

STUVAtec
Studiengesellschaft für
Tunnel und Verkehrs-
anlagen mbH

Mathias-Brüggen-Str. 41
50827 Köln

Köln, den 05.02.2019
2016179-HHAP-041

Anhang 2

U5 Ost – Hamburg

Haltestelle City Nord

Räumungsberechnung

Inhaltsverzeichnis		Seite
	Vorbemerkung	4
1	Aufgabenstellung	4
2	Objektbeschreibung	4
3	Grundlagen der Räumungsberechnung	5
4	Berechnung der Bemessungszeit	11
4.1	Allgemeines	11
4.2	Bemessungszeit über die Verteilerebene Süd	12
5	Zusammenfassende Bewertung	14
6	Verwendete Unterlagen	17

Vorbemerkung

Die TRStrab Brandschutz [1] unterscheidet folgende Begriffe, die für Räumungsberechnungen von Bedeutung sind:

(1) Selbstrettungszeit

Die Selbstrettungszeit ist die Zeit von Räumungsbeginn bis zum Ende der Selbstrettung.

(2) Bemessungszeit

Unter Bemessungszeit wird die Zeit zwischen Brandbeginn und Abschluss der Selbstrettung verstanden. Die Bemessungszeit setzt sich aus Restfahrzeit, Reaktionszeit und Selbstrettungszeit zusammen [1]. Ein Vergleich zwischen der Bemessungszeit und der Verrauchungszeit (Brandsimulation) gibt Auskunft, ob Fahrgäste bei einem Brandfall durch Brandgase gefährdet sind, oder ob sie sich rechtzeitig retten können. Fahrgäste werden durch Brandgase nicht gefährdet, wenn die Bemessungszeit kürzer als die Verrauchungszeit ist.

(3) Wirkungszeit

Mit Hilfe der Bemessungszeit kann die Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen ermittelt werden, die gemäß TRStrab Brandschutz [1] 10 % länger, mindestens jedoch Minute länger als die Bemessungszeit sein muss. Anders ausgedrückt darf die Haltestelle frühestens erst nach der ermittelten Bemessungszeit zuzüglich 10 % (mindestens jedoch 1 Minute) verrauchen.

1 Aufgabenstellung

Für die Haltestelle City Nord wird nachfolgend die Bemessungszeit (Kapitel 4) gemäß TRStrab Brandschutz [1] ermittelt.

2 Objektbeschreibung

Die Haltestelle City Nord der Linie U5 Ost ist eine Durchgangshaltestelle mit folgenden zwei Ebenen:

(1) Ebene -2

Auf der Ebene -2 befindet sich die in Nord-Süd-Richtung unterhalb der Straße Überseering gelegene Bahnsteigebene. Auf der Bahnsteigebene ist ein Mittelbahnsteig angeordnet, der eine Länge von ca. 120 m aufweist. Die Ebene -2 ist im Norden (Bild 2: Treppenanlage Nr. 2) und im Süden (Bild 2: Treppenanlage Nr. 1) über Treppenanlagen an die beiden Verteilerebenen Nord und Süd (Ebene -1) angebunden. Ferner führen etwa in Bahnsteigmitte zwei Aufzüge direkt an die Geländeoberkante (GOK) ins Freie (Bild 1, Tabelle 1).

(2) Ebene -1

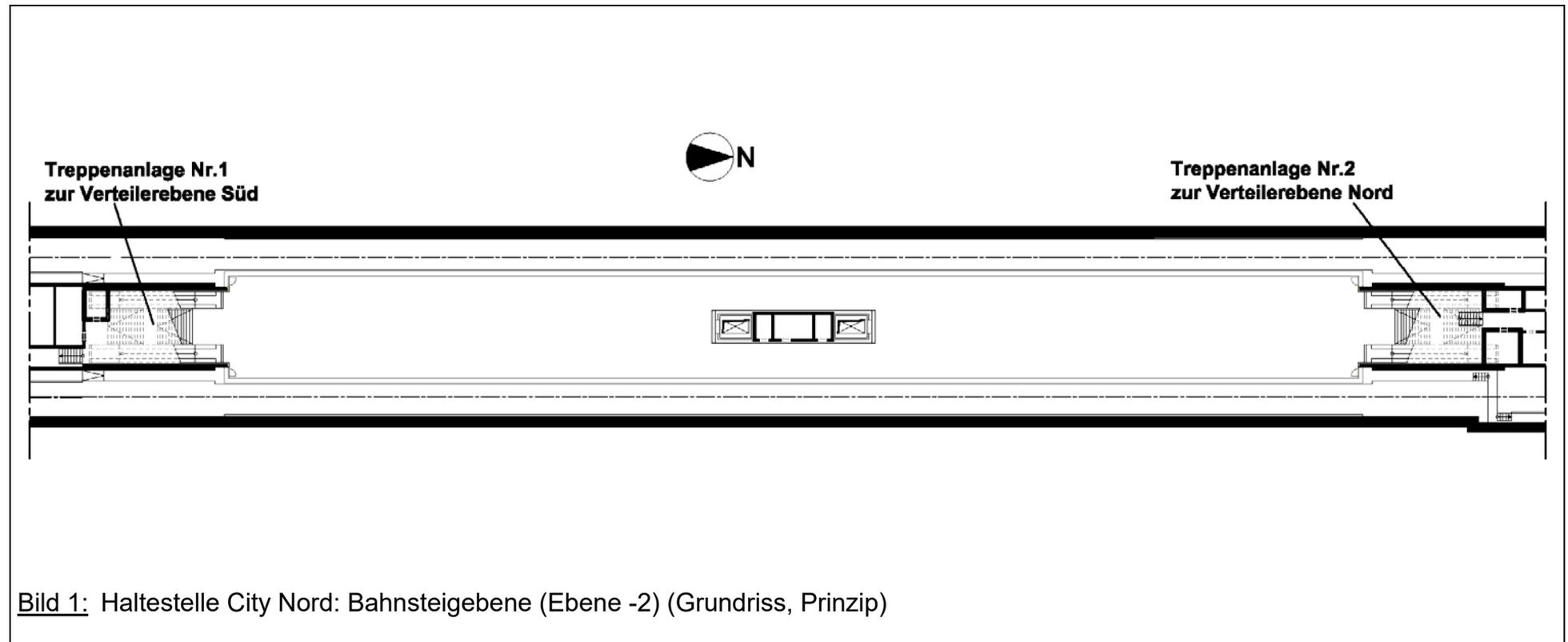
Von der Verteilerebene am nördlichen Ende der Haltestelle stehen zwei Treppenanlagen bis zur Geländeoberfläche in Richtung Norden zur Verfügung (Bild 2: Treppenanlagen Nr. 6 und Nr. 7). Von der südlichen Verteilerebene gelangen die Personen über zwei Treppenanlagen Richtung Süden (Bild 2: Treppenanlagen Nr. 3 und Nr. 4) ins Freie (Tabelle 1).

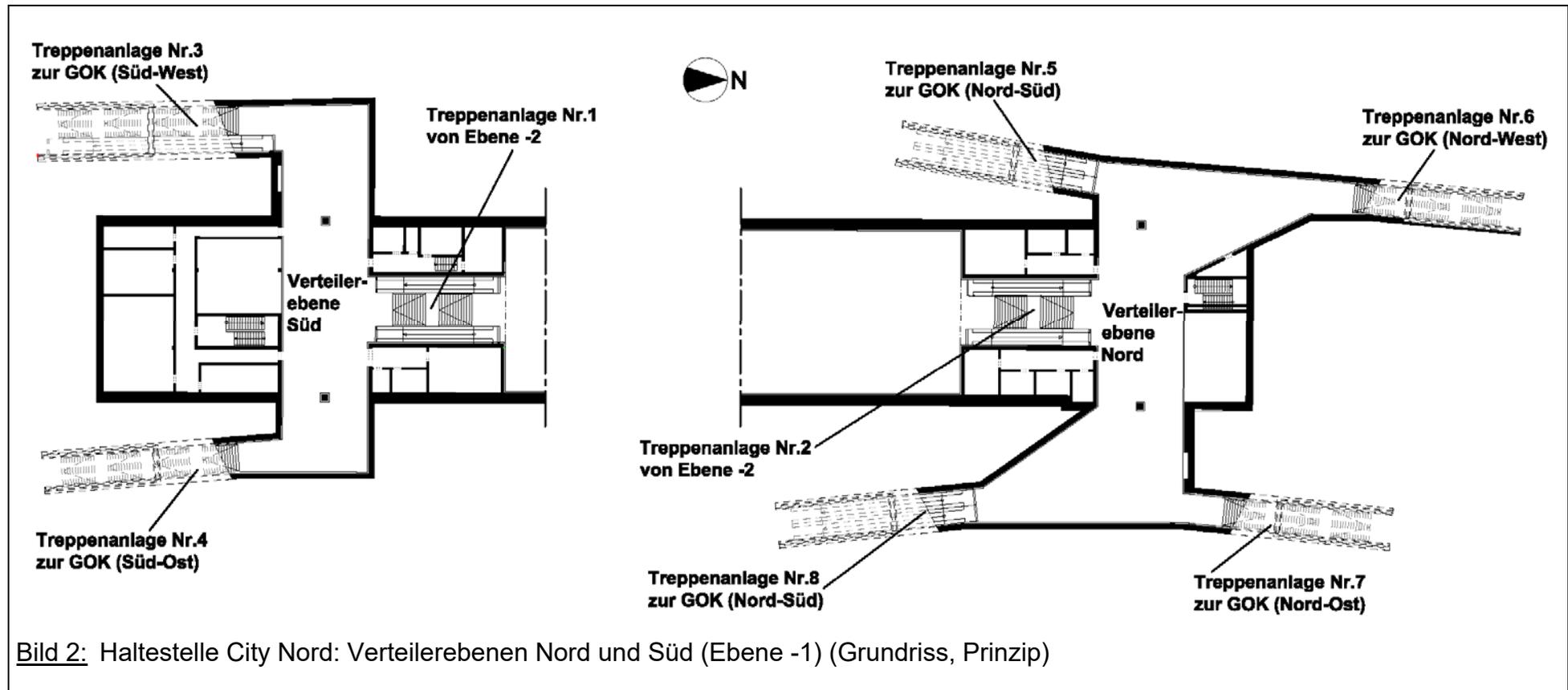
3 Grundlagen der Räumungsberechnung

Für die Räumungsberechnung werden folgende Grundlagen herangezogen:

(1) Maßgebende Personenzahl

Es wird gemäß TRStrab Brandschutz [1] angenommen, dass in der Haltestelle an beiden Bahnsteigkanten jeweils ein vollbesetzter U-Bahn-Zug (DT6-A) in Dreifachtraktion steht, der geräumt werden muss. Jeder Stadtbahnzug in Dreifachtraktion besteht aus drei Zugeinheiten, die jeweils über 64 Sitzplätze und 255 Stehplätze verfügen [4]. Ein U-Bahn-Zug mit drei Zugeinheiten befördert demnach $3 \times (64 + 255) = 957$ Personen.





Die für die Räumung zu berücksichtigenden Personenzahlen werden gemäß TRStrab Brandschutz [1] wie folgt ermittelt:

$$P_{\max} = n \times (P1 + P2 + P3)$$

mit

n = Zahl der Gleise am Bahnsteig

$P1$ = Zulässige Sitzplätze der längsten gleichzeitig am Bahnsteig haltenden Zügeinheiten

$P2$ = Zulässige Stehplätze der längsten gleichzeitig am Bahnsteig haltenden Zügeinheiten

$P3$ = 30 % aus der Summe $P1 + P2$ (wartende Personen)

mit $n = 2$ (Mittelbahnsteig)

$$P1 + P2 = 957 \text{ und}$$

$$P3 = 0,3 \times 957 = 287$$

erhält man

$$P_{\max} = 2 \times (957 + 278) = 2.488 \text{ Personen}$$

Für die gesamte Haltestelle ergibt sich die maßgebende Personenanzahl für die Räumung von zwei vollbesetzten U-Bahn-Zügen in Dreifachtraktion und den wartenden Personen zu insgesamt 2.488 Personen.

(2) Verfügbare Treppenanlagen

a) Treppenanlagen zur Verteilerebene Nord

Am nördlichen Bahnsteigende ist folgende Treppenanlage zur Verteilerebene Nord angeordnet (Bild 1: Treppenanlage Nr. 1):

- 1 notwendige (feste) Treppe mit einer Nutzbreite von ca. 3,6 m
- 2 Fahrtreppen mit je einer Nutzbreite von je ca. 1 m

b) Treppenanlagen zur Verteilerebene Süd

Am südlichen Bahnsteigende ist folgende Treppenanlage zur Verteilerebene Süd angeordnet (Bild 1: Treppenanlage Nr. 2):

- 1 notwendige (feste) Treppe mit einer Nutzbreite von ca. 3,6 m

- 2 Fahrtreppen mit je einer Nutzbreite von je ca. 1 m

Von der Verteilerebene im Süden führen insgesamt zwei Treppenanlagen ins Freie (Bild 2: Treppenanlagen Nr. 3 und Nr. 4):

a) westliche Treppenanlage in Richtung Süden

Die westliche in Richtung Süden ins Freie führende Treppenanlage Nr. 3 (Bild 2) besteht aus:

- 1 notwendige (feste) Treppe mit einer Nutzbreite von ca. 3 m
- 1 Fahrtreppe mit einer Nutzbreite von 1 m

b) östliche Treppenanlage in Richtung Süden

Die östliche in Richtung Süden ins Freie führende Treppenanlage Nr. 4 (Bild 2) besteht aus:

- 1 notwendige (feste) Treppe mit einer Nutzbreite von ca. 3 m

Von der Verteilerebene Nord führen insgesamt vier Treppenanlagen in Richtung Norden und Süden ins Freie (Bild 2: Treppenanlagen Nr. 5 bis Nr. 8):

a) westliche Treppenanlage Richtung Süden

Die in Richtung Süden ins Freie führende Treppenanlage Nr. 5 (Bild 2) besteht aus:

- 2 Fahrtreppen mit einer Nutzbreite von je ca. 1 m

b) westliche Treppenanlage Richtung Norden

Die westliche in Richtung Norden ins Freie führende Treppenanlage Nr. 6 (Bild 2) besteht aus:

- 1 notwendige (feste) Treppe mit einer Nutzbreite von ca. 3 m

c) östliche Treppenanlage Richtung Norden

Die östliche in Richtung Norden ins Freie führende Treppenanlage Nr. 7 (Bild 2) besteht aus:

- 1 notwendige (feste) Treppe mit einer Nutzbreite von ca. 3 m

d) östliche Treppenanlage Richtung Süden

Die östliche in Richtung Süden ins Freie führende Treppenanlage Nr. 8 (Bild 2) besteht aus:

2 Fahrtreppen mit einer Nutzbreite von je ca. 1 m

(3) Streckentunnel

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

(4) Vorlaufzeit

Für die Restfahrzeit (1,7 Minute [5]) von der Haltestelle Borgweg zur Haltestelle City Nord und die Alarmierungs- sowie Reaktionszeit (2 Minuten) der Fahrgäste wird gemäß den Vorgaben der TRStrab Brandschutz [1] eine Vorlaufzeit von 3,7 Minuten nach Brandbeginn angesetzt, bis die Flucht der Fahrgäste beginnt.

(5) Personenverteilung

Die Personen werden auf die Treppenanlagen gemäß den verfügbaren Personkapazitäten der Treppenanlagen verteilt (hydraulisches Prinzip).

Die Personen, die sich zu Räumungsbeginn auf den Verteilerebenen befinden, fliehen zeitgleich mit allen anderen Personen in der Haltestelle ins Freie und behindern hierdurch nicht die Flucht der Fahrgäste, die von der Bahnsteigebene kommen.

(6) Gehgeschwindigkeit nach NFPA 130 [3]

a) auf der Bahnsteigebene (Ebene -2): 0,63 m/s

b) auf der Verteilerebene (Ebene -1) und an der Geländeoberfläche: 1 m/s

c) Vertikalgeschwindigkeit der Personen beim Überwinden der Treppenanlagen in Aufwärtsrichtung: 0,24 m/s

(7) Den Räumungsberechnungen wird entsprechend dem Forschungsvorhaben Notfallszenarien [2] eine Gehspurbreite von 0,6 m zugrunde gelegt. Die Treppenbreiten werden über diese Gehspurbreite in die ganzzahlige Anzahl von Gehspuren umgerechnet. Restbreiten (< 0,6 m) werden bei der Aufteilung in

Gehspuren nicht in die Räumungsberechnungen mit einbezogen (Sicherheitsreserve). Dies gilt insbesondere für Fahrtreppen. Diese haben eine Nutzbreite von ca. 1 m. In den Räumungsberechnungen wird pro Fahrtreppe jedoch nur eine Gehspur von ca. 0,6 m angesetzt (Sicherheitsreserve).

- (8) Für eine aufwärts begangene notwendige (feste) Treppe wird eine Kapazität pro Spurbreite (0,6 m) von 33 Personen pro Minute angesetzt.
- (9) Es wird in der Räumungsberechnung davon ausgegangen, dass alle Fahrtreppen zur Zeit der Räumung ausgeschaltet sind. Dies gilt auch für Fahrtreppen, die vom Brandereignis wegführen (Sicherheitsreserve). Diese Fahrtreppen sollten jedoch in der Praxis so lange wie möglich in Betrieb bleiben, um z. B. älteren Menschen die Flucht zu erleichtern [2].
- (10) Stehende Fahrtreppen werden als Fluchtwege bei der Räumungsberechnung berücksichtigt.
- (11) Es wird eine Fahrtreppe vom Bahnsteig in die Verteilerebene als nicht begehbar angenommen (z. B. wegen Wartungsarbeiten).
- (12) Die Begehbarkeit der stehenden Fahrtreppe ist beschwerlicher, da hier z.B. die Treppenstufen höher sind als bei notwendigen (festen) Treppen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird die Personenkapazität einer stehenden Fahrtreppe gegenüber den notwendigen Treppenanlagen abweichend von der NFPA 130 [3] in Anlehnung an [2] auf etwa drei Viertel reduziert ($33 \times \frac{3}{4} \approx 25$).
- (13) Aufzüge sind im Brandfall grundsätzlich nicht benutzbar und werden daher bei der Räumungsberechnung nicht berücksichtigt.

4 Berechnung der Bemessungszeit

4.1 Allgemeines

Die Bemessungszeit setzt sich aus 3,7 Minuten Vorlaufzeit und der Selbstrettungszeit (Zeit, in der Personen eigenständig oder unter gegenseitiger Hilfestellung den Gefahrenbereich verlassen) zusammen. Die Selbstrettungszeit wird in Anlehnung an die NFPA 130 [3] für den ungünstigsten Weg ins Freie ermittelt.

Da auf der Bahnsteigebene eine hydraulische Personenverteilung in Ansatz gebracht wird, haben alle Personen den Mittelbahnsteig zeitgleich über die verfügbaren Treppenlagen verlassen. Über den Nordkopf der Haltestelle fliehen jedoch weniger Personen ins Freie (Tabelle 2: 1.205 Personen) als über den Südkopf (Tabelle 2: 1.283 Personen), da angenommen wird, dass am Nordkopf eine Fahrtreppe der Treppenanlage Nr. 2 (z. B. wegen Wartungsarbeiten) gesperrt ist (Tabelle 1). Da ferner in der Verteilerebene Süd den 1.283 Personen eine geringere Treppenkapazität (Tabelle 1: $190 + 165 = 355$) als am Nordkopf (Tabelle 1: $2 \times 165 + 2 \times 50 = 430$) zur Flucht zur Verfügung steht, ist zur Bestimmung der Selbstrettungszeit der Rettungsweg über die Verteilerebene Süd maßgebend.

Zur Bestimmung der Selbstrettungszeit müssen die Geh- und Wartezeiten berechnet werden. 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.

Die Selbstrettungszeit ergibt sich aus der Addition der Gehzeiten für die verschiedenen Rettungswegabschnitte T_i und den Wartezeiten W_i an den Treppenaufgängen. Die zu bestimmende Bemessungszeit BZ (entspricht der Räumungszeit) bestehend aus 3,7 Minuten Vorlaufzeit und der Selbstrettungszeit wird nachfolgend berechnet.

Es wird dabei unterschieden zwischen den Bemessungszeiten BZ1 und BZ2. Bei BZ1 haben alle Personen die Bahnsteigebene verlassen und befinden sich aufgrund der geplanten Rauchschutzmaßnahmen in einem temporär raucharmen Bereich. Bei BZ2 haben alle Personen das Freie erreicht.

4.2 Bemessungszeit über die Verteilerebene Süd

Die längste Bemessungszeit über den Südkopf der Haltestelle ergibt sich für diejenigen Personen, die von der Mitte des Mittelbahnsteigs über die Treppenanlage Nr. 1 zur Verteilerebene Süd (Ebene -1) fliehen und dann über die Treppenanlage Nr. 3 bzw. Nr. 4 ins Freie gelangen (Bilder 1 und 2).

Von dem betrachteten Mittelbahnsteig auf der Ebene -2 fliehen insgesamt 2.488 Personen (Kapitel 3, Absatz (1)). Diese 2.488 Personen verteilen sich nach dem hydraulischen Prinzip auf die verfügbaren Treppenanlagen. Es fliehen demnach

zur Verteilerebene Nord 1.205 Personen (Tabelle 1: Treppe Nr. 2) und zur Verteilerebene Süd 1.283 Personen (Tabelle 1: Treppe Nr. 1).

Die Schleusungszeiten der Treppenanlagen Nr. 1 und Nr. 3 des Fluchtwegs können wie folgt ermittelt werden (Tabelle 1):

(1) Schleusungszeit am Fuß der von Ebene -2 zur Verteilerebene Süd (Ebene -1) führenden Treppenanlage Nr. 1:

a) Personenanzahl vor der Treppenanlage Nr. 1: 1.283 Personen

b) Personenkapazität der von der Ebene -2 zur Verteilerebene Süd (Ebene -1) führenden Treppenanlage Nr. 1:

6 Spuren x 33 Personen pro Minute je Spur + 2 x 25 Personen pro Minute je Spur = 248 Personen pro Minute

c) Schleusungszeit $S_1 = 1.283 \text{ Personen} / 248 \text{ Personen pro Minute} = 5,2 \text{ Minuten}$

(2) Schleusungszeit am Fuß der von der Verteilerebene Süd (Ebene -1) ins Freie führenden Treppenanlagen Nr. 3 und Nr. 4 ist aufgrund der hydraulischen Personenverteilung in der Verteilerebene jeweils gleich. Nachfolgend wird exemplarisch die Schleusungszeit der Treppenanlage Nr. 3 berechnet:

a) Personenanzahl in der Verteilerebene Süd (Ebene -1) vor der Treppenanlage Nr. 3: 687 Personen

b) Personenkapazität der von der Verteilerebene Süd (Ebene -1) ins Freie führenden Treppenanlage Nr. 3:

5 Spuren x 33 Personen pro Minute je Spur + 1 Spur x 25 Personen pro Minute je Spur = 190 Personen pro Minute

c) Schleusungszeit $S_2 = 687 \text{ Personen} / 190 \text{ Personen pro Minute} = 3,6 \text{ Minuten}$

Mit den Schleusungszeiten S_1 und S_2 können die zugehörigen Wartezeiten W_1 und W_2 berechnet werden.

Nach etwa 9 Minuten haben alle Personen die Bahnsteigebene verlassen (BZ1). Die Bemessungszeit BZ2 über die Verteilerebene Süd bis ins Freie beträgt ca. 11 Minuten (Tabelle 2).

5 Zusammenfassende Bewertung

Unter Beachtung der getroffenen Festlegungen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass der Mittelbahnsteig ca. 9 Minuten nach Brandbeginn geräumt ist (BZ1). Ferner haben alle Personen ca. 11 Minuten nach Brandbeginn das Freie erreicht (BZ2) (Tabelle 2). Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Selbstrettungsphase spätestens 15 Minuten nach Brandbeginn beendet ist [2]. Da bereits alle Personen das Freie schon nach ca. 11 Minuten (BZ2) erreicht haben, ist die ermittelte Bemessungszeit (BZ2) nicht zu beanstanden.

Gemäß TRStrab Brandschutz [1] müssen Rauchschutzmaßnahmen 10 % länger, mindestens jedoch 1 Minute länger als die Bemessungszeit (entspricht der Verrau-
chungszeit) wirksam sein. Diese Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen muss daher mindestens 12 Minuten betragen.

Haltestellenbereich		Nr.	Treppenanlagen	Personenkapazität der Treppenanlagen [Personen/Minute]	Personenaufteilung auf die Treppenanlagen [Personen]	
Südkopf	Bahnsteigebene	1	1 feste Treppe, Nutzbreite 3,6 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$6 \times 33 + 2 \times 25 = 248$	1.283	
Nordkopf		2	1 feste Treppe, Nutzbreite 3,6 m 2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m (davon eine nicht nutzbar)	$6 \times 33 + 1 \times 25 = 233$	1.205	
Südkopf	Verteilerebene / Geländeoberfläche	Richtung Süden I	3	1 feste Treppe, Nutzbreite 3 m 1 Fahrtreppe, Nutzbreite 1 m	$5 \times 33 + 1 \times 25 = 190$	687
		Richtung Süden II	4	1 feste Treppe, Nutzbreite 3 m	$5 \times 33 = 165$	596
Nordkopf	Verteilerebene / Geländeoberfläche	Richtung Süden I	5	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$2 \times 25 = 50$	140
		Richtung Norden I	6	1 feste Treppe, Nutzbreite 3 m	$5 \times 33 = 165$	462
		Richtung Norden II	7	1 feste Treppe, Nutzbreite 3 m	$5 \times 33 = 165$	463
		Richtung Süden II	8	2 Fahrtreppen, Nutzbreite je 1 m	$2 \times 25 = 50$	140

Tabelle 1: Haltestelle City Nord: Treppenanlagen und deren Nutzung bei der Haltestellenräumung (2.488 Personen)

Zeitabschnitte der Räumung		Dauer [min]
Zeit bis Fluchtbeginn (bestehend aus Restfahrzeit bis zur Haltestelle City Nord und der Reaktionszeit der Fahrgäste)		3,7
Gehzeiten der Person, die den längsten Fluchtweg hat	T ₁ = Zeit zum Erreichen der Treppenaufgänge von der Bahnsteigebene zur Verteilerebene (ca. 60 m / 0,63 m/s)	1,6
	T ₂ = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschiedes (ca. 4,1 m / 0,24 m/s) zwischen Bahnsteig- und Verteilerebene Süd	0,3
	T ₃ = Zeit zum Erreichen der Treppenaufgänge von der Verteilerebene Süd zur Geländeoberfläche (ca. 20 m / 1 m/s)	0,4
	T ₄ = Zeit zum Überwinden des vertikalen Höhenunterschiedes zwischen Verteilerebene und Geländeoberfläche (ca. 7,3 m / 0,24 m/s)	0,5
	T ₅ = Zeit für Weg an der Geländeoberfläche (ca. 10 m / 1 m/s)	0,2
Wartezeit an den Treppenaufgängen	Wartezeit am Treppenanfang von der Bahnsteigebene zur Verteilerebene Süd: W ₁ = S ₁ - T ₁ = (5,2 – 1,6) min	3,6
	Wartezeit am Treppenaufgang von der Verteilerebene Süd zur Geländeoberfläche: W ₂ = S ₂ - S ₁ = (3,6 – 5,2) min	0
Bemessungszeit BZ1 (letzte Person verlässt den Bahnsteig) = 3,7 min + T₁ + W₁		ca. 9
Bemessungszeit BZ2 (bis ins Freie) = 3,7 min + T₁ + T₂ + T₃ + T₄ + T₅ + W₁ + W₂		ca. 11
Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen = BZ2 + 1 Minute		12

Tabelle 2: Haltestelle City Nord: Bemessungszeiten und Wirkungszeit für den Fluchtweg über die **Verteilerebene Süd**

6 Verwendete Unterlagen

- [1] Technische Regeln für Straßenbahnen, Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen – (TRStrab Brandschutz), Ausgabe 24. Juni 2016
- [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] NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems; Ausgabe 2014, National Fire Protection Association, Quincy, USA
- [4] U5 Ost – Hamburg: Empfehlung zur Festlegung der Personenzahl zur Ermittlung der Selbstrettungszeit, STUVAtec, 2016179-HHAP-008, 20. September 2016
- [5] U5 Ost – Hamburg: Angaben der IVE GmbH bezüglich der Fahrzeiten zwischen den Haltestellen, Stand 28. März 2018
- [6] U5 Ost – Hamburg: Planunterlagen von ZPP, Haltestelle CityNord, Stand 04. Dezember 2018