc.) wurde bei der gegenständlichen Untersuchung verzichtet.

Die Kapazität des Fahrgastraumes der gesamten U-Bahngarnitur ist in Abbildung 9 dargestellt.

Kapazität des Fahrgastraums			
	Kopfwagen	Mittelwagen	6-Teiler
festen Sitze	29	30	178
Multifunktionsbereiche 	1	2	10
Vorrangsitze 	6	6	36
Rollstuhlplätze 	1	0	2
Stehhilfen	6	8	44
Gesamtplätze	150	165	960

Abbildung 9: Kapazität der U-Bahngarnitur gem. [3]

2.3 Personenmodell

2.3.1 Initiale Verteilung der Personen

Es wird davon ausgegangen, dass die U-Bahngarnituren gemäß [4] mit 960 Personen voll besetzt sind (überaus konservativer Ansatz).

Darüber hinaus wurde vereinbart [5], dass initial auf jedem der vier Bahnsteigkanten 30 % der Zugpopulation zusätzlich als Wartende angesetzt werden. Demnach befinden sich anfänglich 576 Personen auf den beiden Bahnsteigen Ost und West. Die Verteilung der Reisenden kann der Abbildung 10 entnommen werden.

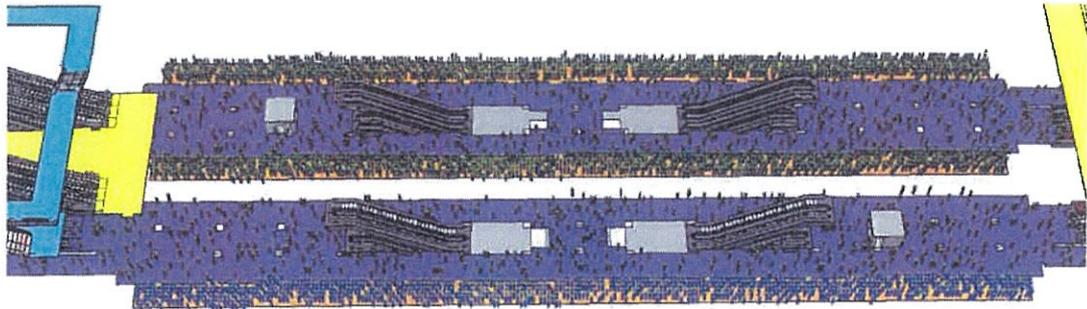


Abbildung 10: Initiale Verteilung der Personen

2.3.2 Eigenschaften der Personen

Die Population in der Evakuierungssimulation gründet auf einer Altersverteilung gemäß [5] und wurde dementsprechend in drei Gruppen eingeteilt; jene der unter 30-jährigen, die der 30 bis 50-jährigen und jene der über 50-Jährigen.

Personengruppe	Verteilung	Personen je Zug	Personen je Bahnsteig	Insgesamt
< 30 Jahre	29,85 %	287	172	1.204
30-50 Jahre	33,24 %	319	191	1.340
> 50 Jahre	36,91 %	354	213	1.488
	Σ	960 (x3)	576 (x2)	4.032

Tabelle 1: Altersverteilung der Population

Darüber hinaus wurden die Gehgeschwindigkeiten der jeweiligen Altersgruppen entsprechend der RiMEA-Richtlinie [7] angepasst:

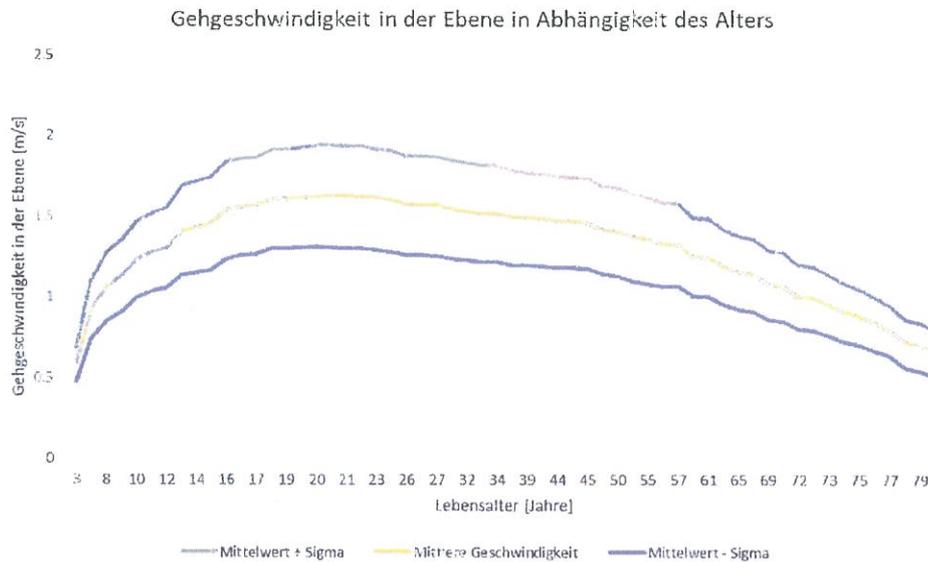


Abbildung 11: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit des Alters gem. [7]

Die Geschwindigkeitsverteilung innerhalb einer Gruppe ergibt sich dabei aus der Normalverteilung innerhalb eines 2σ -Intervalls um den Mittelwert (μ).

	$\mu - \sigma$	μ	$\mu + \sigma$	σ	2σ	Min	Max
Altersgruppe <30	1.10	1.37	1.63	0.27	0.53	0.84	1.90
Altersgruppe 30-50	1.20	1.49	1.77	0.29	0.58	0.91	2.06
Altersgruppe >50	0.84	1.05	1.25	0.21	0.42	0.63	1.47

Tabelle 2: Gehgeschwindigkeitsverteilung der Population

Die angesetzten Gehgeschwindigkeiten in der Ebene der Personengruppe unter Dreißig schwanken somit zwischen 0,84 m/s und 1,90 m/s, während sich die der Gruppe über Fünfzig zwischen 0,63 m/s und 1,47 m/s und jene der 30-50-Jährigen zwischen 0,91 m/s und 2,06 m/s verteilen.

Für die anzusetzenden Geschwindigkeiten auf den Festtreppen und Fahrtreppen wurde ein grundsätzlicher Reduktionsfaktor von 0,9 vereinbart um etwaige Ermüdung abzubilden [4][5].

Darüber hinaus reduziert sich die Fortbewegungsgeschwindigkeit auf Treppen und Fahrtreppen in Abhängigkeit der zu überwindenden Steigung [5]. Hierfür wurde die Treppenfunktion nach SFPE [8] herangezogen. Die entsprechende Treppenfunktion ist im nachfolgenden Diagramm abgebildet:

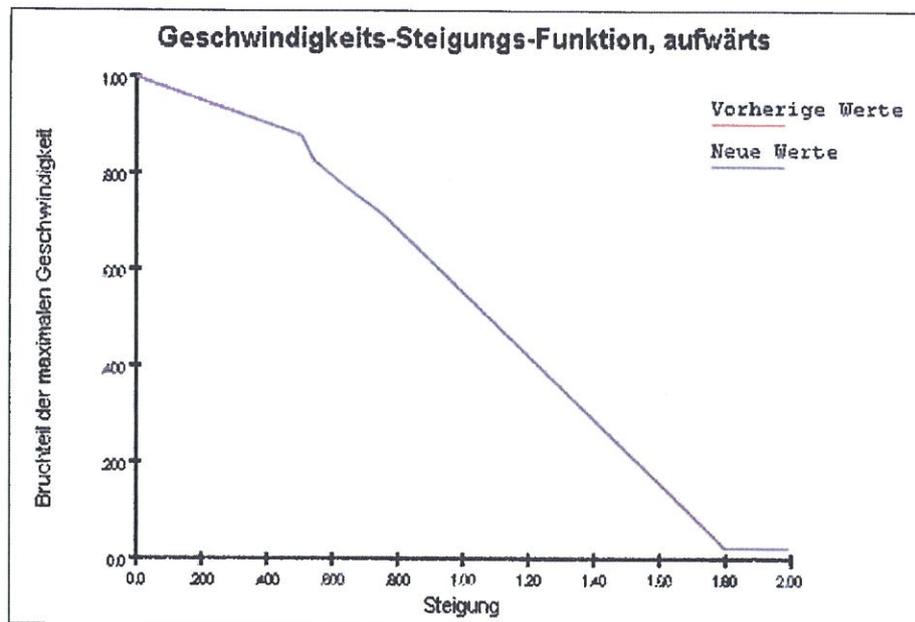


Abbildung 12: Reduktionsfaktor der Fortbewegungsgeschwindigkeit auf der Treppenachse gem. [8]

Je nach Steigung der benutzen (Flucht-)Treppen oder Fahrtreppen ergeben sich dementsprechend für die Flüchtenden unterschiedliche Geschwindigkeitsreduktionen. Auf Festtreppen resultieren demnach maximale, unbeeinträchtigte Gehgeschwindigkeiten von ca. 0,46 – 1,5 m/s, bzw. auf Fahrtreppen 0,44 – 1,46 m/s auf der Treppenachse bergauf. Seitliche Bewegungen auf den Treppen (90° zur Treppenachse) ohne vertikaler Höhendifferenz werden mit Geschwindigkeiten wie auf der Ebene (siehe oben) durchgeführt.

Die psychischen Attribute der Flüchtenden wurden so kalibriert, dass sie zunächst nach dem nächstgelegenen Ausgang suchen. Sollten sie dort aber – z. B. aufgrund einer Staubildung – nicht weiter kommen, entscheiden sie sich für einen anderen Fluchtweg, der sie früher aus dem Gefahrenbereich führt. Dieses Verhaltensmuster lässt sich in Anbetracht einer ausreichenden Fluchtwegbeschilderung gut vertreten.

2.4 Evakuierungsszenario

Simuliert wird, unabhängig vom Ereignisort, die Evakuierung des Stationsbereichs infolge eines kritischen Ereignisses wie zum Beispiel einem Brand [5]. Wie eingangs erwähnt stehen dafür alle (Flucht-)Treppen und Fahrtreppen an den Bahnsteigenden, bis auf einen je Bahnsteig, zur Verfügung. Die 8 Fahrtreppen in Bahnsteigmitte werden nicht als Fluchtweg angesetzt.

Das abzubildende Evakuierungsszenario beginnt dabei nicht simultan mit dem Ereignis (z. B. Ausbruch des Brands) sondern mit der allgemeinen Evakuierungsaufforderung. Etwaige Fluchtbewegungen (z. B. von Personen die das Ereignis frühzeitig erkennen), die vor der Evakuierungsaufforderung stattfinden, werden daher nicht abgebildet (konservativer Ansatz). Dafür beginnt die Evakuierung aller Personen gleichzeitig.

Auch wird angenommen, dass alle drei im Bahnhof befindlichen Züge evakuiert werden. Die Möglichkeit, dass einer oder zwei der nicht betroffenen Züge die Türen schließt und abfährt, sodass die Insassen vom Ereignisort wegbefördert werden und damit keiner Gefährdung mehr ausgesetzt sind, wird ebenfalls nicht abgebildet.

Auf das Eintreffen von Einsatzkräften und damit deren Bewegung entgegen dem allgemeinen Personenstrom wurde im Rahmen des gewählten Szenarios verzichtet, da der Fokus in der gegenständlichen Evakuierungsanalyse auf der Selbstrettung liegt.

Dieser Bericht umfasst die Eingangsparameter und Ergebnisse der Berechnungen für die Simulationen bis zur Oberfläche (endgültig sicherer Bereich).

Es wurden im Rahmen des Auftrags keine weiteren Szenarien erstellt.

Das Ende der Simulationen stellt der Zeitpunkt dar, sobald alle Personen den endgültigen sicheren Bereich an der Oberfläche (Ebene E0) erreicht haben (siehe Kapitel 2.2.1). Zusätzlich wird der Zeitschritt ausgewertet, wenn sich alle Personen im (temporär) sicheren Bereich hinter der mit einer Verglasung geschützten Bereich vor den Treppenaufgängen befinden.

Dem Ergebnis der Evakuierungssimulation werden 2 Minuten für die Restfahrzeit und weitere 2 Minuten für die Reaktionszeit (Summe: 4 Minuten) aufgeschlagen.

3 ERGEBNISSE

Die Simulationen zeigen, dass unter den gegebenen Voraussetzungen mit einer Räumungsdauer der **Bahnsteigebene** von ca. **344 Sekunden**, ca. 5:44 Minuten, zu rechnen ist, bis auch der Letzte die den (temporär) sicheren Bereich innerhalb der Verglasungen betreten hat. Diese Ergebnisse beziehen sich auf den Bahnsteig West; auf dem Bahnsteig Ost befinden sich die Personen nach ca. 243 Sekunden in etwa 100 Sekunden früher im (temporär) sicheren Bereich, als auf Bahnsteig West.

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der Simulationen, dass sich die Personen nach durchschnittlich ca. **864 Sekunden** im endgültigen sicheren Bereich **an der Oberfläche außerhalb des Stationsbauwerkes** befinden. Bei Simulationen speziell mit komplexen Treppenaufgängen ergeben sich üblicherweise größere Schwankungsbreiten bei den Ergebnissen. Hier werden Endzeiten zwischen 743 und 1047 Sekunden ermittelt.

- Je Simulationslauf werden sowohl Position von Personen auf der Bahnsteigebene, als auch deren Gehgeschwindigkeit variiert
- Speziell in (komplexen) Treppenaufgängen können vorangehende langsame Personen folgende (potentiell) schnellere Personen negativ beeinflussen.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der einzelnen Simulationsläufe dargestellt. Das arithmetische Mittel der einzelnen Simulationsläufe stellt das Endresultat der Evakuierungssimulation dar. **Der ermittelten Räumungsdauer werden 2 Minuten für die Restfahrzeit und weitere 2 Minuten für die Reaktionszeit (Summe: 4 Minuten) aufgeschlagen.**

Nr. Simulationslauf	1	2	3	4	5	6	Durchschnitt
Alle Personen im „Sicheren Bereich“ Bahnsteig Ost	238 s	231 s	246 s	242 s	254 s	244 s	243 s
Alle Personen im „Sicheren Bereich“ Bahnsteig West	356 s	334 s	358 s	321 s	342 s	350 s	344 s
Alle Personen am „Endgültig Sicheren Ort“	840 s	902 s	743 s	778 s	869 s	1047 s	864 s
+ 4 Minuten (240s) für Restfahrzeit und Reaktionszeit							

Tabelle 3: Detailergebnisse der einzelnen Simulationsläufe

Eine Auswertung des Nutzungsgrades [s] der beiden Bahnsteigebenen kumuliert über die gesamte Evakuierungsdauer ist in Abbildung 13 dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass auf Bahnsteig West erhöhte Werte aufgrund der größeren Zahl an zu Evakuierenden auftreten. Die größten Nutzungsgrade befinden sich im Bereich der jeweiligen Ausgänge (Fahrtreppen und Festtreppen Ost / West).



Abbildung 13: Darstellung der Staubereiche – gesamte Bahnsteigebene

Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen im Detail die Staubereiche der nördlichen bzw. südlichen Aufgangsbauwerke.

Dabei ist ersichtlich, dass sich die Stauzeiten bis max. 200 Sekunden ergeben – jedoch ausschließlich am Bahnsteig West. Diese sind fast ausschließlich im Sicheren Bereich hinter den verglasten Einhausungen. Speziell am Bahnsteig West Ausgang Nord sind höhere Stauzeiten zu erkennen, was auf die geschlossene, in Wartung befindliche Fahrtreppe zurückzuführen ist.

In den Stiegenhäusern (Festtreppen und Fahrtreppen) treten keine nennenswerten Stauungen auf. Ein besonderes Augenmerk wurde auch den Bereich vor der Ausgangsstiege zur Oberfläche auf Ebene E-1 gelegt, da es hier (aufgrund von konservativer Annahmen) zu einer Reduktion der Rettungswegbreite kommt. Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen, dass es in diesen Bereichen zu keinen nennenswerten Stauungen kommt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die flüchtenden Personen in den Aufgängen der Fest- und Fahrtreppen aufgrund ihrer unterschiedlichen Gehgeschwindigkeiten entsprechend verteilen und verteilt über die Evakuierungsdauer im genannten Bereich eintreffen.

Ein Ausfall von Fahrtreppen im Aufgang von Ebene E-1 auf Ebene E0 wäre demnach marginal und mit geringfügigen Auswirkungen auf die Evakuierungszeit verbunden.

Auf das Eintreffen von Einsatzkräften und damit deren Bewegung entgegen dem allgemeinen Personenstrom wird im Rahmen des gewählten Szenarios verzichtet, da der Fokus in der gegenständlichen Evakuierungsanalyse auf der Selbstrettung liegt [5].

Im Anhang 1 sind Bilder aus den Simulationen (Screenshots) in relevanten Zeitschritten ab Beginn der Räumung beigefügt. Konkret handelt es sich um den 5. Simulationslauf, da dieser Werte am nächsten zu den Durchschnittswerten aufweist. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass alle genannten Zeitschritte ab Start der Evakuierung zu betrachten sind, also exklusive dem Aufschlag von 4 Minuten auf das Endresultat.

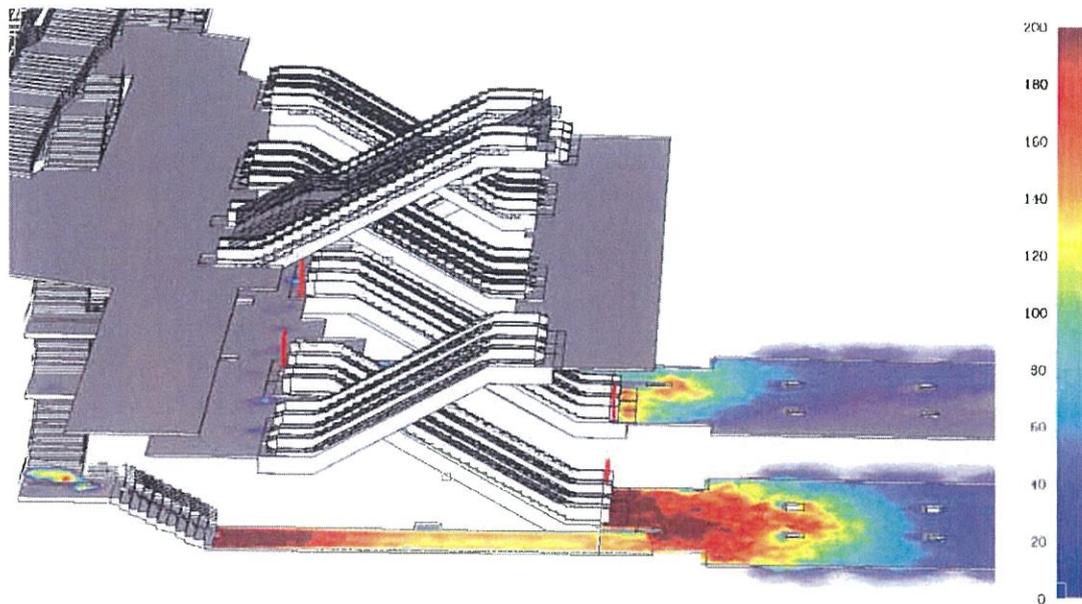


Abbildung 14: Darstellung der Staubbereiche – Aufgangsgebäude Nord

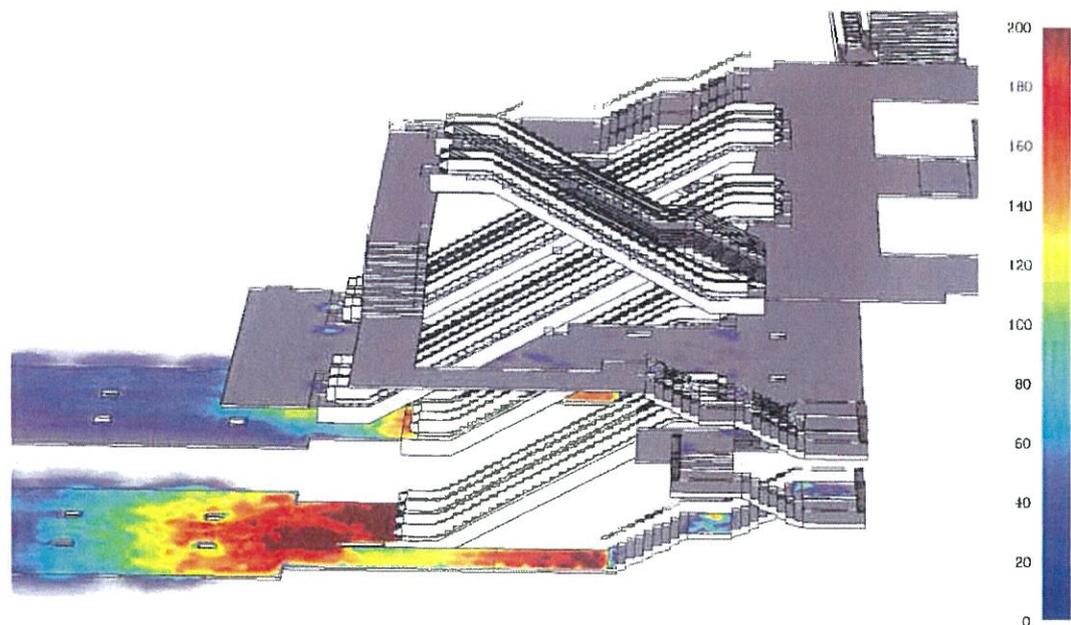


Abbildung 15: Darstellung der Staubbereiche – Aufgangsgebäude Süd

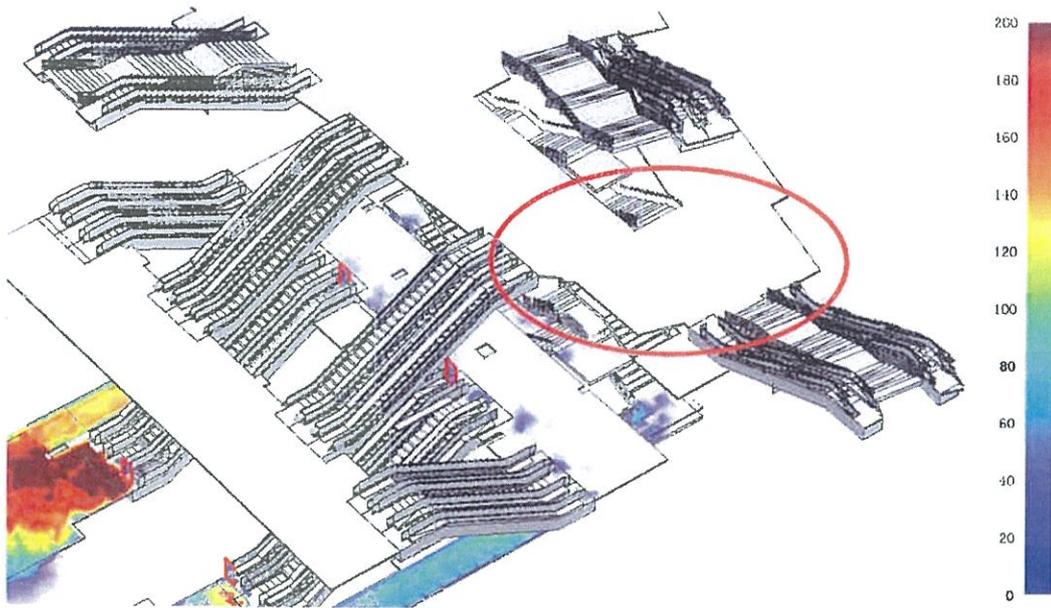


Abbildung 16: Darstellung der Staubereiche – Ebene E-1 Nord

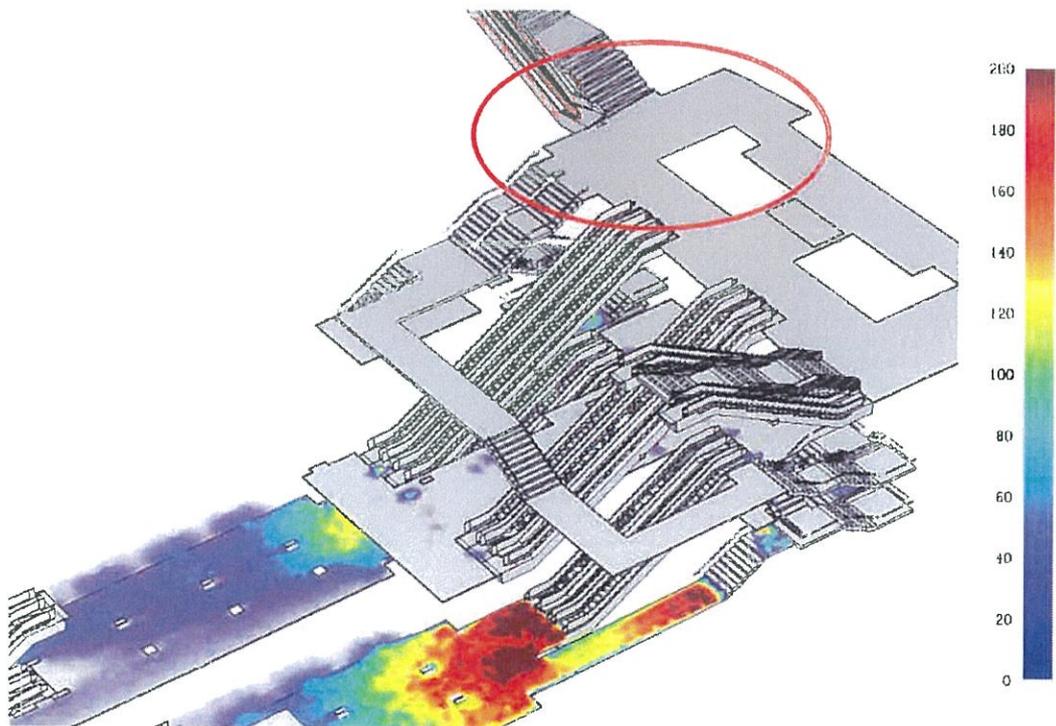
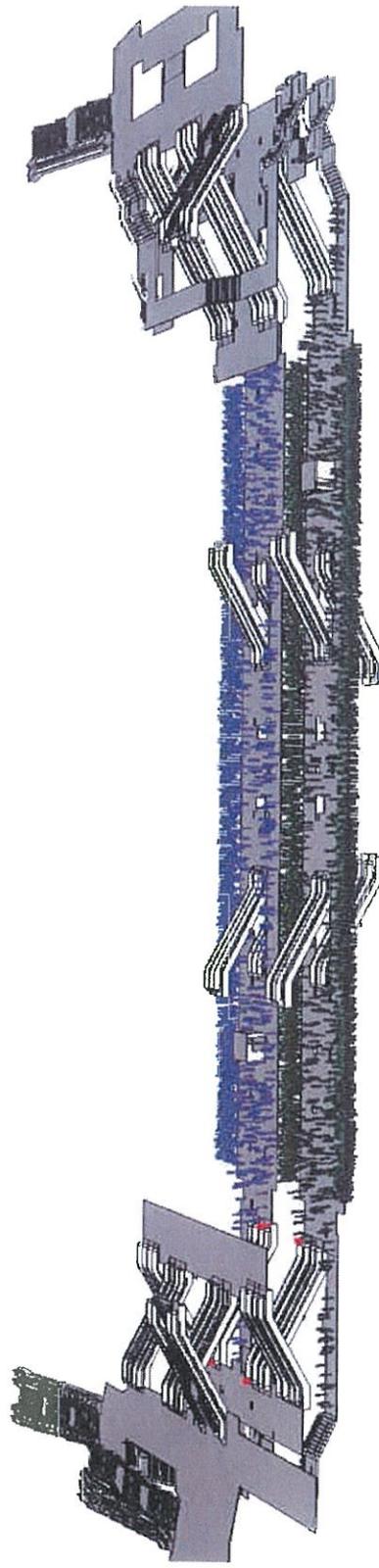
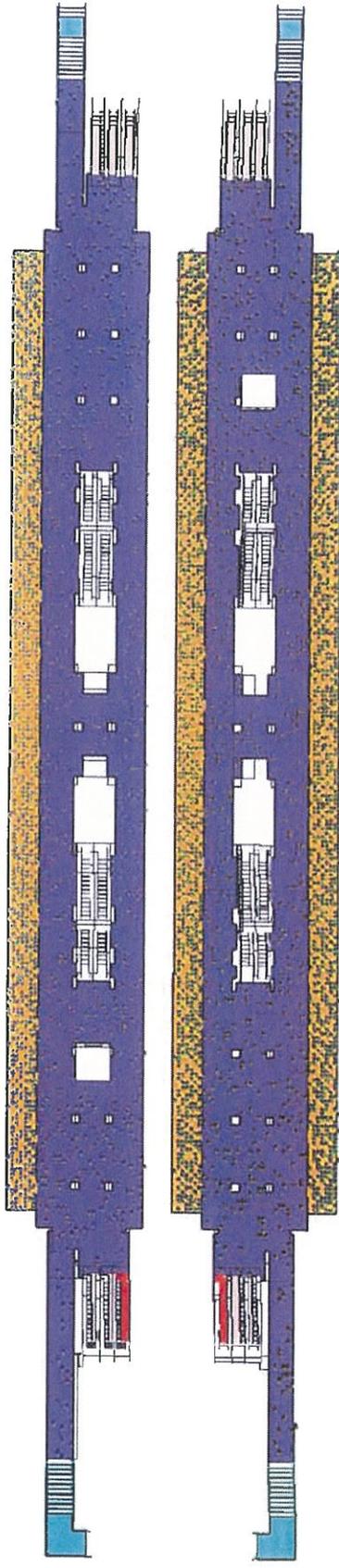


Abbildung 17: Darstellung der Staubereiche – Ebene E-1 Süd

4 ANHANG 1 – SCREENSHOTS ZU RELEVANTEN ZEITSCHRITTEN

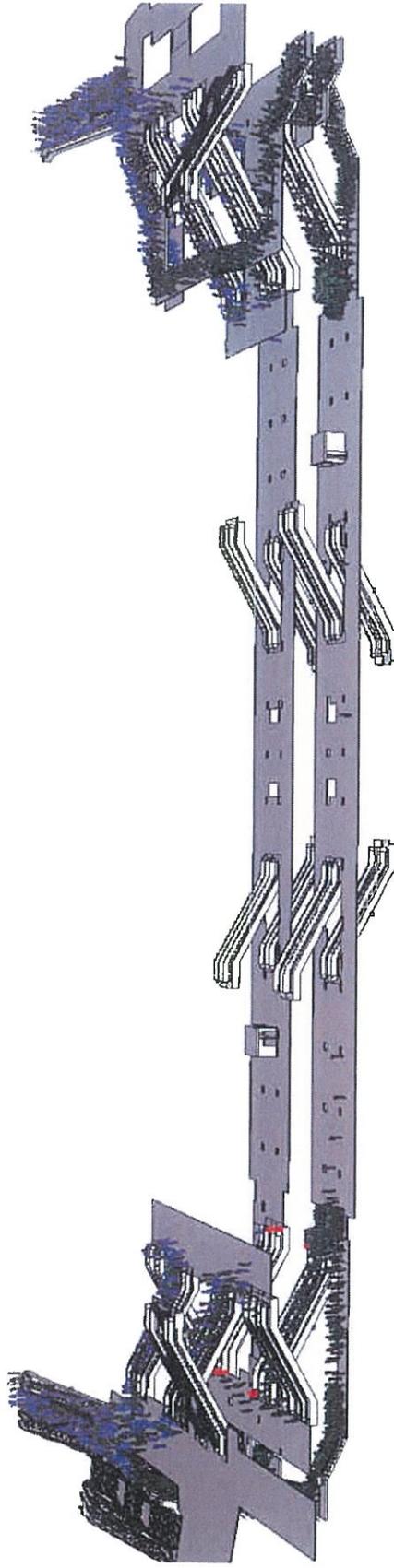
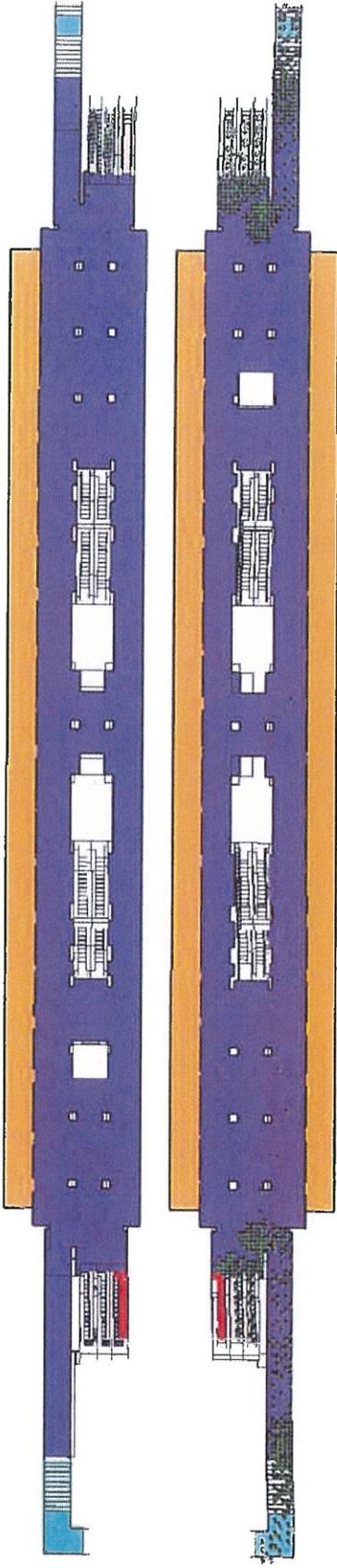
$t = 0$ s (Beginn der Evakuierungssimulation)



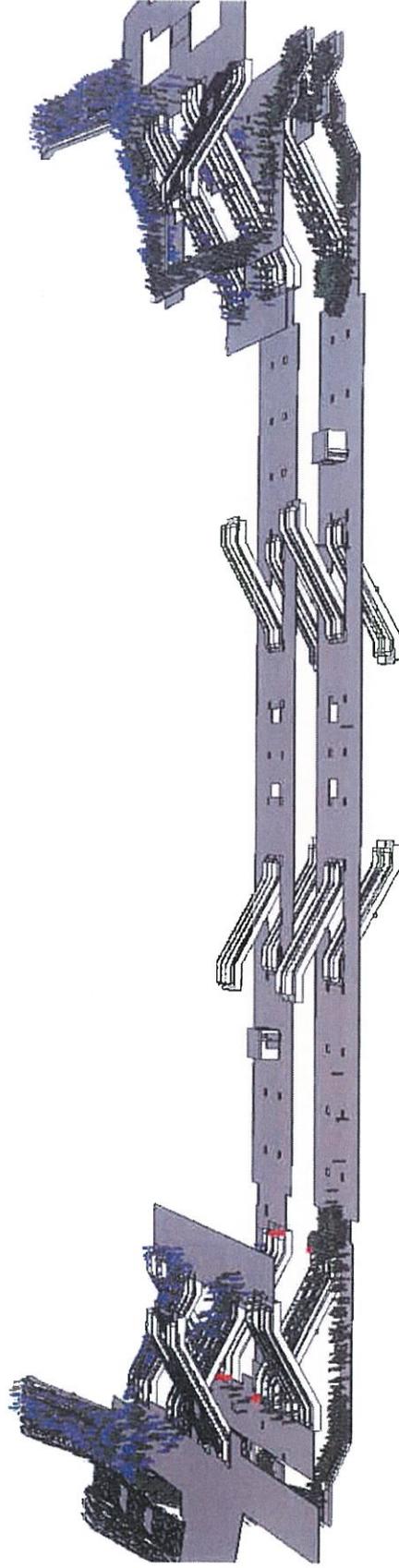
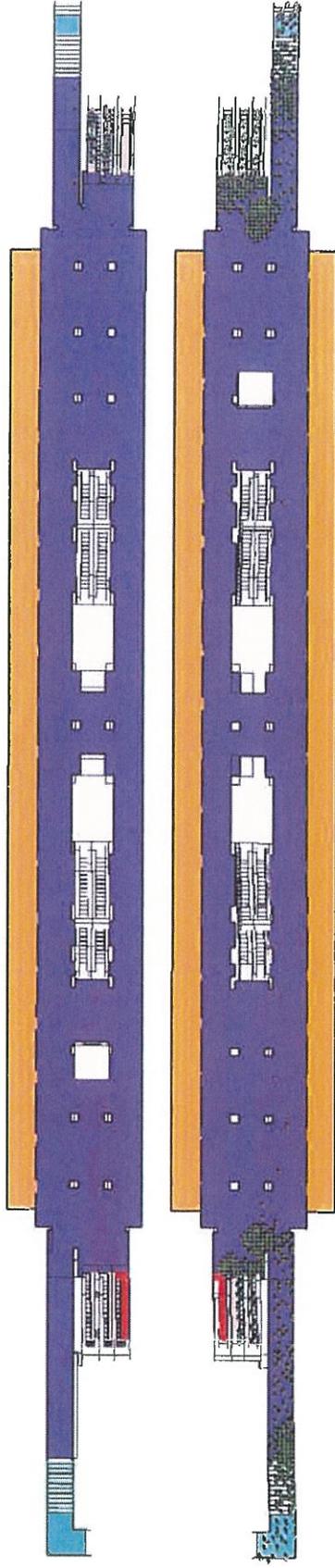
Haltepunkte Hauptbahnhof der U9
23_3_ILFxx_V02_001_XX_DBN_001_02
Evakuierungssimulationen Bahnhofsgelände U9

21.09.2020

t = 254 s (Bahnsteig Ost – alle Personen im sicheren Bereich)

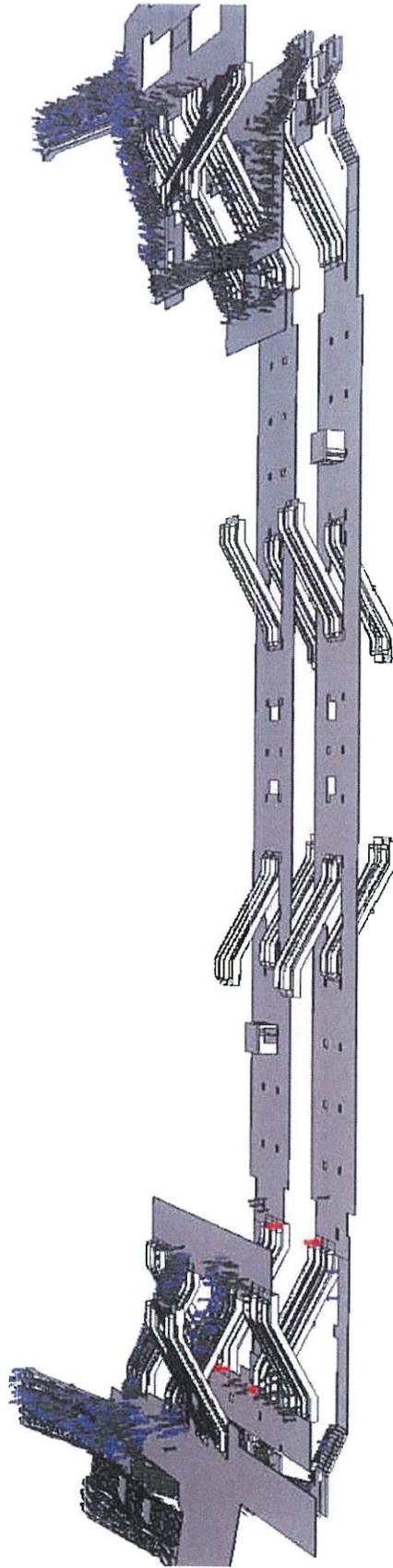
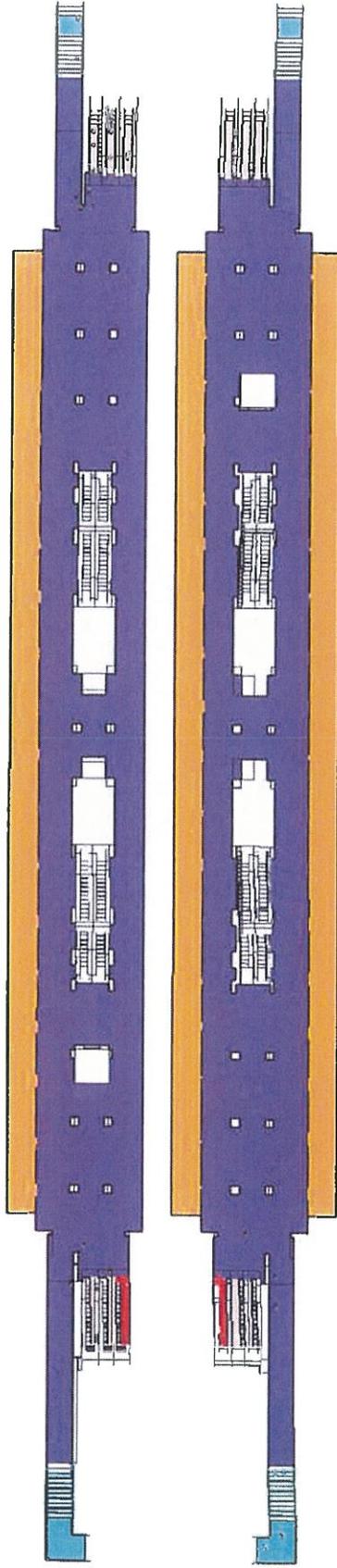


t = 260 s (Stauende auf beiden Bahnsteigen innerhalb der Einhausungen)



Haltepunkte Hauptbahnhof der U9
23_3_ILFxx_V02_001_XX_DBN_001_02
Evakuierungssimulationen Bahnhofsgebäude U9
t = 342 s (alle Personen im sicheren Bereich)

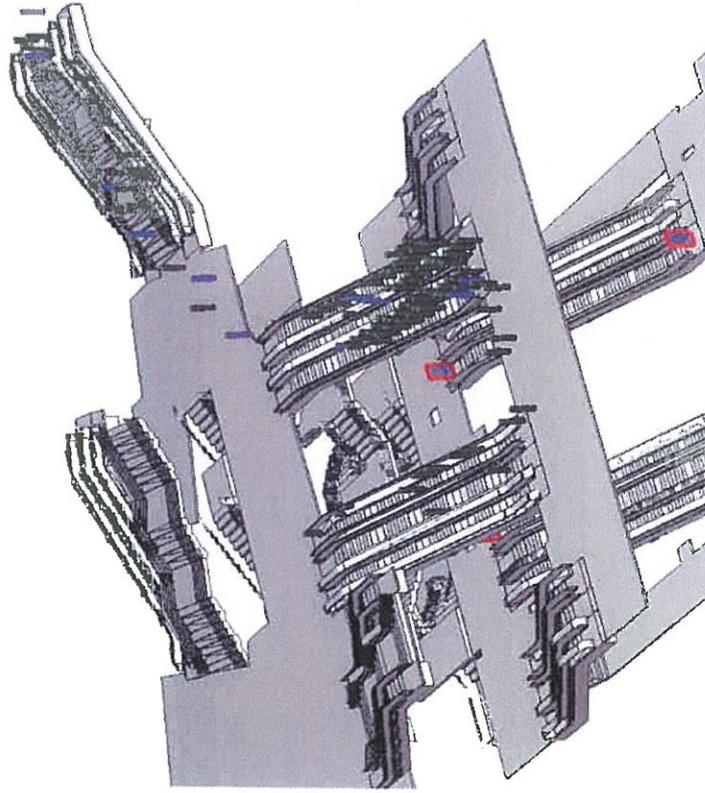
21.09.2020



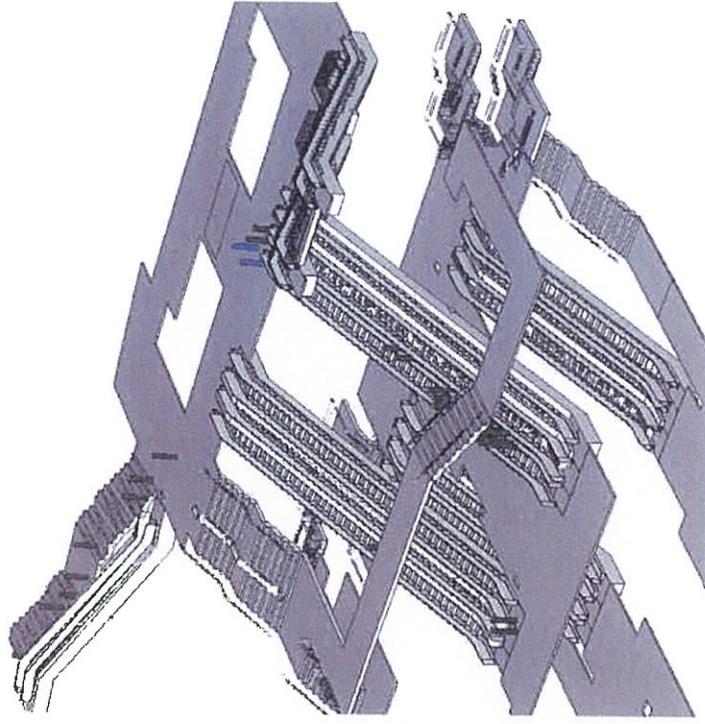
Haltepunkte Hauptbahnhof der U9
23_3_ILFxx_V02_001_XX_DBN_001_02
Evakuierungssimulationen Bahnhofsgebäude U9

21.09.2020

t = 698 s (95% aller Personen (3831) haben den Endgültig Sicheren Bereich erreicht)



Aufgangsgebäude Nord



Aufgangsgebäude Süd