

TRAM Westtangente Projektteil UVR München

23. August 2022

Projekt-Nr. 2019009

Bericht-Nr. 2019009-SCBE-054

Auftrag der

SWM – Stadtwerke München GmbH

Emmy-Noether-Straße 2

80992 München

an die

STUVAtec

Studiengesellschaft für

Tunnel und Verkehrsanlagen mbH

Mathias-Brüggen-Straße 41

50827 Köln

Räumungsberechnungen
für verschiedene
Szenarien mit Trams
und Bussen

Inhalt

Inhalt	2
1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung.....	4
2 Objektbeschreibung und Fluchtweglängen	4
3 Fahrzeuge in der UVR	5
4 Grundlagen der Räumungsberechnung	7
5 Szenario Nr. 1: Kollision im nördlichen Streckenabschnitt der UVR.....	8
5.1 Beschreibung des Szenarios.....	8
5.2 Ermittlung der Bemessungszeit.....	9
6 Szenario Nr. 2: Kollision Haltestelle West ohne nachrückendes Fahrzeug	10
6.1 Beschreibung des Szenarios.....	10
6.2 Ermittlung der Bemessungszeit.....	11
7 Szenario Nr. 3: Brand eines einzelnen Fahrzeuges in Portalnähe.....	12
7.1 Beschreibung des Szenarios.....	12
7.2 Ermittlung der Bemessungszeit.....	12
8 Szenario Nr. 4: Brand eines einzelnen Fahrzeuges im Streckenabschnitt	12
8.1 Beschreibung des Szenarios.....	12
8.2 Ermittlung der Bemessungszeit.....	13
9 Szenario Nr. 5: Brand im Haltestellenbereich mit nachrückendem Fahrzeug.....	14
9.1 Beschreibung des Szenarios.....	14
9.2 Anzahl wartender Personen.....	16
9.2.1 Allgemeines.....	16
9.2.2 Wartende Personenanzahl nach TRStrab Brandschutz.....	16
9.2.3 Personenanzahl nach Prognose.....	16
9.2.4 Maßgebende wartende Personenanzahl.....	17
9.3 Maßgebende Personenanzahl	17

9.4	Annahme zum Räumungsablauf.....	17
9.4.1	Allgemeines.....	17
9.4.2	Flucht aus dem Bereich hoher Personendichte	17
9.4.3	Flucht über die Fahrbahn.....	18
9.5	Ermittlung der Bemessungs- und Wirkungszeit.....	18
9.5.1	Bemessungszeit.....	18
10	Maßnahmen zur Minderung des Schadensausmaßes von Verkehrsunfällen	19
11	Fazit	19
	Verwendete Unterlagen.....	21

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 4 von 22

1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Es sind bei dieser Betrachtung nur Szenarien relevant bei denen auch ein Brandereignis vorliegt, da bei solchen Szenarien aufgrund der eintretenden Verrauchung nur eine begrenzte Zeit zur Flucht ins Freie zur Verfügung steht. Ein Vergleich zwischen der Bemessungszeit (Räumungszeit) und der Verrauchungszeit gibt Auskunft, ob Fahrgäste bei einem Brandfall durch Brandgase gefährdet sind, oder ob sie sich rechtzeitig retten können. Personen sind nicht gefährdet, wenn die jeweilige Bemessungszeit kürzer als die Verrauchungszeit ist.

Es wurde zwischenzeitlich von Fahrzeugexperten festgestellt, dass die in den Brandsimulationen gewählten Busse auch die Fahrzeuge brandschutztechnisch repräsentieren, die in der UVR verkehren [1]. Ferner wurde mithilfe einer Risikoanalyse die Eintrittshäufigkeit von Kollisionen zwischen den im Mischverkehr (Bus und Tram) eingesetzten Fahrzeugtypen und die hieraus entstehende Möglichkeit einer Brandentstehung eingehend untersucht [2]. Es konnte festgestellt werden, dass im vorgesehenen Mischbetrieb das zu erwartende Brandrisiko infolge einer Fahrzeugkollision zwischen Bussen und Straßenbahnen als tolerabel bzw. vernachlässigbar zu bewerten ist [2]. Dennoch sind nachfolgend verschiedene Szenarien mit Kollisionen betrachtet worden (Tabelle 2).

Es wird bei sicherheitstechnischen Überlegungen allgemein davon ausgegangen, dass die Gleichzeitigkeit von zwei unabhängigen Ereignissen nicht betrachtet werden muss, da dies unverhältnismäßig ist. Deshalb wird nachfolgend davon ausgegangen, dass in der UVR jeweils nur ein einziges Fahrzeug brennt. Auch ein Brandübersprung auf ein anderes Fahrzeug wird nicht betrachtet [2] [3].

Solche Ereignisse werden als Unglücksfall eingestuft und dem Restrisiko zugeordnet [2] [3]. Hierzu gehört beispielsweise auch das Szenario mit einem Brandereignis bei einer Kollision im Bereich der Haltestelle West und einem nachrückenden Straßenbahnfahrzeug sowie mit einem vollständig blockierten Fluchtweg nach Süden.

Die Verrauchungszeit wird mithilfe von Brandsimulationen bestimmt. Nachfolgend werden für verschiedene mögliche Szenarien die Bemessungszeiten und Wirkungszeiten der Rauchschutzmaßnahmen nach TRStrab Brandschutz [4] ermittelt.

Bei der Räumungsberechnung des Szenario Nr. 5 ist für die wartenden Personen auf dem Westbahnsteig die Personenanzahl nicht nach TRStrab Brandschutz [4], sondern die größere Personenanzahl aufgrund von neuesten Prognosedaten [5] verwendet worden (Kapitel 9.2).

2 Objektbeschreibung und Fluchtweglängen

Die UVR ist ca. 198 m lang [6] und verläuft in Nord-Süd-Richtung. Die UVR verfügt nur im Osten über einen Fuß- und Radweg. Beide Wege verlaufen über die gesamte Länge der UVR. Der Radweg ist ca. 2,5 m und der Fußweg etwa 3,5 m breit [6]. Der Fußweg ist

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 5 von 22

tunnelwandseitig im Osten angeordnet. Westlich davon befindet sich ein Radweg. Fuß- und Radweg dienen im Ereignisfall als Fluchtweg. Westlich des Radweges befinden sich zwei Fahrbahnen (Breite 3,10 m bzw. 3,25 m), die im betrieblichen Endzustand der UVR von Trams und Bussen genutzt werden [6].

In der UVR befindet sich in Längsrichtung versetzt eine Haltestelle im Westen (Länge ca. 58 m, Breite ca. 6,17 m) und im Osten eine weitere Haltestelle (Länge ca. 48 m, Breite ca. 3,25 m) [6] [7]. Die beiden Haltestellen sind über das Zugangsbauwerk Ost von der oPva Laim (S-Bahn) und über den östlich gelegenen Gehweg vom Süd- und Nordportal erreichbar. Zur Haltestelle West gelangen Personen vom östlichen Gehweg über einen Übergang im Bereich des Zugangsbauwerks Ost. An die Haltestelle West schließt sich in Richtung Süden bzw. Richtung Norden ein Notgehweg mit einer Breite von ca. 1,00 m bzw. ca. 1,2 m bis zum Südportal bzw. Nordportal an [6]. Diese Notgehwegen dienen im Ereignisfall als Fluchtwege.

Bei der Ermittlung der Fluchtweglänge wird von Folgendem ausgegangen:

- (1) Länge der UVR: ca. 198 m
- (2) Strecke vom Südportal bis zum südlichen Ende der Haltestelle Ost: ca. 7 m
- (3) Länge der Haltestelle Ost: ca. 48 m
- (4) Abstand vom nördlichen Ende der Haltestelle Ost bis zum südlichen Ende der Haltestelle West: ca. 20 m
- (5) Länge der Haltestelle West: ca. 58 m
- (6) Abstand vom nördlichen Ende der Haltestelle West bis zum Nordportal: ca. 65 m

Damit ergeben sich folgende Fluchtweglängen:

- (1) Haltestelle West:
 - a) Vom nördlichen Haltestellenende bis zum Nordportal ca. 65 m und
 - b) vom südlichen Haltestellenende bis zum Südportal ca. 75 m
- (2) Haltestelle Ost
 - a) Vom nördlichen Haltestellenende bis zum Nordportal ca. 143 m und
 - b) vom südlichen Haltestellenende bis zum Südportal ca. 7 m,

3 Fahrzeuge in der UVR

In der UVR verkehren im Mischbetrieb Busse und Trams (betrieblicher Endzustand). Die UVR durchfahren verschiedene Trams und Busse. Maßgebend für die Ermittlung der Bemessungszeiten der untersuchten Szenarien sind folgende Fahrzeuge:

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 6 von 22

(1) Buszug

Das Zugfahrzeug ist ca. 12 m und der Anhänger etwa 11 m (Gesamtlänge ca. 23 m) lang. Das Zugfahrzeug besitzt etwa 30 Sitzplätze und 39 Stehplätze (insgesamt 69 Plätze) und der Anhänger 30 Sitzplätze und 34 Stehplätze (insgesamt 64 Plätze). Der Buszug kann damit insgesamt bei einer 100%-igen Belegung 133 Personen (Zugfahrzeug und Anhänger) befördern. Das Zugfahrzeug verfügt über 3 Doppeltüren und der Anhänger über 2 Doppeltüren [8]. Die Türbreite jeder Doppeltür wird zu ca. 1,20 m abgeschätzt.

(2) Straßenbahn

Das durchgängige, 5-teilige Straßenbahnfahrzeug vom Typ TZ5 (Siemens Avenio). Dieses Fahrzeug befindet sich zwar noch nicht im Fuhrpark der SWM, jedoch bestehen Kaufoptionen, so dass dieses Fahrzeug bei der Räumungsberechnung zugrunde zu legen ist. Bei diesem Fahrzeug handelt es sich um ein Niederflur-Gelenktriebwagen mit einer Länge von ca. 46 m. Das Fahrzeug besitzt je Wagenkasten 2 Türen (insgesamt 10 Türen). Jede Türbreite beträgt ca. 1,30 m [9]. Dieses Fahrzeug kann von den eingesetzten Trams in München die meisten Personen aufnehmen. Es kann bei einer 100%-igen Belegung 271 Personen (Sitz- und Stehplätze) [9] [10] befördern.

In allen Szenarien wird davon ausgegangen, dass pro Fahrtrichtung ein Fahrzeug nachrückt, wenn dies das Szenario gestattet.

Ferner wird nachfolgend angenommen, dass fahrfähige Fahrzeuge nicht rückwärts aus der Gefahrenzone fahren. Bei Bussen ist ein Rückwärtsfahren nicht sinnvoll, da Busse nicht an beiden Fahrzeugenden über je einen Fahrzeugführerstand verfügen. Busse müssten beim Rückwärtsfahren durch den Fahrer mithilfe der vorhandenen Spiegel nahezu blind zurückgesetzt werden. Dies ist unter den Randbedingungen bei einem Unfallereignis in der UVR (Alarm, Beleuchtung, Schaulustige) nicht empfehlenswert.

Bei Trams besteht jedoch prinzipiell die Möglichkeit rückwärts die UVR zu verlassen, da die Tram zwei Fahrzeugführerstände besitzt. Dem Fahrer ist hierdurch beim Rückwärtsfahren nicht die Sicht genommen. Dies darf aber nur in Absprache mit dem MVG Betriebszentrum und unter Beachtung der hierfür relevanten Dienstvorschriften erfolgen. Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass der Fahrer erst von einem Ende der Tram zum anderen gehen muss, um den hinteren Fahrzeugführerstand (Rangierfahrerstand) zu erreichen und in Betrieb zu nehmen. Hierdurch geht wertvolle Zeit für die Flucht verloren.

In den nachfolgend beschriebenen Szenarien werden die Bemessungszeiten daher ohne ein Rückwärtsfahren von Tram / Bus in der UVR ermittelt.

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

4 Grundlagen der Räumungsberechnung

Für die Räumungsberechnung werden folgende wichtige Annahmen getroffen:

- (1) Eine Flucht über die angrenzende Fahrbahn (z. B. zum Überholen von Personen) ist möglich.
- (2) Die Räumungsberechnung wird nach dem Verfahren der NFPA 130 [11] durchgeführt. Ergänzend wird hierzu im Szenario Nr. 5 im Bereich hoher Personendichte das Simulationsprogramm ASERI eingesetzt [12].
- (3) Die Gehgeschwindigkeit auf den Bahnsteigen und in engen Bereichen (z. B. zwischen dem Fahrzeug und der Tunnelwand) beträgt 0,63 m/s [11].
- (4) Die Gehgeschwindigkeit auf dem Rad- und Gehweg sowie auf der Fahrbahn und den Notgehwegen (außerhalb von Engstellen) wird nach NFPA 130 [11] zu 1,0 m/s angenommen.
- (5) Das Straßenbahnfahrzeug TZ5 besitzt insgesamt 10 Doppeltüren mit je einer Breite von ca. 1,3 m (Kapitel 3). Die Ausstiegszeit der 271 Personen aus einem dieser Straßenbahnfahrzeuge wird auf der Grundlage der Simulationsergebnisse mit ASERI [12] wie folgt in Ansatz gebracht:
 - a) Die Ausstiegszeit aus dem Straßenbahnfahrzeug auf den Bahnsteig beträgt etwa 1,2 Minute (Szenario Nr. 2; Kapitel 6).
 - b) Die Ausstiegszeit aus dem Straßenbahnfahrzeug zum östlich gelegenen Radweg (Breite 2,50 m) und Gehweg (Breite 3,50 m) wird mit Hilfe des Simulationsprogramms ASERI zu ca. 1,5 Minuten angesetzt [12] (Szenario Nr. 1; Kapitel 5). Es wird hierbei davon ausgegangen, dass das bisher geplante Geländer zwischen Fahrbahn und Radweg entfällt und somit der Ausstieg durch das Geländer nicht behindert wird. Die Ausstiegszeit auf den Rad- und Gehweg von 1,5 Minuten ist länger als die Ausstiegszeit zum Bahnsteig, da der Ausstieg auf den östlich gelegenen Rad- und Gehweg geringfügig beschwerlicher ist.
 - c) Die Ausstiegszeit aus dem Straßenbahnfahrzeug zum westlich gelegenen, schmalen Notgehweg (Breite 1,2 m) im Norden der UVR beträgt ca. 2 Minuten (Szenario Nr. 4, Kapitel 8), da der Ausstieg auf den schmalen Notgehweg länger dauert als auf den breiten Rad- und Gehweg.
- (6) Die Vorlaufzeit ist die Zeit zwischen Branddetektion und Start der Flucht der Personen. Sie enthält unter anderem die Reaktionszeit und beträgt im vorliegenden Anwendungsfall 3 Minuten (Tabelle 1).

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten) für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Ablauf des Beispiel-Szenarios		Zeitbedarf [min]	Summe nach Brandbeginn [min]
1	Der Fahrzeugführer bemerkt einen Brand durch z. B. einen technischen Defekt (Detektion).		0
2	Der Fahrzeugführer informiert die Leitstelle.	0,5	0,5
3	Die Leitstelle aktiviert alle sicherheitsrelevanten Maßnahmen (z. B. Sperrung der Tunneleinfahrten, SAA).	0,5	1,0
4	Nach einer Fahrgastanweisung und Reaktionszeit von insgesamt 2 Minuten ¹⁾ beginnen die Personen aus dem betroffenen Fahrzeug mit der Flucht.	2	3

¹⁾ Entspricht der Vorgabe der TRStrab Brandschutz [4]

Tabelle 1: Erläuterung der Vorlaufzeit von 3 Minuten an einem Beispiel

- (7) Die Personen, die sich zu Räumungsbeginn außerhalb der Bahnsteige aber in der UVR (z. B. Geh- und Radweg) befinden, fliehen bei einer Alarmierung zeitgleich mit allen anderen Personen aus den Haltestellen ins Freie und behindern hierdurch nicht die Flucht der Fahrgäste, die von den Haltestellen kommen.

Die jeweiligen Fluchtweglängen sind Kapitel 2 zu entnehmen.

5 Szenario Nr. 1: Kollision im nördlichen Streckenabschnitt der UVR

5.1 Beschreibung des Szenarios

Das Szenario Nr. 1 „Kollision im nördlichen Streckenabschnitt“ lässt sich wie folgt beschreiben (Bild 1):

- (1) Ein von Norden auf dem Westgleis kommender Buszug und ein auf dem Ostgleis fahrendes Straßenbahnfahrzeug (Typ TZ5) (Kapitel 3) stoßen nördlich der Haltestelle West zusammen.
- (2) Eins dieser Fahrzeuge beginnt zu brennen.

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 9 von 22

- (3) Der Unfallort (nördliche Fahrzeugspitze des Straßenbahnfahrzeuges bzw. südliche des Buszuges) liegt bei km 7+009.
- (4) Einer der beiden betroffenen Fahrzeugführer informiert die Leitstelle.
- (5) Die Leitstelle aktiviert alle sicherheitsrelevanten Maßnahmen (z. B. Sperrung der Tunneleinfahrten, Alarmierung durch die SAA).
- (6) Ein weiteres Fahrzeug fährt noch von Süden auf dem östlichen Gleis in die UVR.
- (7) Das von Süden auf dem östlichen Gleis in die UVR eingefahrene Fahrzeug wird durch die Leitstelle gestoppt.
- (8) Ein weiteres Fahrzeug auf dem Westgleis, das sich weiter südlich noch im Bereich der Haltestelle West befindet, erhält die Anweisung von der Leitstelle die UVR umgehend zu verlassen, um die in diesem Fahrzeug befindlichen Personen in Sicherheit zu bringen. Personen dieses Fahrzeuges steigen nicht in der UVR aus.
- (9) Alle Personen in der UVR werden durch die SAA aufgefordert den Tunnel umgehend zu verlassen (z. B. Personen in den Fahrzeugen, wartende Personen auf den Bahnsteigen, Radfahrer und Fußgänger).
- (10) Flucht der Personen aus der UVR
 - a) Es wird auf der sicheren Seite liegend angenommen, dass durch die Kollision nur die Businsassen über das Nordportal ins Freie fliehen können.
 - b) Daher können alle Personen aus dem havarierten Straßenbahnfahrzeug den Fluchtweg über das Nordportal nicht benutzen, sondern müssen über das Südportal ins Freie fliehen. Die Fluchtweglänge vom Unfallort (km 7+009) bis zum Südportal (km 6+844) beträgt etwa 165 m.
 - c) Die Personen von den beiden Bahnsteigen und aus dem nachgefahrenen Fahrzeug auf dem östlichen Gleis fliehen über das Südportal ins Freie.

Das oben beschriebene Szenario deckt auch das Szenario ab, wenn anstelle des Straßenbahnfahrzeuges ein Buszug mit einem weiteren Buszug zusammenstößt, da dann statt 404 (271 + 133) nur 266 (133 + 133) Fahrzeuginsassen evakuiert werden müssen.

5.2 Ermittlung der Bemessungszeit

In diesem Szenario ist für die Ermittlung der Bemessungszeit nur die Flucht aus dem Straßenbahnfahrzeug zu berücksichtigen, da diese Personen den weiteren Fluchtweg zum Südportal benutzen müssen. Nachfolgend wird die Bemessungszeit der Personen ermittelt, die das havarierte Straßenbahnfahrzeug verlassen:

Die Vorlaufzeit beträgt: 3 Minuten (Tabelle 1)

Folgende Ausstiegszeit und Gehzeiten müssen berücksichtigt werden:

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 10 von 22

(1) Ausstiegszeit aus dem Straßenbahnfahrzeug

Die Ausstiegszeit aus dem Straßenbahnfahrzeug zum östlich gelegenen Radweg (Breite 2,50 m) und Gehweg (Breite 3,50 m) über die gleichmäßig genutzten 10 Fahrzeugtüren mit je einer Breite von etwa 1,30 m wird mit Hilfe des Simulationsprogramms ASERI zu ca. 1,5 Minuten angesetzt [12]. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass das bisher geplante Geländer zwischen Fahrbahn und Radweg entfällt und somit der Ausstieg durch das Geländer nicht behindert wird (Kapitel 4).

(2) Die Gehzeit zum Nordportal für die Businsassen wird bei einer vergleichsweise kurzen Fluchtweglänge von nur ca. 33 m nicht weiter betrachtet, da die Gehzeit der Personen aus dem Straßenbahnfahrzeug (Unfallort: km 7+009) zum Südportal (km 6+844) mit einer Fluchtweglänge von ca. 165 m maßgebend ist (Kapitel 2).

Die Gehzeit zum Südportal T2 setzt sich aus der Gehzeit T2a neben dem Fahrzeug (Fahrzeuflänge ca. 46 m) und T2b nach dem Passieren des Fahrzeugs zusammen. Die Gehgeschwindigkeit auf dem Rad- und Gehweg neben dem Fahrzeug wird zu 0,63 m/s angesetzt, da der Fluchtweg vergleichsweise breit ist (Gesamtbreite ca. 6 m). Ferner enthält die Ausstiegszeit bereits einen angemessenen Sicherheitszuschlag.

Die Gehzeiten T2a und T2b betragen:

$$T2a = (46 \text{ m} / 0,63 \text{ m/s} / 60 \text{ s/min}) \approx 1,2 \text{ Minuten}$$

$$T2b = ((165 - 46) / 1,0 \text{ m/s} / 60 \text{ s/min}) \approx 2,0 \text{ Minuten}$$

(3) Bemessungszeit

Die Bemessungszeit setzt sich aus der Vorlaufzeit (Tabelle 1: 3 Minuten), der Ausstiegszeit (A = 1,5 Minuten) und der Gehzeit zusammen. Die Bemessungszeit BZ für das Szenario Nr. 1 beträgt:

$$BZ = 3 \text{ min} + 1,5 \text{ min} + 1,2 \text{ min} + 2 \text{ min} = 7,7 \approx 8 \text{ Minuten}$$

6 Szenario Nr. 2: Kollision Haltestelle West ohne nachrückendes Fahrzeug

6.1 Beschreibung des Szenarios

Das Szenario Nr. 2 „Kollision an der Haltestelle West ohne nachrückendes Straßenbahnfahrzeug“ kann wie folgt beschrieben werden (Bild 1):

- (1) Ein von Süden kommender Buszug und ein auf dem Westgleis an der Haltestelle West stehendes Straßenbahnfahrzeug (Typ TZ5) (Kapitel 3) stoßen am südlichen

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 11 von 22

Ende der Haltestelle West bei km 6+919 zusammen. Das auf dem Westgleis stehende Straßenbahnfahrzeug brennt. Einer der beiden betroffenen Fahrzeugführer informiert die Leitstelle.

- (2) Die Leitstelle aktiviert alle sicherheitsrelevanten Maßnahmen (z. B. Sperrung der Tunnelleinfahrten, Alarmierung durch die SAA).
- (3) Durch geeignete Maßnahmen wird in diesem Szenario das Nachrücken von Fahrzeugen sowohl auf dem West- als auch auf dem Ostgleis verhindert.
- (4) Alle Personen in der UVR werden durch die SAA aufgefordert den Tunnel umgehend zu verlassen (z. B. Personen in den Fahrzeugen, wartende Personen auf den Bahnsteigen, Radfahrer und Fußgänger).
- (5) Flucht der Personen aus der UVR
 - a) Die Personen aus dem Straßenbahnfahrzeug und die wartenden Personen auf dem Bahnsteig West können aufgrund der Kollision nicht über das Südportal ins Freie fliehen. Diese Personen können den Bahnsteig West über das nördliche nicht vom Straßenbahnfahrzeug versperrte Bahnsteigende (Länge ca. 12 m) **ohne Staubbildung** verlassen. Anschließend können sie über den Notgehweg und über die Fahrbahn zum Nordportal fliehen (Zufahrten in die UVR sind gesperrt).
 - b) Die Buszuginsassen und die wartenden Personen auf dem Bahnsteig Ost fliehen über das Südportal ins Freie.

Das oben beschriebene Szenario deckt auch aufgrund der geringeren Personenanzahl auch das Szenario ab, wenn ein Zusammenstoß zwischen zwei Buszügen betrachtet wird und die Fahrzeuginsassen evakuiert werden müssen.

6.2 Ermittlung der Bemessungszeit

In diesem Szenario ist für die Ermittlung der Bemessungszeit die Flucht aus dem havarierten Straßenbahnfahrzeug und dem Bahnsteig West maßgebend, da diese Personen den weiteren Fluchtweg zum Nordportal benutzen müssen. Die Personen können den Bahnsteig West über das nördliche nicht vom Straßenbahnfahrzeug versperrte Bahnsteigende (Länge ca. 12 m) ohne Staubbildung über den Notgehweg und über die Fahrbahn zum Nordportal verlassen. Nachfolgend wird die Bemessungszeit der Personen ermittelt, die das havarierte Straßenbahnfahrzeug verlassen.

Die Vorlaufzeit beträgt: 3 Minuten (Tabelle 1)

Folgende Ausstiegszeit und Gehzeiten müssen berücksichtigt werden:

- (1) Die Ausstiegszeit aus dem Straßenbahnfahrzeug beträgt etwa 1,2 Minute (Kapitel 4).

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 12 von 22

- (2) Gehzeit der Person, die den längsten Fluchtweg hat. Dieser Fluchtweg führt vom südlichen Ende des Bahnsteigs West und den Notgehweg sowie die Fahrbahn (Zufahrten in die UVR sind gesperrt) zum Nordportal. Die Gehzeit zum Nordportal setzt sich aus der Gehzeit T2a auf dem Bahnsteig (Länge ca. 58 m) und T2b nach dem Verlassen des Bahnsteigs West bis zum Nordportal (Länge ca. 65 m) zusammen. Sie beträgt:

$$T2a = 58 / 1,0 \text{ m/s} / 60 \text{ s/min} \approx 1 \text{ Minuten}$$

$$T2b = (123 - 58) / 1,0 \text{ m/s} / 60 \text{ s/min} \approx 1,1 \text{ Minuten}$$

- (3) Bemessungszeit

Die Bemessungszeit setzt sich aus der Vorlaufzeit (Tabelle 1: 3 Minuten), der Ausstiegszeit A = 1,2 Minuten) und den Gehzeiten zusammen. Die Bemessungszeit BZ für das Szenario Nr. 2 beträgt:

$$BZ = 3 \text{ min} + 1,2 \text{ min} + 1,0 + 1,1 \text{ min} = 6,3 \text{ Minuten} \approx 7 \text{ Minuten}$$

7 Szenario Nr. 3: Brand eines einzelnen Fahrzeuges in Portalnähe

7.1 Beschreibung des Szenarios

Der Fahrzeugführer bemerkt einen Brand in Portalnähe und kann das brennende Fahrzeug ins Freie fahren.

7.2 Ermittlung der Bemessungszeit

Dieses Szenario ist für die Verrauchung der UVR nicht relevant, da das brennende Fahrzeug im Freien geräumt wird.

8 Szenario Nr. 4: Brand eines einzelnen Fahrzeuges im Streckenabschnitt

8.1 Beschreibung des Szenarios

Das Szenario Nr. 4 „Brand eines einzelnen Fahrzeuges im nördlichen Streckenabschnitt“ kann wie folgt beschrieben werden (Bild 1):

- (1) Der Fahrzeugführer eines aus Norden kommenden Straßenbahnfahrzeuges bemerkt einen Brand durch z. B. einen technischen Defekt auf dem westlichen Gleis zwischen dem nördlichen Ende der Haltestelle West (km 6+977) und dem Tunnelportal Nord (km 7 + 042).

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 13 von 22

- (2) Der Brandort in Fahrzeugmitte wird bei km 7+009 angenommen.
- (3) Der Fahrzeugführer des brennenden Straßenbahnfahrzeuges informiert die Leitstelle und fordert die Fahrzeuginsassen auf, die Straßenbahn zu verlassen.
- (4) Die Leitstelle aktiviert alle sicherheitsrelevanten Maßnahmen (z. B. Sperrung der Tunnelleinfahrten, Alarmierung durch die SAA).
- (5) Ein weiteres Fahrzeug ist noch auf dem östlichen Gleis von Süden in die UVR gefahren.
- (6) Ein weiteres auf dem westlichen Gleis befindliche Fahrzeug im Bereich der Haltestelle West verlässt auf Anweisung der Leitstelle die UVR über das Südportal, um die in diesem Fahrzeug befindlichen Personen in Sicherheit zu bringen. Personen dieses Fahrzeuges steigen nicht in der UVR aus.
- (7) Das Fahrzeug auf dem östlichen Gleis im Süden wird gestoppt.
- (8) Alle Personen in der UVR werden durch die SAA aufgefordert den Tunnel umgehend zu verlassen (z. B. Personen in den Fahrzeugen, wartende Personen auf den Bahnsteigen, Radfahrer und Fußgänger).
- (9) Flucht der Personen aus der UVR
 - a) Die Personen auf dem Bahnsteig West und Ost fliehen über das Südportal ins Freie.
 - b) Die Fahrgäste des brennenden Fahrzeuges auf dem westlichen Gleis können über beide Portale ins Freie fliehen. Die Fluchtweglänge vom mittig im Fahrzeug angenommen Brandort (km 7+009) bis zum Nordportal (km 7+042) bzw. Südportal (km 6+844) beträgt etwa 33 m bzw. 165 m.

Das oben beschriebene Szenario deckt auch aufgrund der geringeren Personenanzahl das Szenario ab, wenn anstelle des Straßenbahnfahrzeuges (271 Personen) bei einem Buszug (133 Personen) durch einen technischen Defekt ein Brand entsteht und die Fahrzeuginsassen evakuiert werden müssen.

8.2 Ermittlung der Bemessungszeit

In diesem Szenario ist für die Ermittlung der Bemessungszeiten die Flucht der Personen aus dem brennenden Straßenbahnfahrzeug über das Südportal maßgebend, da diese Personen den weiteren Fluchtweg ins Freie benutzen.

Die Vorlaufzeit beträgt: 3 Minuten (Tabelle 1)

Folgende Ausstiegszeit und Gehzeiten müssen berücksichtigt werden:

- (1) In diesem Szenario steigen die Personen im Streckentunnel zum schmalen im Westen gelegenen Notgehweg (Breite ca. 1,20 m) aus und nicht im Bahnsteigbereich. Die Ausstiegszeit im Streckentunnel wird gegenüber der Ausstiegszeit im

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten) für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 14 von 22

Bahnsteigbereich (Kapitel 4) aus Sicherheitsgründen erhöht und zu ca. 2 Minuten angesetzt.

- (2) Die Gehzeit zum Nordportal wird bei einer vergleichsweise kurzen Fluchtweglänge von nur ca. 33 m nicht weiter betrachtet, da die Gehzeit zum Südportal mit einer Fluchtweglänge von ca. 165 m maßgebend ist (Kapitel 2).

Daher muss die Gehzeit zum Südportal von derjenigen Person bestimmt werden, die den längsten Fluchtweg hat. Dies ist die Gehzeit T2 von der Mitte des brennenden Straßenbahnfahrzeuges bis zum südlichen Portal (Fluchtweglänge ca. 165 m). Die Zeit T2 setzt sich aus der Gehzeit T2a neben dem Fahrzeug (halbe Fahrzeuglänge ca. 23 m) und T2b nach dem Passieren des Fahrzeugs ($L = 165 - 23 = 142$ m) zusammen. Sie beträgt:

$$T2a = (23 \text{ m} / 0,63 \text{ m/s} / 60 \text{ s/min}) \approx 0,6 \text{ Minuten}$$

$$T2b = ((165 - 23)) / (1,0 \text{ m/s} / 60 \text{ s/min}) \approx 2,4 \text{ Minuten}$$

- (3) Bemessungszeit

Die Bemessungszeit setzt sich aus der Vorlaufzeit (Tabelle 1: 3 Minuten), der Ausstiegszeit A (2,0 Minuten) und den Gehzeiten zusammen. Die Bemessungszeit BZ für das Szenario Nr. 5 beträgt:

$$BZ = 3 \text{ min} + A + T2a + T2b = 3 \text{ min} + 2,0 + 0,6 \text{ min} + 2,4 \text{ min} = 8 \text{ Minuten}$$

9 Szenario Nr. 5: Brand im Haltestellenbereich mit nachrückendem Fahrzeug

9.1 Beschreibung des Szenarios

Das Szenario Nr. 5 „Brand eines einzelnen Fahrzeuges im Bereich der Haltestelle West mit nachrückendem Fahrzeug“ kann wie folgt beschrieben werden (Bild 1):

- (1) Der Fahrzeugführer eines aus Norden kommenden Straßenbahnfahrzeuges vom Typ TZ5 (Kapitel 3) bemerkt nach einem Halt an der Haltestelle West einen Brand z. B. durch einen technischen Defekt. Der Brandort liegt in der Mitte des Straßenbahnfahrzeuges bei km 6+942.
- (2) Der Fahrzeugführer des brennenden Straßenbahnfahrzeuges informiert die Leitstelle und fordert die Fahrzeuginsassen auf, die Straßenbahn zu verlassen.
- (3) Die Leitstelle aktiviert alle sicherheitsrelevanten Maßnahmen (z. B. Sperrung der Tunneleinfahrten, Alarmierung durch die SAA).
- (4) Ein weiteres Fahrzeug befindet sich auf dem Ostgleis zwischen der Haltestelle West und dem Nordportal.

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 15 von 22

- (5) Dieses Fahrzeug, das sich auf dem Ostgleis zwischen der Haltestelle West und dem Nordportal befindet, erhält die Anweisung von der Leitstelle die UVR umgehend zu verlassen, um die in diesem Fahrzeug befindlichen Personen in Sicherheit zu bringen. Personen dieses Fahrzeuges steigen nicht in der UVR aus.
- (6) Ein nachfolgendes Straßenbahnfahrzeug, das auf dem westlichen Gleis in Richtung Süden fährt, kommt hinter dem ersten Straßenbahnfahrzeug an der Haltestelle West zum Stehen.
- (7) Ein weiteres Fahrzeug fährt auf dem östlichen Gleis in Richtung Norden in die UVR und wird von der Leitstelle gestoppt.
- (8) Das auf dem Westgleis nachgefahrene Straßenbahnfahrzeug Typ TZ5 (Kapitel 3) ist ca. 46 m lang. Bei einer Länge der Haltestelle West von ca. 58 m, steht – bei einem Halteabstand zwischen zwei Fahrzeugen von ca. 1 m – dem nachgefahrenen Fahrzeug nur eine Länge der Bahnsteigkante von $L = 58 - 46 - 1 = 11$ m zur Verfügung. Die restliche Fahrzeuglänge ragt ca. 35 m in den Streckentunnel.
- (9) Es wird nachfolgend davon ausgegangen, dass die Fahrzeuginsassen des nachgefahrenen Fahrzeuges die beiden vorderen (südlichen) Türen zum Ausstieg auf den Bahnsteig und die restlichen 8 Türen zur Flucht auf den schmalen Notgehweg (Breite ca. 1,20 m) nutzen. Der Ausstieg aus dem Fahrzeug auf den Notgehweg wird erschwert, da sich dort bereits auf dem Notgehweg Personen befinden, wie z. B. Aussteiger aus anderen Türen des nachgefahrenen Fahrzeuges oder Personen vom Bahnsteig West, die nach Norden fliehen. Mithilfe von Handrechnungen nach NFPA 130 [11] können Räumungszeiten für solche Situationen, in denen sich Personenströme gegenseitig auf ihrer Flucht behindern, nur mit einer Reihe von Annahmen ermittelt werden. Das Handrechenergebnis ist daher aufgrund der Annahmen anfechtbar. Der Auftraggeber entschloss sich deshalb, die Räumungszeit in diesem Szenario für die Bereiche mit hoher Personendichte (Bahnsteig West und Notgehweg bis zum nördlichen Ende des nachgefahrenen Fahrzeugs) mit dem computergestützten Simulationsprogramm ASERI ermitteln zu lassen [12]. Vorteilhaft ist hierbei, dass sehr unterschiedliche Annahmen (z. B. hinsichtlich der Fluchtrichtung von Personengruppen) für verschiedene Simulationsläufe getroffen werden können. Durch diese Spektrumsbreite der Ausgangsdaten stehen belastbare Angaben über die zu erwartende Räumungszeit zur Verfügung.
- (10) Alle Personen in der UVR werden durch die SAA aufgefordert den Tunnel umgehend zu verlassen (z. B. Personen in den Fahrzeugen, wartende Personen auf den Bahnsteigen, Radfahrer und Fußgänger).
- (11) Flucht der Personen aus der UVR
 - a) Alle Personen vom Bahnsteig West und von den beiden Straßenbahnfahrzeugen auf dem Westgleis können über beide Portale ins Freie fliehen.
 - b) Die Personen auf dem Bahnsteig Ost und aus dem nachgefahrenen Straßenbahnfahrzeug auf dem Ostgleis fliehen über das Südportal ins Freie.

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Das gewählte Szenario an der Haltestelle West mit einem nachfahrenden Tramfahrzeug deckt auch das Szenario mit einem nachfahrenden Buszug ab [12].

9.2 Anzahl wartender Personen

9.2.1 Allgemeines

Nachfolgend wird geprüft, ob die Anzahl der wartenden Personen nach TRStrab Brandschutz [4] (Kapitel 9.2.2) oder aufgrund der Prognosedaten [5] (Kapitel 9.2.3) maßgebend ist.

9.2.2 Wartende Personenanzahl nach TRStrab Brandschutz

Die Personenanzahl in den beiden Straßenbahnfahrzeugen und auf dem Bahnsteig West (wartende Personen) muss gemäß TRStrab Brandschutz [4] wie folgt ermittelt werden:

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

n = Zahl der Gleise am Bahnsteig ($n = 1$ für Seitenbahnsteige)

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

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

Für die wartenden Personen auf dem Bahnsteig gilt nach TRStrab Brandschutz[4]:

$$P3 = 30 \% \text{ aus der Summe } P1 + P2$$

Damit ergibt sich die Anzahl der wartenden Personen für zwei Straßenbahnfahrzeuge (Typ TZ5) (Kapitel 3) zu:

(1) Sitz- und Stehplätze für 2 Fahrzeuge: $P1 + P2 = 2 \times 271 = 542$ Personen

(2) Auf dem Bahnsteig wartende Personen: $0,3 \times 542 = 163$ Personen

Nach TRStrab Brandschutz [4] beträgt die Anzahl der wartenden Personen für zwei Straßenbahnfahrzeuge (Typ TZ5): 163 Personen

9.2.3 Personenanzahl nach Prognose

Auf dem Westbahnsteig beträgt die Anzahl der wartenden Personen für das brennende Straßenbahnfahrzeug (1 Fahrzeug) aufgrund der Prognosedaten [5] 183 Personen. Für das nachrückende Fahrzeug empfiehlt INTRAPLAN eine deutlich geringere Anzahl an wartenden Personen, also nicht weitere 183 Personen anzusetzen [13]. In Absprache

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 17 von 22

mit dem Auftraggeber werden dennoch auch für das nachrückende Fahrzeug 183 Personen in Ansatz gebracht, obwohl dies auf der sehr sicheren Seite liegt [14].

Für die wartenden Personen auf dem Westbahnsteig ergeben sich damit für 2 Fahrzeuge $2 \times 183 = 366$ Personen.

9.2.4 Maßgebende wartende Personenanzahl

Für die Räumungsberechnungen des Szenario Nr. 5 mit 2 Fahrzeuge werden aufgrund der Prognose [5] und eines vergleichsweise großen Sicherheitszuschlags [13] [14] (Kapitel 9.2.3) 366 wartende Personen angesetzt, da diese Personenanzahl deutlich größer ist als die Anzahl der wartenden Personen von 163 nach TRStrab Brandschutz [4].

9.3 Maßgebende Personenanzahl

Für die Räumungsberechnung des Szenarios Nr. 5 beträgt die maßgebende Personenanzahl für zwei Straßenbahnfahrzeuge Typ TZ5 (100%-ige Belegung):

- (1) Sitz- und Stehplätze für 2 Fahrzeuge: $2 \times 271 = 542$ Personen [9] [10]
- (2) Auf dem Bahnsteig West wartende Personen aufgrund der Prognosedaten [5] und einem Sicherheitszuschlag [13] [14] für 2 Fahrzeuge:
 $\text{ca. } 2 \times 183 = 366$ Personen
- (3) Summe $542 + 366 = 908$ Personen

Insgesamt müssen beim Szenario Nr. 5 in der Räumungsberechnung 908 Personen berücksichtigt werden.

9.4 Annahme zum Räumungsablauf

9.4.1 Allgemeines

Im betrachteten Szenario können die Personen aus den beiden Straßenbahnfahrzeugen und vom Bahnsteig West über das Nord- und Südportal ins Freie fliehen (Kapitel 9.1). Da der Bahnsteig West ca. 6,17 m breit ist, kann davon ausgegangen, dass in den ersten Brandminuten das brennende Fahrzeug noch in Richtung Süden passiert werden kann. Die Anzahl der wartenden Personen auf dem Bahnsteig West ($2 \times 183 = 366$) und die Fahrzeuginnsassen ($2 \times 271 = 542$) werden in ASERI in Gruppen mit unterschiedlichen Fluchtrichtungen aufgeteilt, die nach Norden und nach Süden fliehen. Durch ASERI wird die jeweilige Zeit bis zum Verlassen des Simulationsraums (Bereich hoher Personendichte) in verschiedenen Simulationsläufe ermittelt [12].

9.4.2 Flucht aus dem Bereich hoher Personendichte

Mit dem computergestützten Simulationsprogramm ASERI wird für die Bereiche mit hoher Personendichte (Simulationsraum = Bahnsteig West und Notweg bis zum

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 18 von 22

nördlichen Ende des nachgefahrenen Fahrzeug) die Räumungszeit ermittelt [12]. Beispielsweise haben die Personen im dokumentierten Beispiel den genannten Simulationsraum über den im Süden gelegenen Quergang nach ca. 2,5 Minuten bzw. nach Norden über den Notgehweg etwa 4 Minuten nach Simulationsstart verlassen [12]. Alle insgesamt 908 Personen befinden sich damit spätestens 4 Minuten nach Simulationsstart auf der Fahrbahn der UVR und können diese ungehindert zur weiteren Flucht ins Freie über das Süd- bzw. Nordportal nutzen [12].

9.4.3 Flucht über die Fahrbahn

Nach dem Verlassen des Bereiches mit hoher Personendichte (Bahnsteig West und Notgehweg bis zum nördlichen Ende des nachgefahrenen Fahrzeugs) müssen die Personen noch über die Fahrbahn zum Tunnelportal ins Freie fliehen.

Die Fluchtzeit über die Fahrbahn beträgt:

(1) Zum Südportal

Der Fluchtweg vom südlichen Ende des Übergangs (km 6+904,6) bis zum Südportal (km 6+844) beträgt etwa 61 m und die zugehörige Gehzeit ca. $61 \text{ m} / 1,0 \text{ m/s} \approx 1 \text{ Minute}$.

(2) Zum Nordportal

Der Fluchtweg vom nördlichen Ende des nachgefahrenen Fahrzeuges (nördliches Ende Haltestelle West: km 6+977,2; plus 35 m langer Fahrzeugabschnitt im Streckentunnel = nördliches Ende des nachgefahrenen Fahrzeuges km 7+012,2) bis zum Nordportal (km 7+042) beträgt etwa 30 m und die zugehörige Gehzeit etwa $30 / 1,0 \text{ m/s} = 0,5 \text{ Minuten}$.

9.5 Ermittlung der Bemessungs- und Wirkungszeit

9.5.1 Bemessungszeit

Die Bemessungszeit BZ (Kapitel 7.1) setzt sich nach TRStrab Brandschutz [4] aus der Vorlauf- und Selbstrettungszeit zusammen. Im vorliegenden Szenario gilt:

- (1) Vorlaufzeit: 3 Minuten (Kapitel 4),
- (2) Zeit zum Verlassen des Bereiches mit hoher Personendichte (Bahnsteig West und Notgehweg bis zum nördlichen Ende des nachgefahrenen Fahrzeugs): ca. 4 Minuten (nach Norden) bzw. ca. 2,5 Minuten (nach Süden) [12] und
- (3) Gehzeit über die Fahrbahn zum Nordportal ca. 0,5 Minuten bzw. zum Südportal ca. 1,0 Minuten.

Die Bemessungszeit BZ_N nach **Norden** beträgt damit:

$$BZ_N = 3 \text{ min} + 4 \text{ min} + 0,5 \text{ min} = 7,5 \text{ Minuten}$$

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 19 von 22

Die Bemessungszeit BZ_S nach **Süden** beträgt damit:

$$BZ_S = 3 \text{ min} + 2,5 \text{ min} + 1,0 \text{ min} = 6,5 \text{ Minuten}$$

Die Bemessungszeit nach Norden ist länger als die nach Süden. Die Bemessungszeit nach Norden $BZ_N = 7,5 \text{ Minuten} \approx 8 \text{ Minuten}$ ist damit für die Bestimmung der Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen maßgebend.

10 Maßnahmen zur Minderung des Schadensausmaßes von Verkehrsunfällen

In den Szenarien Nr. 1 (Kapitel 5) und Nr. 2 (Kapitel 6) werden Kollisionen von Fahrzeugen mit einem gleichzeitigen Brandereignis betrachtet.

Mithilfe einer Risikoanalyse wurden die Eintrittshäufigkeit von Kollisionen zwischen den im Mischverkehr (Bus und Tram) geplanten Fahrzeugtypen und die hieraus entstehende Möglichkeit einer Brandentstehung eingehend untersucht [2]. Es konnte festgestellt werden, dass im vorgesehenen Mischbetrieb das zu erwartende Brandrisiko infolge einer Fahrzeugkollision zwischen Bussen und Straßenbahnen als tolerabel bzw. vernachlässigbar zu bewerten ist [2]. Deshalb sind risikomindernde Maßnahmen wie zum Beispiel Radabweiser/Leitplanken, Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h oder die Limitierung der gleichzeitig in der UVR befindlichen Fahrzeuge (Zufahrtskontrolle) nicht erforderlich.

Darüber hinaus besitzen die für die UVR vorgesehenen Busse der swm als Standardausstattung bereits seit 2013 eine Motorraumlöschanlage [15]. Diese Löschanlage der Busse erhöht die Sicherheit gegen eine Brandentstehung im Motorraum.

11 Fazit

Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen kann für die Bemessungs- und Wirkungszeiten der untersuchten Szenarien Folgendes festgestellt werden (Tabelle 2):

- (1) Die Bemessungszeiten liegen zwischen 7 und 8 Minuten
- (2) Gemäß TRStrab Brandschutz [4] müssen Rauchschutzmaßnahmen 10 % länger, mindestens jedoch 1 Minute länger als die Bemessungszeit BZ wirksam sein. Diese Wirkungszeit der Rauchschutzmaßnahmen muss für die betrachteten Szenarien im ungünstigsten Fall daher mindestens $8 + 1 = 9$ Minuten betragen. Dies bedeutet, dass die Fluchtwege der UVR frühestens erst 9 Minuten nach Brandbeginn verlaufen dürfen (Tabelle 2).

Von den Fahrzeugexperten werden Schutzmaßnahmen zur Minderung des Schadensausmaßes bei Unfällen (Frontalzusammenstoß) für nicht erforderlich gehalten (Kapitel 10).

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten) für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Nr.	Szenarien	Bemessungszeit (Räumungszeit) [min]	Wirkungszeit der Rauchschutz- maßnahmen [min]
1	Kollision im nördlichen Streckenabschnitt	8	9
2	Kollision an der Haltestelle West ohne nachrückende Fahrzeuge	7	8
3	Fahrzeugbrand in Portalnähe	Nicht relevant, da Fahrzeug ins Freie gefahren wird	
4	Fahrzeugbrand im nördlichen Streckenabschnitt der UVR	8	9
5	Brand eines Fahrzeuges im Haltestellenbereich West mit nach fahrendem Fahrzeug	8	9

Tabelle 2: Übersicht verschiedener Szenarien mit einem Brandereignis und zugehörigen Bemessungs- und Wirkungszeiten (Bild 1)

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 21 von 22

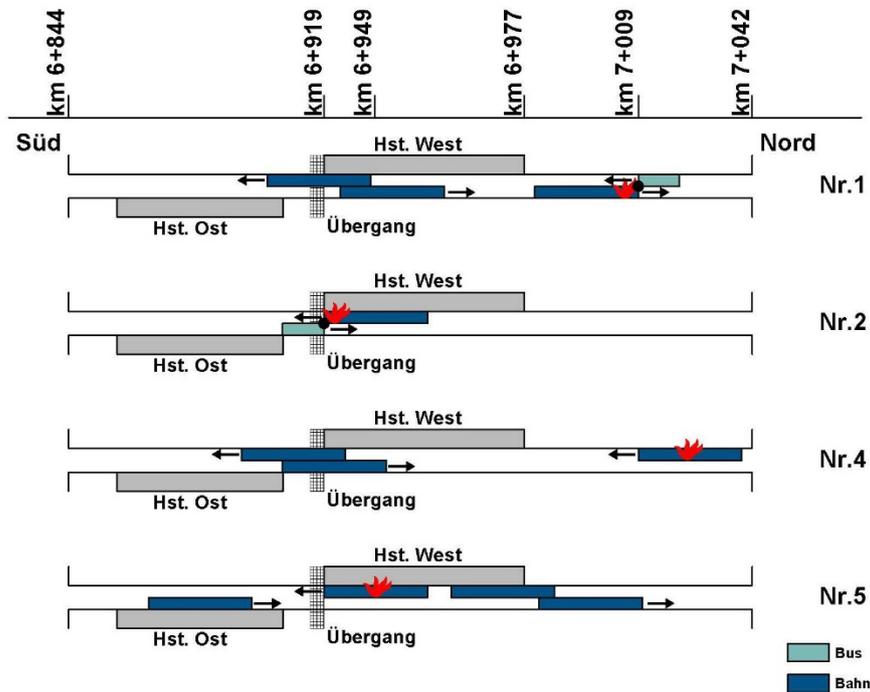


Bild 1: Untersuchte Szenarien (Nr. 1 und Nr. 2 sowie Nr. 4 und Nr. 5)

Verwendete Unterlagen

- [1] E-Mail von Herrn Pfützner, swm vom 13.12.2021, 18:06 h über die Brandleistung des Busses als geeignete Bemessungsgrundlage
- [2] Heyn J. / Neumann L.: Umweltverbundröhre München-Laim, Risikoanalyse zum Mischverkehr Tram/Bus; Berichts-Nr.: SM95353T, Version 1.0, TÜV SÜD, Stand 08.08.2020
- [3] Entwurf des Brandschutzkonzept, Stufe 2, STUVAttec Berichts-Nr. 2019009-SCBE-039-BSK-Stufe 2 vom 14.01.2022
- [4] Technische Regeln für Straßenbahnen, Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) - Technische Regeln Brandschutz - (TRStrab Brandschutz), Ausgabe 24. Juni 2014
- [5] INTRAPLAN Consult GmbH, Tram Westtangente – UVR Laim, Abgleich Bemessungszahlen für Brandschutzkonzept, 10.12.2019
- [6] Bauwerksbeschreibungen
VE 10 Hauptbaumaßnahmen West oberirdisch EÜ Wotanstraße Umweltverbundröhre (UVR) mit Nord- und Südportal, Bau -km 101,3 +47, Stand Mai 2018

TRAM Westtangente

Projektteil UVR München – Ermittlung der Bemessungszeiten (Räumungszeiten)
für verschiedene Szenarien mit Trams und Bussen

Seite 22 von 22

Teilentwurfsheft 11, Umweltverbundröhre (UVR), Lageplan, Straßenplanung, Stand 14.12.2018.

- [7] S-Bahn-Stammstrecke München, 4. Planänderung zum Planfeststellungsbeschluss PFA 1 (Umweltverbundröhre, Verlängerung der Bushaltestellen sowie Verbreiterung der westlichen Bushaltestelle Richtung Laimer Platz), Erläuterungsbericht, Planfeststellungsabschnitt 1, Stand 28.02.2019
- [8] Buszug Flyer, Herausgeber Münchner Verkehrsgesellschaft mbH (MVG), Stand März 2016
- [9] E-Mail von Herrn Pfützner, swm an die STUVAtec vom 27.05.2019: Angaben zum durchgängigen, 5-teiligen Straßenbahnfahrzeug TZ5
- [10] E-Mail von Herrn Pfützner, swm an die STUVAtec vom 14.01.2020: Avenio 5-Teiler
- [11] NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems; Ausgabe 2017, National Fire Protection Association, Quincy, USA
- [12] TRAM Westtangente, Projektteil UVR, München: Räumungssimulation mit ASERI für den Bahnsteig West mit einem nachgefahrenen Straßenbahnfahrzeug; STUVAtec Doku: 2019009-RHAP-006 vom 09. März 2020
- [13] E-Mail von Herrn Böttcher, intraplan vom 14. Januar 2020 an die swm: Wartende Personen für nachrückendes Fahrzeug
- [14] E-Mail von Herrn Pfützner, swm an die STUVAtec vom 4. Februar 2020: Wartende Personen für nachrückendes Fahrzeug
- [15] E-Mail von Herrn Pfützner, swm an die STUVAtec vom 17. Januar 2022 zur Motorraumlöschanlage der Busse