

TRAM Westtangente Projektteil UVR München

23. August 2022

Projekt-Nr. 2019009

Bericht-Nr. 2019009-SCBE-058

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

Risikoanalyse zum Mischverkehr Tram/Bus



Umweltverbundröhre München-Laim

Risikoanalyse zum Mischverkehr Tram/Bus

Berichts-Nr.: SM95353T, Version 1.0

Berichts-Datum: 08.08.2020,
Umfang: 31 Seiten

Auftraggeber:

Stadtwerke München GmbH
Herr Wolfgang Pfützner
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München

Auftragsdatum: 24.03.2020
Auftragsnummer: 717518327

Sachverständiger:

Dr. Jürgen Heyn
Dr. Lutz Neumann

Im Auftrag der unabhängigen
Inspektionsstelle:

TÜV SÜD Rail GmbH
Barthstr. 16
80339 München

Diese Analyse darf nur in vollständigem Wortlaut wiedergegeben werden. Die Verwendung zu Werbezwecken bedarf der schriftlichen Genehmigung. Es enthält das Ergebnis einer einmaligen Untersuchung an dem zur Prüfung vorgelegten Erzeugnis und stellt kein allgemein gültiges Urteil über Eigenschaften aus der laufenden Fertigung dar.

Inhalt	Seite
1 Auftraggeber	3
2 Anlass für die Analyse	3
2.1 Auftrag	3
2.2 Zweck der Analyse	3
2.3 Betrachtungsumfang und Abgrenzung	3
2.4 Managementsystem zum Zeitpunkt der Analyse	4
2.5 Abkürzungsverzeichnis	4
3 Sachverhalt	5
3.1 Informationsquellen	5
3.2 Beschreibung Infrastruktur, Fahrzeuge und Betrieb	7
3.3 Risikobetrachtung im Rahmen des Brandschutzkonzeptes UVR	9
4 Untersuchungen	11
4.1 Prüfgrundlagen	11
4.2 Durchführung der Risikobewertung	11
4.2.1 Methodik der Risikoanalyse und -bewertung	11
4.2.2 Randbedingungen / Annahmen zur Durchführung der Risikoanalyse	12
4.2.3 Grundsätze der Risikoakzeptanz	13
4.2.4 Analyse empirischer Unfallereignisse	14
4.2.5 Szenarioanalyse zu Gefährdungen, Unfällen und Bränden	15
4.2.6 Folgen- und Risikobewertung der Kollisionsereignisse	21
5 Bewertungsergebnisse	23
5.1 Analyseergebnis zum Eintrittsereignis „Fahrzeugbrand“ in der UVR	23
5.2 Funktionale Maßnahmenempfehlungen zur Risikominderung	24
6 Zusammenfassung	25
7 Anhang	27

1 Auftraggeber

Stadtwerke München GmbH
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München

2 Anlass für die Analyse

2.1 Auftrag

Die Analyse wurde am 24.03.2020 von der Stadtwerke München GmbH bei der TÜV SÜD Rail GmbH in Auftrag gegeben.

Der damit befasste Gutachter und die einbezogenen Sachverständigen sind Mitarbeiter bzw. Partner der Firma TÜV SÜD Rail GmbH und weisungsfrei in Bezug auf die Erstellung.

2.2 Zweck der Analyse

Ziel der Untersuchung ist es, in der ersten Phase eine Bewertung des Unfallrisikos im Mischverkehr von Linienbussen und Straßenbahnen bei Fahrzeugkollisionen mit nachfolgendem Fahrzeugbrand in der Umweltverbundröhre Laim vorzunehmen. Dazu werden systematisch ermittelte Einzelszenarien in einer Risikoanalyse untersucht und die Wirksamkeit von projektspezifischen Risikokontrollmaßnahmen auf funktionaler Ebene bewertet.

2.3 Betrachtungsumfang und Abgrenzung

In den nachfolgend erörterten Phasen soll auf der Grundlage von Analysen, ingenieurtechnischen Bewertungen und soweit erforderlich mittels Simulationen zur Brandentwicklung die „Systemsicherheit“ des Mischbetriebes in der UVR einschließlich Infrastruktur und Notfallbetrieb bewertet werden.

In der Risikoanalyse, **Phase 1** wird

- die Eintrittshäufigkeit von Kollisionen zwischen den im geplanten Mischverkehr von Straßenbahnen und Bussen mit den vorhandenen bzw. geplanten Fahrzeugtypen und in relevanten Tunnelabschnitten und
- die kollisionsbedingte Brandentstehung an bzw. in den Fahrzeugen

untersucht und bewertet.

Brände und andere Schadensereignisse aus der Tunnelinfrastruktur sowie weitere Sicherheitsrisiken, die sich aus dem Fahrzeugbetrieb ergeben (z.B. Unfälle mit Beteiligung von Radfahrern und Fußgängern), sind nicht Gegenstand dieser Bewertung.

In der weiterführenden **Phase 2** werden in einem separaten Teilbericht die mit dieser Analyse verbundenen Ergebnisse, hier ausgerichtet auf die Bewertung des Auftretens von kollisionsbedingten Entstehungsbränden, in Bezug auf die sich daraus ergebende Brandentwicklung im Fahrzeug mit Wirkung in den Tunnelbereich und die Selbst- und Fremdrerettung untersucht.

2.4 Managementsystem zum Zeitpunkt der Analyse

Die Inspektion wurde unter Anwendung des gültigen Qualitätsmanagementsystems [M1] der nach DIN EN ISO/IEC 17020:2012 [M2] akkreditierten Inspektionsstelle durchgeführt.

Nr.	Bezeichnung	Titel
[M1]	QMS	Qualitätsmanagementsystem der TÜV SÜD Rail GmbH
[M2]	D-IS-11190-01-00	Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17020:2012 akkreditierte Inspektionsstelle Typ A. Die Akkreditierung gilt nur für den in der Urkundenanlage D-IS-11190-01-00 aufgeführten Akkreditierungsumfang.

2.5 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Definition
ALARP	As Low As Reasonable Practicable
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
DF Strab	Dienstanweisung für den Fahrdienst mit Straßenbahnen
DF Bus	Dienstanweisung für den Fahrdienst mit Omnibussen
ED	Elektrodynamische Bremse
EH	Elektrohydraulische Bremse
FAS	Fahrerassistenzsystem
MG	Magnetschienenbremse
NBA	Notbremsassistent
QMS	Qualitätsmanagementsystem
STVZO	Straßenverkehrs-Zulassungsordnung
SWM	Stadtwerke München
UVR	Umweltverbundröhre
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen

3 Sachverhalt

3.1 Informationsquellen

Durch den Auftraggeber wurden Zeichnungen, Berichte und technische Dokumente zum Projekt UVR Laim übergeben. Diese wurden eingesehen und, sofern diese als relevant für die Aufgabenstellung bewertet wurden, in das Dokumentenverzeichnis zu diesem Bericht eingetragen.

Zur Analyse spezieller Fragestellungen wurden weitere Informationen aus öffentlich zugänglichen Quellen beschafft, die ebenfalls dokumentiert wurden:

Ref.-Nr.	Titel, Ersteller, Referenzen
[1]	Landeshauptstadt München, Baureferat, Teilentwurfsheft 011- Umweltverbundröhre (UVR), Lageplan Straßenplanung (UVR), Rev. „e“, 14.12.2018
[2]	TRAM WESTTANGENTE, PROJEKTTEIL UVR Systemdefinition Stadtwerke München GmbH, Berichts-Nr. Z100/00.00.002 SWM, 13.09.2019
[3]	Tram Westtangente, Projektteil UVR Risiko- und Gefährdungsanalyse Stadtwerke München GmbH, Berichts-Nr. Z100/00.00.004 SWM, 12.09.2019
[4]	Brandsimulationsbericht. Projekt: Umweltverbundröhre, München Laim Untersuchung zur Rauchableitung aus dem Tunneluftraum. Dokumentation der Randbedingungen und Ergebnisse der durchgeführten CFD Brandsimulationsberechnungen Vorgang: 1850-006-G-0028 MI.doc Kersken + Kirchner GmbH, Stand: 07.10.2019
[5]	STUVATEC-Bericht: TRAM Westtangente Projektteil UVR München, Unterlage 9.1, Brandschutzkonzept, Stufe 1 Bericht-Nr. 2019009-SCBE-020, 10.02.2020
[6]	Erhöhung der Sicherheit von Reisebus-Insassen Beschluss vom 06. November 2018 auf der Basis der Empfehlung des Vorstandsausschusses Fahrzeugtechnik Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. - 2018 https://www.dvr.de/dvr/beschluesse/2018-erhoehung-der-sicherheit-von-reisebus-insassen.html
[7]	Analyse und Risikobetrachtung von Brandereignissen in schienengebundenen ÖPNV-Tunnelanlagen. Forschungsbericht FE 70.0788/2009/ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung STUVAtec GmbH, Köln und Erst Basler + Partner AG, Zollikon (CH), 26.04.2010
[8]	Bung, Basler, PTV: Heft B66, Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln. BASt, Bergisch Gladbach 2009
[9]	DESTATIS Unfälle von Bussen im Straßenverkehr 2018 Statistisches Bundesamt, 20. Dezember 2019



Rail

Ref.-Nr.	Titel, Ersteller, Referenzen
[10]	Donau-Nordarm-Tunnelquerung Sicherheitsbewertung für die Lösung aus der Machbarkeitsstudie vom Juni 2009 Stufe 2 – Risikobeurteilung und Kostenprüfung Gutachten im Auftrag der Stadt Regensburg, Bericht April 2010 BUNG Ingenieure AG, Heidelberg
[11]	Busunfälle Untersuchung zur Insassensicherheit und aktiven Sicherheit von Kraftomnibussen auf Basis des Schadensgeschehens der Deutschen Versicherer Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Forschungsbericht FS 05, 02/2012
[12]	Försth, M. et.al.: Bus Fire Safety. SP Technical Research Institute of Sweden SP Report 2008:41
[13]	Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation Burg, H; Moser, A. (Hrsg.), Vieweg und Teubner, 2. Ausgabe, 2009
[14]	Hofmann-Böllinghaus, A. u.a.: Brand in einem Busdepot – eine bisher nicht beachtete Gefahr? www.schadenprisma.de , Nr. 3/2014, S. 3-11
[15]	Leitfaden für Rettungskräfte, Mercedes-Benz Omnibusse, Stand 2019 Mercedes-Benz EvoBus GmbH, Stuttgart
[16]	Rettungsleitfaden Bus. MAN Truck & Bus AG, München, Version 1.0, 07.2012 RTL_12_07_BUS_DEU www.mantruckandbus.com
[17]	EBUSCO 2.2HV 100% ELEKTRISCHER Niederflur Stadtbus Allgemeine Baubeschreibung EBUSCO Hersteller-Datenblatt
[18]	Rettungskarte EBUSCO 2.1 12 Meter NF-Bus 3-Türen EBUSCO Hersteller-
[19]	Egelhaaf, M. u.a.: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Fahrzeugtechnik Heft F 51, 2004
[20]	Ereignisberichte Kollisions- und Brandereignisse Bus und Tram
[20-1]	München: MVG-Bus fährt an Haltestelle in anderen Bus 13. März 2016 an der Haltestelle am Harras in München-Sendling https://www.stadtmagazin-muenchen24.de/muenchen-zwei-mvg-busse-16834
[20-2]	Dresden: Linienbus in Dresden geht während der Fahrt in Flammen auf 04.04.2020 https://www.mdr.de/sachsen/dresden/dresden-radebeul/bus-geht-in-flammen-auf-100.html
[20-3]	Das Geheimnis der brennenden Stadtbusse (veröff. 19.05.2018) https://www.welt.de/wirtschaft/article176508832/Busbraende-Warum-Citaros-von-Mercedes-in-Rom-brennen.html

Ref.-Nr.	Titel, Ersteller, Referenzen
[20-4]	Rheinbahn: Abgasfilter eines Busses brennt 19.06.2019 https://www.lintorfer.eu/rheinbahn-abgasfilter-eines-busses-brennt/
[20-5]	Verkehrschao nach StraBenbahnunfall in Nurnberg 24.07.2019 https://www.br.de/nachrichten/bayern/strassenbahn-kracht-in-linienbus,RX7b0kb
[21]	ERADIS - European Railway Agency Database of Interoperability and Safety Abfrage Mai 2020, https://eradis.era.europa.eu/

3.2 Beschreibung Infrastruktur, Fahrzeuge und Betrieb

Die UVR ist in ihrer baulichen und verkehrlichen Planung im Dokument „Systemdefinition“ der SWM [2] beschrieben worden.

Im Folgenden werden die für die Risikoanalyse relevanten baulichen und fahrzeugbezogenen Informationen zusammengestellt.

Abbildung 3-1 stellt den Lageplan der UVR (Ausschnitt aus der Bauplanungsunterlage [1]) dar. Relevante Parameter sind:

- Länge UVR ca. 200 m
- Haltestelle Ostseite, ca. 8...56 m vom Südportal
- Haltestelle Westseite, ca. 75...134 m vom Südportal
- Nordteil Tunnel, ca. 64 m Länge

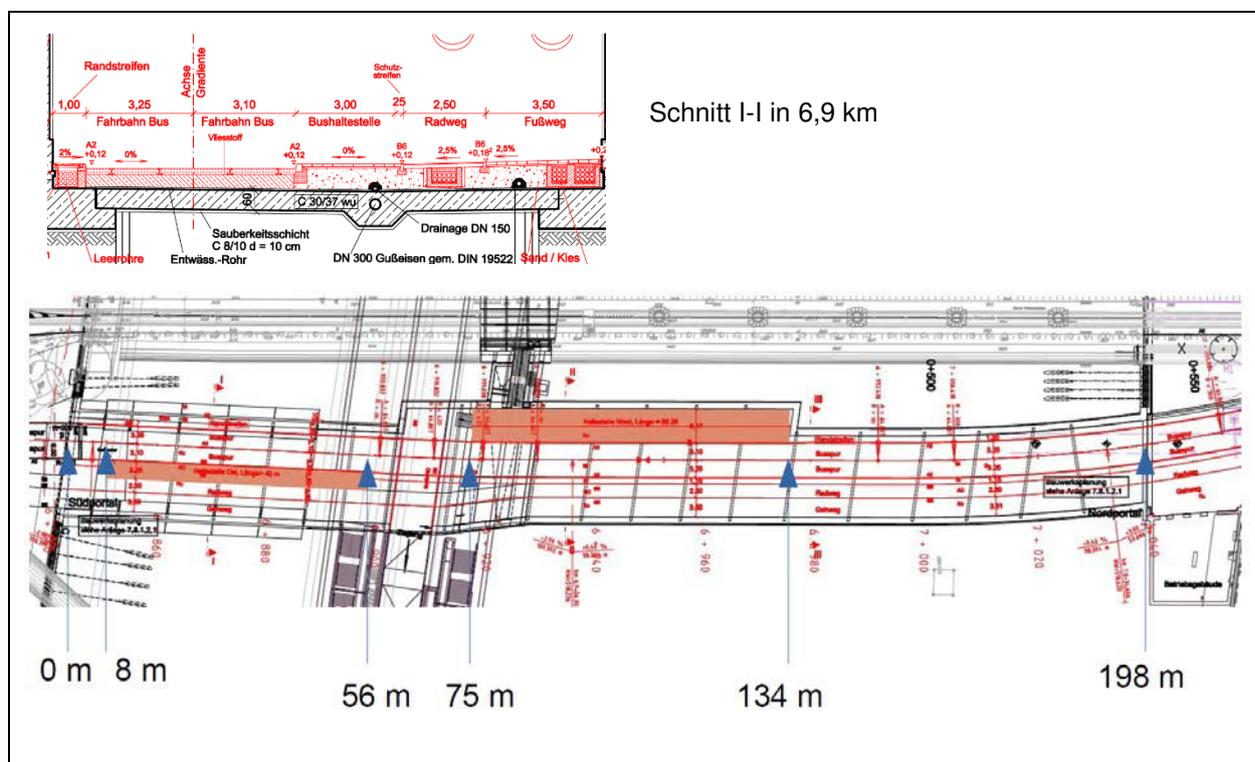


Abbildung 3-1: Prinzip der UVR [1] mit indikativen Abstandsmaßen vom Südportal (von links)

Die verkehrliche Einbindung der UVR in den urbanen Bereich der S-Bahn-Station Laim im Bereich Wotanstraße Süd zeigt Abbildung 3-2:



Abbildung 3-2: Grafik zur Einbindung der UVR in die Verkehrssituation Wotanstraße Süd [2]

Die im Mischverkehr potenziell eingesetzten Busse unterschiedlicher Hersteller werden in [2] in die Typen

- Normalbus (12 m Länge)
- Gelenkbus (18 m Länge)
- Buszug (23 m Länge)

eingeteilt.

Neben der hauptsächlichen Traktionserzeugung „Dieselverbrennung“ sind auch die Energiebereitstellung ausgehend von Elektro-, Wasserstoff- und Gas-Technologie zu berücksichtigen.

Eine nähere Beschreibung der Bus-Typen ist in Tabelle 3-1 und der eingesetzten Straßenbahnen in Tabelle 3-2 mit indikativen Parametern zusammengestellt:

Tabelle 3-1: Hauptparameter der in der UVR potenziell eingesetzten Busse

Typ	Gelenk / Normal	Länge [m]	Masse [t]		Antriebskonzept			Besonderheiten
			leer	besetzt ¹	Diesel/	Elektro		
MAN Lion's City	G	18	17	24	D			Rettungsleitfaden siehe Abbildung 7-4.

¹ Alle Sitz- und Stehplätze besetzt, Durchschnittsmasse von 68 kg/Person nach STVZO

Tabelle 3-1: Hauptparameter der in der UVR potenziell eingesetzten Busse

Typ	Gelenk / Normal	Länge [m]	Masse [t]		Antriebskonzept Diesel/ Elektro			Besonderheiten
			leer	besetzt ¹				
	N	12	12	16	D			Rettungsleitfaden siehe Abbildung 7-3
Solaris Urbino	G	18	17	23,7	D			
	N	12	12	15,7	D			
Solaris Urbino Buszug		23		32,4	D			
MB Citaro	G	18	17	23,2	D			Rettungsleitfaden siehe Abbildung 7-2
MB Citaro Hybrid					D	E		Hybridantrieb; FAS/ Brems- assistent serienmäßig
EBUSCO	N	12		19		E		362 KWh Gesamtenergie der Antriebsbatterien Rettungsleitfaden siehe Abbildung 7-5

Tabelle 3-2: Hauptparameter der in der UVR potenziell eingesetzten Tram

Typ	Länge [m]	Masse [t]		Besonderheiten
		leer	besetzt	
T1, T2-Avenio (Siemens)	37	48	71,6	Neubeschaffung; diese mit vorrangigem Einsatz in UVR
S1-Variobahn (Stadler)	44	40	55	
R3 (Adtrans)	37	40,8	55,6	
R2 (MAN/AEG)	27	31	41,7	
P (Rathgeber)	17	23,3	30,8	

Die für die Analyse von Kollisionsereignissen relevanten Anordnungen der brandschutzrelevanten Komponenten ist in den – soweit vorhanden – typspezifischen Rettungsleitfäden der Fahrzeuge ersichtlich (s. Verweise unter „Besonderheiten“ in den o.g. Tabellen).

3.3 Risikobetrachtung im Rahmen des Brandschutzkonzeptes UVR

Im Rahmen des Brandschutzkonzeptes der UVR wurde mit dem Bericht [5] der STUVATEC eine Brandrisikoanalyse erstellt.

Hierin wurde eine Bewertung der Tunnelinfrastruktur und der Brandschutzorganisation vorgenommen.

In der Analyse möglicher Brandszenarien wurden u.a. Fahrzeugbrände durch einen technischen Defekt, durch Brand im Fahrgastraum oder durch Fahrzeugkollision untersucht.

Dabei wird davon ausgegangen, dass in der UVR jeweils nur ein einziges Fahrzeug (Bus oder Tram) brennt und ein Brandübersprung auf ein anderes Fahrzeug nicht betrachtet werden braucht. Derartige Kombinationen, wie auch „Kollision im Bereich der Haltestelle mit einem nachrückenden Fahrzeug“, werden dem Restrisiko zugeordnet.

Als „Maßnahmen zur Verhinderung von Fahrzeugunfällen“ wurden von der STUVATEC

- (1) Mittelbordsteine,

- (2) Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h und
- (3) betriebliche Festlegung, dass nur ein einziges Fahrzeug pro Fahrtrichtung in der UVR verkehrt,

empfohlen.

Die Maßnahmen (1) und (3) seien jedoch entbehrlich, wenn generell in der UVR die Eintrittswahrscheinlichkeit von Frontalzusammenstößen oder Auffahrunfällen und das gleichzeitige Auftreten eines Brandereignisses vernachlässigt werden kann.

Die Maßnahme (2) ist aus betrieblicher Sicht nicht vorteilhaft und wird aus diesem Grund in der weiteren Risikobewertung besonders berücksichtigt.

Mit dem von SWM herausgegebenen Bericht [3] wurden in einer systematischen, qualitativen Analyse alle mit dem Betrieb der UVR verbundenen Gefährdungen identifiziert und bezüglich ihrer Risikorelevanz bewertet.

Hinsichtlich der kollisionsbedingten Brandentstehung an Fahrzeugen wurden dabei folgende Szenarien untersucht:

- Flankenfahrt-Kollision zweier Trams
- Flankenfahrt-Kollision zweier Busse
- Flankenfahrt-Kollision eines Busses mit einer Tram
- Auffahrt-Kollision (Tram fährt auf Tram auf)
- Auffahrt-Kollision (Bus fährt auf Bus auf)
- Auffahrt-Kollision (Tram fährt auf Bus auf)
- Auffahrt-Kollision (Bus fährt auf Tram auf)

Für alle aufgeführten Szenarien erbrachte die Risikobewertung mindestens ein „tolerables“ Risiko, wie hier am Beispiel „Tram fährt auf Bus auf“ gezeigt:

Mit Verweis auf bereits bestehende Sicherheitsmaßnahmen (Auswahl):

- betriebliche Regeln zur sicheren Befahrung UVR liegen vor,
- Fahrzeuge erfüllen einschlägige Brandschutznormen,
- Brände werden unmittelbar erkannt und gemeldet,
- Lösch- und Rettungsmaßnahmen sind definiert und werden im Brandfall sichergestellt,
- es wird sichergestellt, dass keine weiteren Fahrzeuge in die UVR einfahren,

wurde die Eintrittshäufigkeit eines kollisionsbedingten Brandes als „unwahrscheinlich“ und mit dem Schadensausmaß „kritisch“ das resultierende Risiko als „tolerabel“ klassifiziert.

Eine vertiefte Untersuchung der kollisionsbedingten Brandentstehung an unterschiedlichen Orten und mit verschiedenen Fahrzeug-Typen erfolgte in dem zitierten Bericht nicht.

4 Untersuchungen

4.1 Prüfgrundlagen

Für die Erstellung der Risikoanalyse werden folgende Normen und Regelwerke herangezogen:

Ref.-Nr.	Bezeichnung und Ausgabestand	Titel
[S1]	TRStrab Brandschutz: 2014	Technische Regeln für Straßenbahnen Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen, Ausgabe: 24. Juni 2014
[S2]	DIN EN 50126-1: 2017	Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) - Teil 1: Generischer RAMS Prozess
[S3]	DIN EN 50126-2: 2017	Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) - Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik
[S4]	BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen – BOStrab vom 11. Dezember 1987 (zuletzt geändert: 1.10.2019)
[S5]	StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) vom 26.04.2012 (zuletzt geändert: 13.3.2019)

4.2 Durchführung der Risikobewertung

4.2.1 Methodik der Risikoanalyse und -bewertung

Der Begriff und die grundsätzliche Methodik der Risikobewertung ist in der EN 50126 [S3], Kap. 8 in ihren Hauptelementen

- Risikoanalyse mit Identifikation der Konsequenzen von realisierten Gefährdungen;
- Risiko-Evaluierung einschließlich Definition der Akzeptanzkriterien

definiert worden.

Fernerhin finden sich hier Referenzen zu den Werkzeugen der Risikoanalyse wie Ereignisbaum- und Fehlerbaumanalyse, Fehlermöglichkeits- und Auswirkungsanalyse.

Für die hier vorliegende Aufgabenstellung eines ÖPNV-Tunnels wird dem Ansatz für eine Risikobetrachtung nach TRStrab [S1] gefolgt, wobei auch auf Ergebnisse des Forschungsprojektes [7] verwiesen wird. Demnach sind folgende Verfahrensschritte zu absolvieren:

1. Risikoanalyse

- a. System definieren:
Im vorliegenden Anwendungsfall ist das System „der Betrieb der ÖPNV-Tunnelanlagen“. Das heißt, Streckenabschnitte im Freien werden nicht betrachtet.
- b. Gefahren identifizieren:
Als Gefahr (Gefahrenpotenzial) wird das mit brennbarem Material bzw. Betriebsstoffen oder gespeicherter Energie ausgestattete Fahrzeug identifiziert.
- c. Szenarien bilden:
Es müssen für unterschiedliche Gegebenheiten verschiedene Szenarien abgebildet und nachfolgend untersucht werden. Variiert werden hierbei z.B. auslösendes Ereignis, Brandort, Brandszenario, Brandentwicklung, Personenanzahl und Fluchtmöglichkeiten.

- d. Ermittlung Ereignishäufigkeiten und Schadenausmaße:
Häufigkeiten für verschiedene Ereignisabläufe und deren zugehöriges Schadensausmaß müssen bestimmt werden.
- e. Risiken darstellen:
Die ermittelten Risiken können in Form von (verschiedenen) Kenngrößen ausgewiesen oder in Diagrammen dargestellt werden.

2. Risikobewertung

In der Risikobewertung wird die Ertragbarkeit des ermittelten Risikos anhand von festgelegten Akzeptanzkriterien beurteilt, d.h. die Restrisikoakzeptanz wird aufgezeigt.

Diese Wertungen können nicht allein objektiv hergeleitet werden und basieren deshalb letztlich auch auf einem (subjektiven) Entscheid der an der Bewertung beteiligten Experten.

Im Rahmen der Risikobewertung erfolgt eine Aussage, ob die Sicherheit eines Systems noch weiter verbessert werden muss bzw. dies z.B. unter Berücksichtigung des ALARP-Prinzips sollte.

3. Maßnahmenplanung

Die Maßnahmenplanung soll mindestens die Frage: "Welche Maßnahmen sind erforderlich, um das System sicherer zu gestalten?" beantworten.

Die Ergebnisse der Maßnahmenplanung fließen im Sinne einer Interaktion wieder in die Risikoanalyse und die Risikobewertung ein. Diese Betrachtung ist insbesondere dann geboten, wenn sich das bisher ermittelte Risiko größer als „tolerabel“ erweist, d.h. die definierte Restrisikoakzeptanzgrenze nicht erreicht wurde.

4.2.2 Randbedingungen / Annahmen zur Durchführung der Risikoanalyse

Die hier vorgenommene Risikobewertung ist, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, auf die kollisionsbedingte Brandentstehung von Fahrzeugen im Mischverkehr begrenzt.

Aus diesem Grund werden

- Ereignisse im Rahmen der Instandhaltung (z.B. Kollisionen mit Reinigungsfahrzeugen),
- Kollisionen mit anderen Straßenfahrzeugen, die den Tunnel verkehrswidrig benutzen,
- das gleichzeitige Eintreten unabhängiger Ereignisse, z.B. Brandentstehung an einem Fahrzeug und unabhängiger Verlust der Fahrfähigkeit, welche zum Verlassen des Tunnels erforderlich wäre,
- Personen-Schäden durch eine Gefahrenbremsung z.B. durch Stürze in den Fahrzeugen

nicht betrachtet.

Für die Bremsverzögerung von Straßenbahnen werden hier die Grenzwerte bei Gefahrenbremsungen nach BOStrab [S4] aus 50 km/h von 2,47 m/s² (39 m Bremsweg) herangezogen.

Für Busse wird nach StVZO [S5] (§41) die für Kraftfahrzeuge allgemein geforderte mittlere Vollverzögerung bei Betätigung der Betriebsbremse von mindestens 5,0 m/s² (19 m Bremsweg) angesetzt.

Beispielbetrachtung:

Bei einer Reaktionszeit von 1 sec (begründet durch eine Verzögerung des manuell eingeleiteten Bremsbeginns, Weiterfahrt somit ungebremst über ca. 14 m bei angenommene 50 km/h) nach dem Erkennen einer möglichen Kollision an der Haltestelle nach Einfahrt in den Tunnel von Nord kommend und unter Berücksichtigung der o.g. Bremswege käme die Tram damit 11 m vor der Haltestelle zum Stehen. Für einen von Norden einfahrenden Bus würde dieser Abstand 31 m betragen. Damit ist also selbst bei vorschriftswidrigem Fahrer-Verhalten bei der Annäherung an

die Tunnel-Einfahrt in beiden Fällen ein noch rechtzeitiges Anhalten und die Vermeidung einer Kollision möglich.

4.2.3 Grundsätze der Risikoakzeptanz

Der Europäische Standard EN 50126 [S2] stellt für Risikoanalysen in der Bahntechnik die einschlägige Prozess- und Bewertungsgrundlage dar.

Es wurden die in Anhang C „Risikomatrixkalibrierung und Risikoakzeptanzkategorien“ dieser Norm definierten Grundsätze für die Akzeptanzbewertung des Risikos, das aus dem Mischverkehr von Bussen und Bahnen in der UVR in Form von kollisionsbedingten Fahrzeugbränden für Fahrgäste, Personal und Dritte resultiert, herangezogen.

Die in der Norm als informativ beschriebenen Häufigkeits-, Konsequenz- und Risikoklassen ist in der Tabelle 4-1 zusammengefasst:

Tabelle 4-1: Risikoakzeptanzmatrix nach EN 50126-1 [S2]

			Konsequenz/ Schweregrad			
			unbedeutend Mögliche, geringfügige Verletzung	geringfügig nur schwere (weniger als 10) oder leichte	kritisch mindestens ein Todesfall.	katastrophal mehr als 10 Unfalltote.
Risikostufe		Bewertung				
R1		unzulässig				
R2		unerwünscht				
R3		tolerabel				
R4		vernachlässigbar				
Häufigkeit des Eintretens eines gefährlichen Ereignisses			(1)	(2)	(3)	(4)
Häufigkeit	häufig >7E-03/h	Das Ereignis wird häufig stattfinden.	R2	R1	R1	R1
	wahrscheinlich 7E-03...1E-04/h	Das Ereignis wird voraussichtlich oft auftreten.	R3	R2	R1	R1
	gelegentlich 1E-04...1E-05/h	Das Ereignis wird voraussichtlich mehrere Male auftreten.	R3	R2	R2	R1
	selten 1E-05...1E-07/h	Wird wahrscheinlich irgendwann im Lebenszyklus des Systems auftreten. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Ereignis auftreten wird.	R4	R3	R2	R2
	unwahrscheinlich 1E-07...1E-09/h	Das Auftreten ist unwahrscheinlich, aber möglich. Es kann angenommen werden, dass das Ereignis ausnahmsweise auftreten kann.	R4	R4	R3	R2
	Hoch unwahrscheinlich <1E-09/h	Das Auftreten ist sehr unwahrscheinlich. Es kann angenommen werden, dass das Ereignis nicht auftritt.	R4	R4	R4	R3

Die Skalierung dieser Matrix liegt im Verantwortungsbereich des Verkehrsunternehmens. Für die Zwecke dieser Analyse stellt jedoch die in dem Standard gegebene beispielhafte (informative) Darstellung eine orientierende Bewertungsbasis dar. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da in den nachfolgenden Kapiteln gezeigt wird, dass selbst die Klassen-Grenzen der Eintrittshäufigkeit im „hoch unwahrscheinlichen Bereich“ nicht ausgeschöpft werden.

Zur Interpretation der Risiko-Stufen wird auf die entsprechenden Erläuterungen in [S2] verwiesen. Sollte sich in der Risikoanalyse ergeben, dass das resultierende Risiko der Stufe R4 (vernachlässigbar) zugeordnet werden kann, sind entsprechend dem normativen Ansatz keine weiteren risikomindernden Maßnahmen, die über die bereits bestehenden Vorkehrungen hinausgehen, erforderlich.

Bei Zuordnung zur Stufe R3 (tolerabel) sind Reduktionsmaßnahmen im Sinne des ALARP-Prinzips² zu prüfen, d.h. Risikominderungsmaßnahmen sollen in Betracht gezogen werden, wenn der wirtschaftliche Aufwand im Verhältnis zur Risikominderung vertretbar ist.

4.2.4 Analyse empirischer Unfallereignisse

Zur Unterstützung der Szenarioanalyse von Brandereignissen wurde eine Recherche zu Bus- und Straßenbahnbränden im ÖPNV und zu deren Ursachen vorgenommen.

Diese Analyse selbst ist nicht Gegenstand des vorliegenden Berichtes, jedoch werden daraus folgende qualitativen Schlussfolgerungen für die im folgenden Kapitel vorgenommene Szenarioanalyse gezogen:

- Nach einer in [14] referenzierten Recherche von Busbränden in Deutschland (Zeitraum 1997-2010, Antriebsart Diesel-Motor) ereignet sich der Brandausbruch zu über 75 % im Motorraum, und es sind zu ca. 85 % fahrende Busse betroffen. Aber auch der Brand eines an der Haltestelle stehenden Busses ist belegt.
- Auch wenn nach unserer überschlägigen empirischen Analyse Busbrände als Folge von Kollisionen nicht gefunden wurden, ist ein solcher Folgefehler in Kombination von kollisionsbedingter Verformung mit Besonderheiten der Bauart, möglicher Mängel in der Instandhaltung (Wartung/ Reinigung Dämmmaterial, Filter-Wechsel) und mit den vorhandenen Zündquellen (Abgasanlage, Motor, elektrische Anlage, heiße Bremscheiben) aber nicht auszuschließen. Entsprechende Hinweise finden sich z.B. in [12] und [6] sowie auch in [20-2] bis [20-4].
- Kollisionsereignisse von Bussen (Auffahrunfall an Haltestelle) wie von Bussen und Straßenbahnen (auch mit nachfolgender Entgleisung) sind empirisch belegt, jedoch ohne die Folgewirkung „Fahrzeugbrand“ (s. z.B. [20-1], [20-5]).
- Für Brandereignisse an Bussen mit hybriden oder batterie-elektrischen Antriebskonzepten oder mit Brennstoffzelle-Antrieb fehlt eine empirische Basis.
- Straßenbahn-Brände sind in Relation zu Busbränden selten, aber sowohl während der Fahrt als auch an Haltestellen belegt. Hier ließen sich Ursachen in der Bremsanlage, der dachangeordneten Traktionsstromanlage und im Bereich der Fahrmotoren identifizieren. Eine Auswertung der ERA-Datenbank im Zeitraum 2010-2020 über Kollisionen und Brände von Straßenbahnen (Auszug aus ERADIS, [21]) ergab keine Anhaltspunkte für kollisionsbedingte Straßenbahnbrände.

Zur Abschätzung der Häufigkeit von Kollisionen von Bussen als Ausgangsereignis von Fahrzeugbränden wurde folgende statistische Auswertung vorgenommen:

Nach der Dokumentation des Statistischen Bundesamtes [9] über Unfälle von Bussen im Straßenverkehr 2018 wurden den einen Unfall auslösenden Busfahrern folgende Fehlverhaltensarten angelastet:

- Abstandsfehler mit 12,7% (Hinweis: relevant für die Analyse)
- Fehler beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren mit 11,7 %
- falsches Verhalten gegenüber Fußgängern in 8,5 %
- Vorfahrts- beziehungsweise Vorrangfehler in 8,0 %
- nicht angepasste Geschwindigkeit in 5,8 % (Hinweis: relevant für die Analyse)
- Alkoholeinfluss 0,1%

² ALARP- As Low As Reasonable Practicable, s. [S2]

Bei Linienbussen innerhalb von Ortschaften wurden die für den Betrieb in der UVR relevanten absoluten deutschlandweiten Ereigniszahlen

- Abstandsdefizit: 221 (Hinweis: relevant für die Analyse)
- nicht angepasste Geschwindigkeit: 89 (Hinweis: relevant für die Analyse)
- Überholfehler: 66
- falsche Straßenbenutzung: 49
- gefährliches Vorbeifahren: 12

ausgewiesen.

Auf Basis der gesamten Kilometer-Leistung im deutschen Linienbusverkehr von 2.749 Millionen km wird damit eine spezifische Rate von Unfällen *mit* Personenschaden von $1,59E-07$ [1/Bus-km] pro Jahr [2018] ermittelt.

Bei einer Schätzung der (nicht statistisch erfassten) Gesamtzahl von Unfällen mit Einbeziehung auch solcher *ohne* Personenschaden (Schätzfaktor: 5) erhöht sich diese Rate auf $8,0E-07$ [1/Bus-km]. Diese Schätzung zielt auf die Quantifizierung der Häufigkeit jener Unfälle, die potenziell auch Kollisionen mit erheblichem Impulseintrag und damit Verformungsarbeit am anderen Fahrzeug verursachen und damit für die Aufgabenstellung relevant sind, ohne unmittelbare Personenschäden zu verursachen.

Fazit:

Bezogen auf die Tunnel-Länge der UVR von ca. 200 m ergibt sich daraus eine Ereignisrate von $2 \cdot 10^{-07}$ Ereignisse/ Jahr, die hier konservativ als Häufigkeit für Kollisionsereignisse mit Fahrzeugen interpretiert werden.

Selbst mit der (mindestens für Diesel-Busse) konservativen Annahme, dass jedes 10. Ereignis zu einem Brand führt, lassen sich damit $2 \cdot 10^{-08}$ Brandereignisse pro Jahr in der UVR durch relevantes Fehlverhalten von Busfahrer abschätzen.

In einer Studie von BUNG Ingenieure [10] ist eine Brandrate für Linienbusse von $1,2E-08$ [1/Bus-km und Jahr] ermittelt worden, die auf technische Fehler (ausgehend vom Motorraum im Heck von Diesel-Bussen) zurückgeführt wurde (Referenz: Berliner Verkehrsbetriebe, Fahrleistung Linienbusse: 83 Mio. km pro Jahr, Busbrände: ca. 1 pro Jahr).

Bezogen auf die Länge der UVR ergibt das $2 \cdot 10^{-09}$ Brandereignisse pro Jahr in der UVR durch technische (spontane) Fehler.

Eine vergleichbare Datenbasis zu Straßenbahn-Ereignissen ist in der deutschlandweiten Statistik nicht verfügbar. Dafür wurde in Kap. 4.2.5 eine Übertragbarkeits-Abschätzung vorgenommen.

4.2.5 Szenarioanalyse zu Gefährdungen, Unfällen und Bränden

Technisch bedingte Brände der Tunnel-Infrastruktur, die eine Verrauchung des Tunnels und eine Evakuierung von im Haltestellenbereich befindlichen Personen erforderlich machen würden, werden auf Grund fehlender Brandlasten und Zündquellen (technische Ausführung nach dem Stand von anerkannten Regeln der Technik / Stand der Technik, ordnungsgemäßer Instandhaltung) wie bereits vorab erwähnt nicht betrachtet.

Zudem haben entsprechende Untersuchungen, z.B. in [3], ebenfalls keine relevanten Risikobeiträge aufgezeigt.

Durch schweren Vandalismus mit Inkaufnahme von Toten bis hin zu terroristischen Anschlägen bedingte Brände in der Infrastruktur und in Fahrzeugen sind nicht Gegenstand von sicher-

heitsgerichteten Bewertungen im öffentlichen Bereich und damit auch nicht Bestandteil dieser Analyse.

Das Personenrisiko durch Brand wird deshalb auf Fahrzeugbrände bezogen, die sowohl durch technische Versagensereignisse als auch durch betriebliche Ereignisse ausgelöst werden können.

Da aus früheren Untersuchungen (z.B. [11], [14]) bereits der Anteil *technischer* Versagensereignisse, die zu Kollisionen und nachfolgendem Brand führen (z.B. Bremsversagen), als gering wahrscheinlich relativ zu den durch Fahrer- Fehler verursachten Ereignissen einzustufen ist, werden erstere auch unter Würdigung der kurzen Tunnel- Länge vernachlässigt. Diese Annahme wird auch durch die empirische Abschätzung von Brandereignishäufigkeiten in Kapitel 4.2.4 unterstützt.

Eine auf empirischer Evidenz begründete Abschätzung der Häufigkeit von Fehlverhalten von Busfahrern ist bereits im Abschnitt 4.2.4 vorgenommen worden. Im Ergebnis einer groben und konservativen Schätzung sind dort, bezogen auf die Länge der UVR, 2*10-08 Brandereignisse pro Jahr ermittelt worden.

Dem stehen technisch bedingte Brände mit um eine Größenordnung geringeren Häufigkeit (zitiert ebenda mit 2*10-09 Brandereignissen im Jahr für die Länge der UVR) gegenüber.

Auch wenn diese Ereignisse nicht die konkreten *betrieblichen* Bedingungen der UVR berücksichtigen (betrifft Taktung, Spezifik Mischverkehr, Lichtverhältnisse im Tunnel, insbesondere Portalbereiche etc.), kann jedoch im Sinne der Ereignishäufigkeitsklassen der Risikomatrix (Abschnitt 4.2.3) von einem „sehr unwahrscheinlichen“ Ereignis, verursacht durch Busfahrer-Fehlverhalten, ausgegangen werden. Auf Grund der gegenwärtigen Betriebssituation und des damit verbundenen Unfallgeschehens ergab sich zudem noch nicht die Notwendigkeit von betrieblichen Begrenzungen oder anderweitigen Maßnahmen.

Eine vergleichbare Datenbasis für Fehler von Straßenbahnfahrern liegt nicht vor. Aus diesem Grund wurden für die Bewertung folgende Annahme getroffen:

Nach Informationen eines großen deutschen ÖPNV-Unternehmens ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Auffahrunfalls „Straßenbahn auf Bus“ nicht höher, sondern eher niedriger als im Falle „Bus auf Straßenbahn bzw. Bus auf Bus“. Auch wenn der für den Bremsvorgang wesentliche Haftreibungskoeffizient bei der Straßenbahn geringer und damit der Bremsweg länger ist als beim Bus (Rad/Schiene, also Stahl/Stahl-Paarung versus Gummi/Asphalt-Paarung), können folgende kompensierenden Bedingungen bei der Straßenbahn kreditiert werden:

- Im Gefahrenbremsvorgang einer Straßenbahn greifen 3 voneinander unabhängige Bremsysteme ineinander (ED, EH und MG), und die automatische Sandung setzt ein. Die Magnetschienenbremse (MG) entwickelt insbesondere im niedrigen Geschwindigkeitsbereich eine hohe Verzögerungswirksamkeit.
- Das Fahrpersonal von Straßenbahnen unterliegt den Regelungen der BOStrab und DF Strab. Hierauf beruhen Ausbildungsschwerpunkte, die klare Verhaltensregelungen besonders im Zulauf zu Haltestellen beinhalten. Für Busfahrer gilt die DF Bus mit ähnlichen Regelungen.
- Das Fahrpersonal von Straßenbahnen und Bussen absolviert im Jahresturnus wiederkehrende Schulungen.
- Die Aufmerksamkeit des Fahrpersonals kann auf Grund der permanenten Spurführung besonders auf den zur Verfügung stehenden Bremsweg gerichtet werden, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Auffahrunfällen weiter gemindert wird.

Aus dieser vergleichenden, qualitativen Abschätzung der Bremsbedingungen von Straßenbahn und Bus kann für erstere eine signifikant geringere Eintrittswahrscheinlichkeit eines Auffahrunfalles bis zum Faktor 10 angenommen werden.

Damit sind die oben empirisch für Linienbusse ermittelten Häufigkeiten von Fehlverhalten von Busfahrern konservativ auf Straßenbahnfahrer übertragbar.

Der planmäßige Straßenbahn-Verkehr soll nach Angaben des Betreibers mit dem Typ Siemens Avenio (TZ) erfolgen, für welche ein Nachweis der Erfüllung der Anforderungen der Normenreihe EN 45545 zum fahrzeugseitig werkstofftechnischen und konstruktiven Brandschutz vorliegt (ist eine Grundlage der Fahrzeugbetriebsgenehmigung). Damit kann das Personenrisiko eines Tram-Brandes im Tunnel, insbesondere unter Berücksichtigung der kurzen Aufenthaltsdauer in dem ca. 200 m langen Tunnel, vernachlässigt werden.

Da ältere und u.U. weniger qualifizierte Fahrzeuge, sowie gemäß gleichem Standard ausgeführte Fahrzeuge der Bauart „Variobahn“ nur im Ausnahmefall auf diesem Streckenabschnitt verkehren werden, ist mindestens über den Häufigkeitsanteil des Brandrisikos auch hierfür eine Zuordnung zum tolerierbaren Restrisiko anzunehmen.

4.2.5.1 Bremsverhalten Straßenbahnen und Busse

Wie in den Randbedingungen der Analyse, Kap. 4.2.2 ausgeführt, werden die zulassungskonformen Bremsverzögerungen nach [S4] und [S5] für die Bremswege der zu betrachtenden Fahrzeuge herangezogen (Tabelle 4-2):

Tabelle 4-2: Bremsverzögerungen von Bussen und Straßenbahnen

Fahrzeug/ Quelle	Anforderung Bremsverzögerung	Bremsweg	Bremsweg bei 1 s Reaktionszeit
Busse/ [S5], § 41	mittlere Bremsverzögerung von mindestens 5,0 m/s ²	19 m	33 m
Straßenbahn/ [S4], Anlage 2, Tabelle 2	mittleren Bremsverzögerungen bei Gefahrenbremsung aus 50 km/h von 2,47 m/s ²	39 m	53 m

Die entsprechenden Bremswege gelten typenunabhängig und decken die häufigsten Betriebsfälle ab. Teilausfälle oder Ausfälle der Bremsanlage und Umweltbedingungen (im Tunnelbereich eher nicht relevant), welche die Bremswege verlängern würden, werden insbesondere auf Grund ihrer im Vergleich zum Normalfall technisch intakten Fahrzeuge und der geringen Auftretenshäufigkeit im Rahmen der hier vorgenommenen Risikoabschätzung vernachlässigt.

Unter der Annahme „Bus steht mit Heck am nördlichen Ende der Haltestelle Westseite UVR“, würde eine von Norden mit 50 km/h einfahrende Straßenbahn, deren Fahrer nach 1 sec eine Gefahrenbremsung einleitet, noch 11 m vor dem Hindernis zum Stehen kommen (s. indikative Maßangaben in Abbildung 3-1). Dies ist eine konservative Annahme, da die trassenspezifische Situation diese Geschwindigkeit eher nicht zulässt und zudem nach BOStrab, §50 Abs.4 Z.1 „Vorbeifahrten am Bahnsteig ohne Halt“ zur Begrenzung von Personengefährdungen auf max. 40 km/h reduziert ist, so dass die Anfahrt bereits mit reduzierter Geschwindigkeit erfolgen würde.

4.2.5.2 Ereignisse Fahrzeuge (Bus und Tram, ohne Kollision)

Spontan auftretende Brände an Linienbussen mit Dieselmotor sind empirisch belegt und auch für die Fahrzeugflotte der MVG nicht auszuschließen.

Damit ist in der Risikoanalyse ein mit Brand (besonders im Motorraum beginnend) bei einem in die UVR einfahrenden Bus mit anschließendem Halt (an Haltestelle bzw. auch an beliebiger anderer Position) zu berücksichtigen.

Im Kapitel 4.2.4 wurde dafür auf empirischer Basis eine Eintrittshäufigkeit von $2 \cdot 10^{-9}$ Brandereignisse pro Jahr in der UVR abgeschätzt. Dieses Szenario, technisch bedingter Brand, wird in der Phase 2 der Risikoanalyse vertiefend untersucht.

Spontane Brände an Straßenbahnen sind seltener zu erwarten und auf Grund der geringen Brandlast sowie der Brandresistenz der eingesetzten Werkstoffe und damit geringeren Branddynamik gegenüber Busbränden mit einem signifikant geringerem Personenrisiko verbunden. Dies gilt umso mehr beim planmäßigen Einsatz von modernen, nach EN 45545 ausgelegten Fahrzeugen (s. 4.2.5).

Kollisionsereignisse Fahrzeuge (Bus und Tram)

Die Analyse potenzieller Kollisionsszenarien zwischen Bussen bzw. Straßenbahnen in der UVR in allen möglichen Tunnelpositionen und Fahrzeugzuständen hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

Kollisionen von Fahrzeugen (Bus/Bahn, Bus/Bus, Bahn/Bahn), bei denen die beide Kollisionsgegner sich in gleichgerichteter *Bewegung* befinden, werden wegen der geringeren Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge und damit der geringeren Folgeschwere von den entsprechenden Kollisionsklassen an Haltestellen abgedeckt.

Auch wenn mit dieser Vereinfachung nicht alle möglichen Kollisionspositionen in der UVR erfasst werden, unterscheiden sich die Bedingungen für die Selbst- bzw. Fremddrettung von Personen aufgrund der kurzen Tunnellänge und der Position der Haltestellen nicht wesentlich.

Kollisionsereignisse, bei denen ein Bus auf einen Bus bzw. eine Straßenbahn auffährt, der bzw. die an der *gegenüberliegenden* Haltestelle steht, werden in ihrer Häufigkeit als unwahrscheinlich angesehen, da hierzu ein Spurwechsel erfolgen müsste, für den unter normalen betrieblichen Verhältnissen kein Anlass besteht.

Hinweis: Durch eine entsprechende bauliche Ausrichtung der Fahrspuren ist ein ungewollter Spurwechsel verhinderbar, z.B. können Radabweiser kritische Situationen im Haltestellenbereich verhindern.

Entsprechende Ereignisse, bei denen eine Tram die Spur verlässt, werden als hoch unwahrscheinlich bewertet, da hierzu als unabhängiges Zweitereignis zusätzlich eine Entgleisung eintreten müsste.

Flankenfahrt-Kollisionen zwischen den in der UVR verkehrenden Bussen und Tram werden wegen der einmündungsfreien Auslegung des Tunnels nicht betrachtet. Mögliche Überholvorgänge von Bussen, die ebenfalls zu Flanken-Kollisionen insbesondere mit Fahrzeugen auf der Gegenseite führen könnten, sind auf Grund der Trassenausführung und des Betriebskonzeptes des „Nachrückens“ nicht gegeben. Im Falle des Überholens von liegengebliebenen Fahrzeugen (seltener Fall wegen kurzer Tunnel-Länge und nur möglich bei nicht vorhandenen Spurführungen) ist bedingt durch die besondere Verkehrssituation, z.B. durch die eingeschaltete Warnblinkanlage des defekten Fahrzeuges und die räumlichen Gegebenheiten des Tunnels, mit einer besonders sorgsam und langsamen Fahrweise des vorbeifahrenden Busses zu rechnen. Durch die Kommunikation über Funk an die Leitstelle kann zudem die Einfahrt von Fahrzeugen (Tram und Bus) in den versperrten Bereich sofort unterbunden werden.

Notbremsungen oder Ausweichmanöver von Bussen auf Grund von Radfahrern, die vom Radweg abkommen, stellen zwar potentielle Kollisionsmöglichkeiten dar, werden aber wegen

der Konjunktion dreier kleiner Wahrscheinlichkeiten (Fahradfahrer stürzt auf Fahrspur UND Bus nähert sich zeitgleich UND Straßenbahn folgt unmittelbar) von den Kollisionsereignissen C1 und C2 abgedeckt.

Somit muss diese Ereignis-Klasse in der Risikoanalyse nicht weiter betrachtet werden.

Die verbleibenden Klassen von Kollisionsereignissen sind in Tabelle 4-3 zusammengefasst:

Tabelle 4-3: Klassen von Kollisionsereignissen zwischen Bussen und Tram in der UVR

O – Ost W – West	Bushalt in Haltestelle O	Tramhalt in Haltestelle O	Bushalt in Haltestelle W	Tramhalt in Haltestelle W
Bus fährt nach Nord zu Halt. O	Kollision Bus-Bus; Ereignis A1	Kollision Bus-Tram; Ereignis B1	Kollision unwahrscheinlich	Kollision unwahrscheinlich
Tram fährt nach Nord zu Halt. O	Kollision Tram-Bus; Ereignis C1	Kollision Tram-Tram; Ereignis D1	Kollision hoch unwahrscheinlich	Kollision hoch unwahrscheinlich
Bus fährt nach Süd zu Halt. W	Kollision unwahrscheinlich	Kollision unwahrscheinlich	Kollision Bus-Bus; Ereignis A2	Kollision Bus-Tram; Ereignis B2
Tram fährt nach Süd zu Halt. W	Kollision hoch unwahrscheinlich	Kollision hoch unwahrscheinlich	Kollision Tram-Bus; Ereignis C2	Kollision Tram-Tram; Ereignis D2

Die risikobezogenen Folgen der Kollisionsereignisse (A...C) werden nachfolgend näher beschrieben:

- **Kollision Bus-Bus, A1, A2**

Für das Szenario A1, bei dem ein Bus an der Haltestelle Ost steht und ein nachrückender Bus auf diesen auffährt, wird angenommen, dass bereits bei Annäherung an das Portal selbst bei Halt des ersten Busses am Ende der Haltestelle mit Abstand des Fahrzeughecks von ca. 20 m (Gelenkbus) zum Portal die Vorhersehbarkeit einer Kollision gegeben ist und dies das Fahrverhalten bestimmt. Selbst bei später Erkennung nach Passieren des Portals wäre in diesem Fall der Bremsweg (s. Tabelle 4-2) ausreichend, um eine Kollision zu vermeiden.

Bei einer Position des haltenden Busses mit Heck am Anfang der Haltestelle (8 m vom Portal entfernt), wäre die Erkennbarkeit für den Nachrücker noch deutlich besser. Dies gilt auch für den Fahrzeugbetrieb bei Dunkelheit, da mindestens der Haltestellenbereich hell erleuchtet ist und die Fahrzeuge „beleuchtet“ sind.

Das Szenario A2 unterscheidet sich wesentlich von A1 durch den Kollisionsort, der sich etwa in Tunnelmitte mit für Selbst- und Fremddrettung ungünstigerer Position befindet. Hinsichtlich Eintrittshäufigkeit der Kollision und Wahrscheinlichkeit einer kollisionsbedingten Brandfolge sind jedoch keine signifikanten Unterschiede zu erwarten.

Bei Auffahren/ Kollision mit niedriger Geschwindigkeit (s. z.B. [20-1]) ist eine Beschädigung des Hecks des haltenden Fahrzeuges derart, dass eine Verlagerung bzw. Beschädigung der Komponenten und Aggregate mit Brandfolge eintreten könnte. Dies wird als sehr gering bewertet.

Die Eintrittshäufigkeit dieser Ereignisgruppe wird mit der in Kapitel 4.2.4 empirisch ermittelten Rate des Fehlverhaltens von Busfahrern als sehr gering bewertet.

Insgesamt wird diese Klasse von Kollisionsereignissen in der Risikoanalyse nicht weiter verfolgt, da die Folgen einer Kollision mit nachrückender Tram mit deutlich längerem Brems-

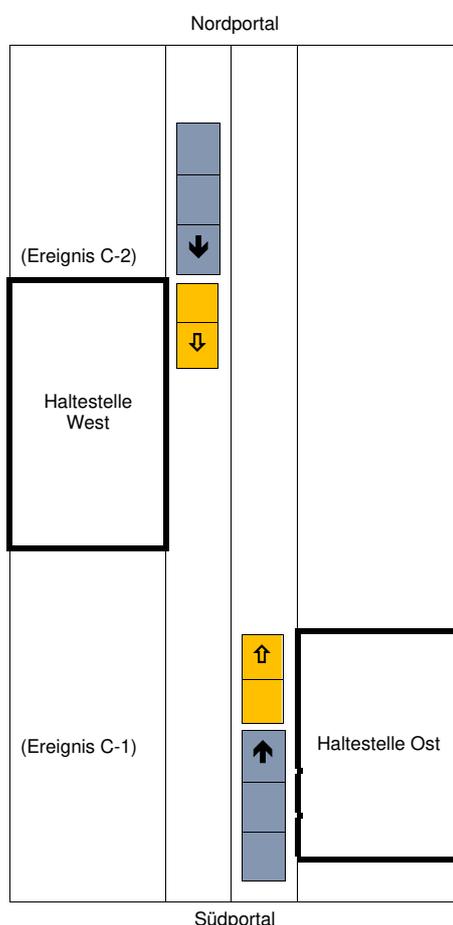
weg und massebedingt höherer Impulsübertragung (Szenario C1) die Fälle A1 und A2 mit abdecken.

- **Kollision Bus-Tram, B1**

In diesem Szenario fährt ein nachrückender Bus auf eine an der Haltestelle Ost stehende Straßenbahn auf. Die Randbedingungen dafür sind vergleichbar zur Ereignisklasse A1. Da die Straßenbahn im Heckbereich keine potenziell brandauslösenden Aggregate, Komponenten und Betriebsmittel wie ein Bus besitzt, in diesem sind zudem im Frontbereich keine für eine Brandentstehung kritischen Elemente positioniert (s. Abbildung 7-1 und folgende), wird diese Ereignisklasse nicht weiter untersucht.

- **Kollision Tram-Bus, C1, C2**

Ein an der Haltestelle Ost stehender Bus erfährt im Falle C1 eine Kollision durch eine von Süden auffahrende Tram.



(symbolische Fahrzeug-Darstellung: blau- Tram, gelb- Bus)

Abbildung 4-1: Kollisionsszenarien UVR im Haltestellenbereich

Auch wenn die Eintrittshäufigkeit für das Auffahren in dieser Tunnelposition als gering eingeschätzt wird (s. die entsprechenden Erläuterungen unter A1), könnte eine Gefahrenbremsung, eingeleitet erst am Tunnelportal, eine Kollision nicht mehr verhindern (s. die situativen Übersichten in Abbildung 3-1 und Abbildung 4-1).

Im Falle C2, also einem etwa in Tunnelmitte befindlichen Kollisionsort, ergeben sich bei Ereigniseskalation ungünstigere Rettungsbedingungen (s. Erläuterung zu A2), ohne dass sich die sonstigen Kollisionsbedingungen signifikant unterscheiden.

Neben den, wie bereits in 4.2.2 diskutierten Folgen wie Verletzung von Personen durch Fall und andere mechanische Einwirkungen, ist bei diesen Kollisionen mit erheblichen Deformationen insbesondere im Heckbereich des Busses zu rechnen.

In diesem Falle ist bei allen Bus-Typen mit Diesel- bzw. E-Antrieb (und anderen), bei denen die potenziell für die Entstehung bzw. Eskalation von Bränden sensiblen Komponenten der Antriebsaggregate, Kraftstofftanks und -Leitungen, Batterien, Hochspannungs- bzw. Hochleistungskabel etc. auf gedrängtem Raum im Heck angeordnet sind (s. Abbildung 7-1 und folgende), die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen eines Brandes nicht zu vernachlässigbar.

Dieses Szenario wird bereits durch den ähnlichen Fall C2, der insbesondere durch die größere Portalentfernung ungünstigere Rettungs- und Bergungsmöglichkeiten aufweist, abgedeckt.

- **Kollision Tram-Tram, D1, D2**

Im Falle der Kollision zweier Trams durch Auffahren auf eine im Haltestellenbereich Ost bzw. West stehenden Bahn ist nicht mit einem Entstehungsbrand zu rechnen, da sich im Front- bzw. Heckbereich der Fahrzeuge keine Komponenten befinden, die ein entsprechendes Potenzial zur Brandentstehung besitzen. Weiterhin wirkt dem die brandschutztechnische Auslegung der für den betriebsmäßigen Einsatz vorgesehenen Fahrzeuge, die bereits die Anforderungen der EN 45545 erfüllen (u.a. ausgerichtet auf die Ertragbarkeit von Defekten in der Elektrotechnik), entgegen.

4.2.6 Folgen- und Risikobewertung der Kollisionsereignisse

Im Ergebnis der Analyse der Kollisionsszenarien wurden die in Abbildung 4-1 symbolisierten Fälle als relevant für eine potenzielle Brandentstehung identifiziert.

Beim Auffahren einer Tram auf das Heck eines Busses, verursacht durch einen Fahrer-Fehler, ist wegen des langen Bremsweges der Tram und des hohen Eintrages von kinetischer Energie, die in Verformungsenergie sowohl der Tram als auch des Busses umgesetzt wird, mit erheblichen Schädigungen der im unmittelbaren Heckbereich des Busses angeordneten Komponenten zu rechnen. Dies trifft sowohl auf konventionelle Diesel- als auch auf Elektro-Busse oder auch andere Antriebsvarianten zu (s. Abbildung 4-2).

Die Niederflur-Busse besitzen zudem keinen nennenswerten hinteren Auffahrschutz. Im Falle eines Aufpralls wird die Bugklappe der Tram zerstört (in der Regel GFK-Material) was ggf. noch nicht unbedingt zu einem maßgeblichen deformierenden Einfluss auf den Bus führt. Jedoch wird das mittig angeordnete Kupplungssystem der Tram bei entsprechender kinetischer Energie in den Aggregatbereich des Busses direkt einstoßen.

Die Art der Schäden bzw. deren Auswirkungen sind bei der kompakten Bauform der Aggregate im Heck der Bustypen kaum vorhersehbar. Aus diesem Grund werden folgende beispielhafte Auswirkungen konservativ mit dem Ereignis in Verbindung gebracht:

- Beschädigungen des Kraftstoffsystems,
- Beschädigung des ölführenden Systems,
- Beschädigung des elektrischen Systems (z.B. Kabelführung und Komponenten im Hochspannungssystem von / zu Antriebsbatterien),
- Beschädigung von sensiblen Komponenten wie z.B. schnelllaufender Turbolader oder Batteriezellen in den Trögen

Dies führt in Folge zu:

- Entzündung des Kraftstoffs / von Öl (ggf. unter Aerosolbildung wegen unter Druck stehender Förderleitungen) an heißen Oberflächen (Turbolader, Abgassystem) oder sich bildenden Hotspots auf Grund elektrischer Kurzschlüsse,
- Entzündung von brennbaren Stoffen im Aggregatbereich wie Schallisolierungen / Kunststoffe, betriebsbedingte Verunreinigungen.

Hierzu gibt es eine Vielzahl von potenziellen Ereignissen für einen eskalierenden Busbrand, u.a. mit Verweis auf [12], [14] und [19].

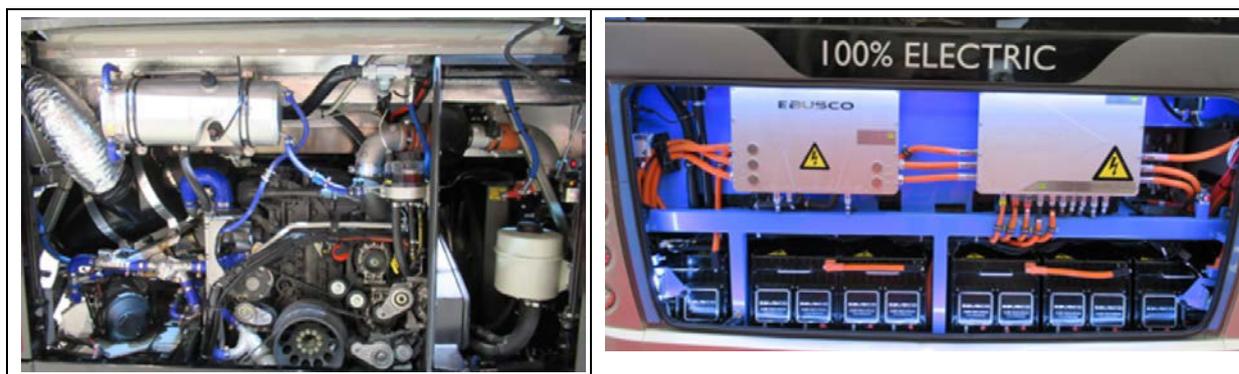


Abbildung 4-2: Beispiele zu Heckeinbauten von diesel-/elektrisch angetriebenen Stadtbussen

In Kapitel 4.2.4 wurde eine Abschätzung der Häufigkeit von Fehlhandlungen von Busfahrern vorgenommen und in 4.2.5 eine konservative Übertragbarkeit dieser Fehlhandlungsrate auf Straßenbahn-Fahrer begründet.

Die Auswirkungen einer Kollision können wie bereits argumentiert nicht vernachlässigt werden. Allerdings eskaliert nach den empirischen Betrachtungen in Kapitel 4.2.4 nicht jede Kollision in einem Entstehungsbrand. Wie dort erwähnt, gibt es dafür keine veröffentlichte empirische Evidenz.

Mittels einer ingenieurmäßigen Schätzung wird diese Übergangswahrscheinlichkeit für Diesel-Busse konservativ mit 0,1 bewertet.

Für Elektro-Busse, deren Batterien bzw. Hochleistungs-Kabel im Kollisionsfall unmittelbar und in unkontrollierter Weise beschädigt werden können, ist eine höhere Übergangswahrscheinlichkeit zu erwarten, die hier mit 0,5 bewertet wird. Hierbei kann sich die Fehlerauswirkung auch verzögernd ergeben, wobei eine Begrenzung der Auswirkungen durch eine schnelle und gezielte Energieabfuhr über einen längeren Zeitraum möglich ist – ein Löschen des „heißen“ Ereignisses in der Traktionsbatterie ist dagegen nicht möglich.

Damit wird das Risiko eines kollisionsbedingten Busbrandes nach Auffahren einer Straßenbahn wie folgt abgeschätzt.

Diese Angaben stellen nur eine vorläufige Abschätzung für das Auftreten eines Entstehungsbrandes dar, ohne mögliche Risikokontrollmaßnahmen hinsichtlich der Eintrittshäufigkeit (z.B. Einsatz von Fahrerassistenzsystemen, dedizierte Betriebsvorschriften gemäß DF BOStrab für den Haltestellenbereich und Tunnelbetrieb) und der Ereignisfolgen (u.a. Reduzierung durch automatische Brandlöscheinrichtung, manuelle Brandlöschung, technische Barrieren zur verzögerten Entwicklung des Brandes, schnelle Evakuierung der Passagiere) zu kreditieren.

Hierzu wird auf die Phase 2 der die Auswirkungen bewertenden Risikoanalyse verwiesen.

Tabelle 4-4: Risikobewertung bezogen auf Brände mit Stadtbussen

Risiko-Parameter	Schätzung (Diesel/ E-Bus)	Quelle
Eintrittshäufigkeit Fahrfehler/ Kollision Tram mit Bus, bezogen auf Länge UVR	2*10-07 Ereignisse pro Jahr	[9]; s. Kap. 4.2.4
Kollisionsfolge „Brand“	Übergangswahrscheinlichkeit angenommen mit 0,1 (Diesel-Bus), 0,5 (E-Bus)	konservative ingenieurmäßige Schätzung
Eintrittshäufigkeit „Busbrand“ nach Kollision	2*10-08 bzw. 1*10-07 Kollisions-Brandereignisse pro Jahr (2*10-12 bzw. 1*10-11/ Stunde)	
Eintrittshäufigkeit „Busbrand“ ohne Kollision (spontan, technisch bedingt) in der UVR	2*10-09 Brandereignisse pro Jahr (2*10-13/ Stunde)	[10]; s. Kap. 4.2.4

Auf der Grundlage der Risiko-Matrix (Kap. 4.2.3) ist bereits dieses Basis-Risiko für „Busbrand“ nach Kollision und erst recht jenes für spontan auftretende Busbrände in der UVR als vernachlässigbar zu bewerten. Selbst im Fall eines katastrophalen Ereignisses mit mehr als 10 Unfalltoten ergibt sich ohne die o.g. Gegenmaßnahmen ein tolerables Risiko. Damit sind nach der Methodik der Risiko-Analyse keine weiteren Risikominderungsmaßnahmen angezeigt.

5 Bewertungsergebnisse

Die im Kapitel 4 dokumentierten Analysen werden gemäß der Vorgabe in Kapitel 2.2 nachfolgend verfahrens- und ergebnisbezogen zusammengefasst.

5.1 Analyseergebnis zum Eintrittsereignis „Fahrzeugbrand“ in der UVR

Die Zielstellung der ersten Phase der Risikoanalyse besteht in der Bewertung des Unfallrisikos im Mischverkehr von Linienbussen und Straßenbahnen bei Fahrzeugkollisionen mit nachfolgendem Fahrzeugbrand in der Umweltverbundröhre Laim.

Dazu wurde die Eintrittshäufigkeit von Kollisionen zwischen den im geplanten Mischverkehr einzusetzenden Fahrzeugen in relevanten Tunnelabschnitten der UVR und die kollisionsbedingte Brandentstehung an den Fahrzeugen untersucht und bewertet.

Im Rahmen einer Risikobewertung wurde die Akzeptanz der relevanten Gefährdungsereignisse eingeschätzt.

Die mögliche Eskalation von Fahrzeug-Bränden bis hin zu einem möglichen Vollbrand einschließlich der entsprechenden Evakuierungs-Szenarien ist Gegenstand der 2. Phase der Risikoanalyse.

Neben der Darstellung des Systems UVR einschließlich der Fahrzeuge wurden die Randbedingungen der Analyse definiert und begründet.

Im Rahmen der empirischen Analyse von Unfallereignissen mit Stadtbussen, bezogen auf die Tunnel-Länge der UVR von ca. 200 m wurde eine Ereignisrate von 2*10-07 Ereignisse/ Jahr bezogen auf eine „fehlerhafte Handlungen“ ermittelt. Diese Häufigkeit wurde konservativ als Rate von Kollisionsereignissen mit Fahrzeugen interpretiert.

Für Straßenbahn-Fahrer wurden keine vergleichbaren empirischen Daten durch den Auftraggeber zu Verfügung gestellt, so dass die aus anderen Quellen ermittelte „Rate von Bussen“ übernommen wurde.

Die Analyse der potenziellen Kollisionsereignisse in der UVR hat im Hinblick auf die Aufgabenstellung das Auffahren einer Straßenbahn auf einen an der Haltestelle Ost bzw. West stehenden Busses als kritisches Ereignis ergeben.

Die Niederflur-Busfahrzeuge besitzen praktisch keinen hinteren Auffahrschutz. Die Art der Schäden durch Kollision ist bei der kompakten Bauform der Aggregate kaum vorhersehbar.

Auf Grundlage der konservativen Annahme, dass jedes 10. bzw. 2. Kollisionsereignis (Diesel- bzw. Elektro-Bus) zum Brand führt, ergibt sich eine Rate von $2 \cdot 10^{-8}$ bzw. $1 \cdot 10^{-7}$ Brandereignisse pro Jahr in der UVR durch relevantes Fehlverhalten von Straßenbahn-Fahrern.

Diese Rate liegt um eine Größenordnung über jener, die durch spontane, technisch bedingte Brände in Bussen empirisch ermittelt wurde.

Die Bewertung der kollisionsbedingten Häufigkeit an den mit der Risikomatrix vorgegebenen Akzeptanzgrenzen ergibt ein vernachlässigbares bzw. - bei hypothetischen Annahmen zum Versagen der Selbst- und Fremdreitung - ein tolerables Risiko:

Im Einzelnen bedeutet dies eine Einordnung der Eintrittshäufigkeiten in die Klasse „unwahrscheinlich“ ($1E-07 \dots 1E-09/h$), so dass selbst mit einem Schweregrad „kritisch“, bei dem bereits mit Unfallopfern zu rechnen ist, die Risikostufe „tolerabel“ dargestellt werden kann.

Damit sind im Ergebnis der Risikoanalyse im Ergebnis der Phase 1 keine unmittelbaren Risikominderungsmaßnahmen geboten (s. dazu weitere Erläuterungen in Kap. 5.2.).

5.2 Funktionale Maßnahmenempfehlungen zur Risikominderung

Auf Grund der in der Analyse bisher aufgezeigten Risikobewertung, die in der Phase 2 hinsichtlich der Ereignisfolgen noch untersetzt wird, ist schon jetzt aus Sicht der probabilistischen Analyse ein Verzicht auf zwingende zusätzliche Maßnahmen zur Risikominderung absehbar.

Dabei ist davon auszugehen, dass mit einer Eintrittshäufigkeit von Kollisions-Brandereignissen pro Jahr von $2 \cdot 10^{-8}$ bzw. $1 \cdot 10^{-7}$ gemäß Risiko-Matrix die Risikostufe R4 (vernachlässigbar) bei einer Folgeschwere bis zu einem Todesopfer dargestellt werden kann.

Nur bei hypothetisch katastrophalen Folgen von Kollision und Brand (> 10 Opfer) würde mit der Risikostufe R3 (tolerabel) in einem weiteren Analyseschritt im Sinne des ALARP-Prinzips (s. Kap. 4.2.3) zu zeigen sein, ob eine weitere Risikoreduzierung erforderlich ist.

Entsprechende Maßnahmen werden im Ergebnis der 2. Phase der Analyse herausgearbeitet.

Zudem wird an dieser Stelle bereits auf dezidierte Betriebsvorschriften für Tunnel und Haltestellen, den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen sowie ein betreiberseitiges Ereignis-Management (Notfallmanagement) und mögliche Technikertüchtigungen (u.a. Branddetektion in Aggregatbereichen von Bussen und Motorraumlöschanlagen) verwiesen.

Im Ergebnis der durchgeführten Risikoanalyse in der 1. Phase sind die im Rahmen des Brandschutzkonzeptes [5] diskutierten Maßnahmen zur Verhinderung von Fahrzeugunfällen wie die Installation von Fahrbahnbegrenzungen oder eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h nicht als zwingend geboten anzusehen.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden 1. Phase der Risikoanalyse zur Umweltverbundröhre Laim wurde das Unfallrisiko im Mischverkehr von Linienbussen und Straßenbahnen bei Fahrzeugkollisionen mit einem möglichen nachfolgendem Fahrzeugbrand auf Grund der sich ggf. ergebenden Kritikalität gegenüber in den Fahrzeugen und der UVR befindlichen Personen untersucht.

Hierbei wurden systematisch Kollisionsszenarien zwischen den in der UVR verkehrenden Bus- und Straßenbahn-Typen untersucht. Dabei erwies sich das Auffahren einer Straßenbahn durch Fahrer-Fehler auf das Heck eines in der Regel im Haltestellenbereich stehenden Diesel- oder Elektro-Busses als relevant und abdeckend für die Ereignisklasse „Entstehungsbrand Bus infolge Kollision“.

Zur Abschätzung der Ereignishäufigkeit wurden die im Statistischen Jahrbuch und weiterer Unfall-Untersuchungen erfassten Busunfälle ausgewertet und unter Zuhilfenahme qualitativer Abschätzungen und Annahmen in konservativer Weise auf das o.g. Szenario abgeschätzt.

Demnach beträgt die auf die UVR bezogene Kollisionshäufigkeit (Straßenbahn auf Bus) $2 \cdot 10^{-7}$ Ereignisse pro Jahr. Mit der Annahme einer Übergangswahrscheinlichkeit zum kollisionsbedingten Entstehungsbrand ergab sich dieser mit einer Rate von $2 \cdot 10^{-8}$ (Diesel-Bus) bzw. $1 \cdot 10^{-7}$ (Elektro-Bus) Brandereignisse pro Jahr in der UVR.

Für spontan auftretende Fahrzeug-Brände wurde eine signifikant geringere Eintrittshäufigkeit ermittelt.

Zur Einordnung und Erläuterung dieser Ergebnisse verweisen wir auf folgende Sachverhalte:

1. Technik-bedingte spontane Brände sind in öffentlich zugänglichen Quellen dokumentiert und lassen sich in ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit aus empirischen Daten quantifizieren.
2. Das Potential kollisionsbedingter Brände wurden in mehreren Studien identifiziert, es wurden aber im Rahmen der vorliegenden Analyse keine expliziten (empirisch dokumentierten) Belege gefunden.
3. Wir haben deshalb über eine Risikoanalyse eine indirekte quantifizierende Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit kollisionsbedingter Brände vorgenommen. Diese Untersuchung hatte nicht das Ziel, empirische Daten zu schätzen, sondern nur- auf konservativer Basis- die Erfüllung von Risikoakzeptanzkriterien für den konkreten Anwendungsfall "Laim" zu beurteilen.

Gemessen an diesen Akzeptanzkriterien, die auf der Grundlage der (informativen) Risikoakzeptanzmatrix nach der Sicherheits-Norm EN 50126 gebildet wurden, erweist sich das resultierende Risikoniveau für einzelne Personenschäden infolge eines sich unfallbezogen ergebenden Brandereignisses als vernachlässigbar. Selbst das Risiko einer Brandeskalation hin zu einem katastrophalen Ereignis mit hoher Opferzahl wurde im Sinne der probabilistischen Risikobewertung der o.g. Norm noch als „tolerabel“³ ermittelt.

Eine detailliertere Untersuchung dieser Brandeskalation ist Gegenstand der 2. Phase der Risikoanalyse.

Insgesamt ist das mit dem geplanten Mischbetrieb zu erwartende Brandrisiko infolge Fahrzeug-Kollision zwischen Bussen und Straßenbahnen als tolerabel bzw. vernachlässigbar zu bewerten. Unter der Annahme eines regelkonformen Fahrzeugbetriebes wird die Einführung weiterer Risikominderungsmaßnahmen als nicht geboten angesehen.

³ „tolerabel“ hier im Sinne des ALARP-Prinzips der o.g. Norm, d.h. eine weitere Mitigation hin zu einem vernachlässigbaren Risikoniveau ist in Abwägung zwischen Sicherheitsgewinn und Kostenaufwand zu entscheiden



Rail

TÜV SÜD Rail GmbH

Berlin, 08.08.2020

Abteilungsleiter Brandschutz / Gutachter

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Heyn'.

Digital unterschrieben
von Jürgen Heyn
Datum: 2020.08.08
07:06:48 +02'00'

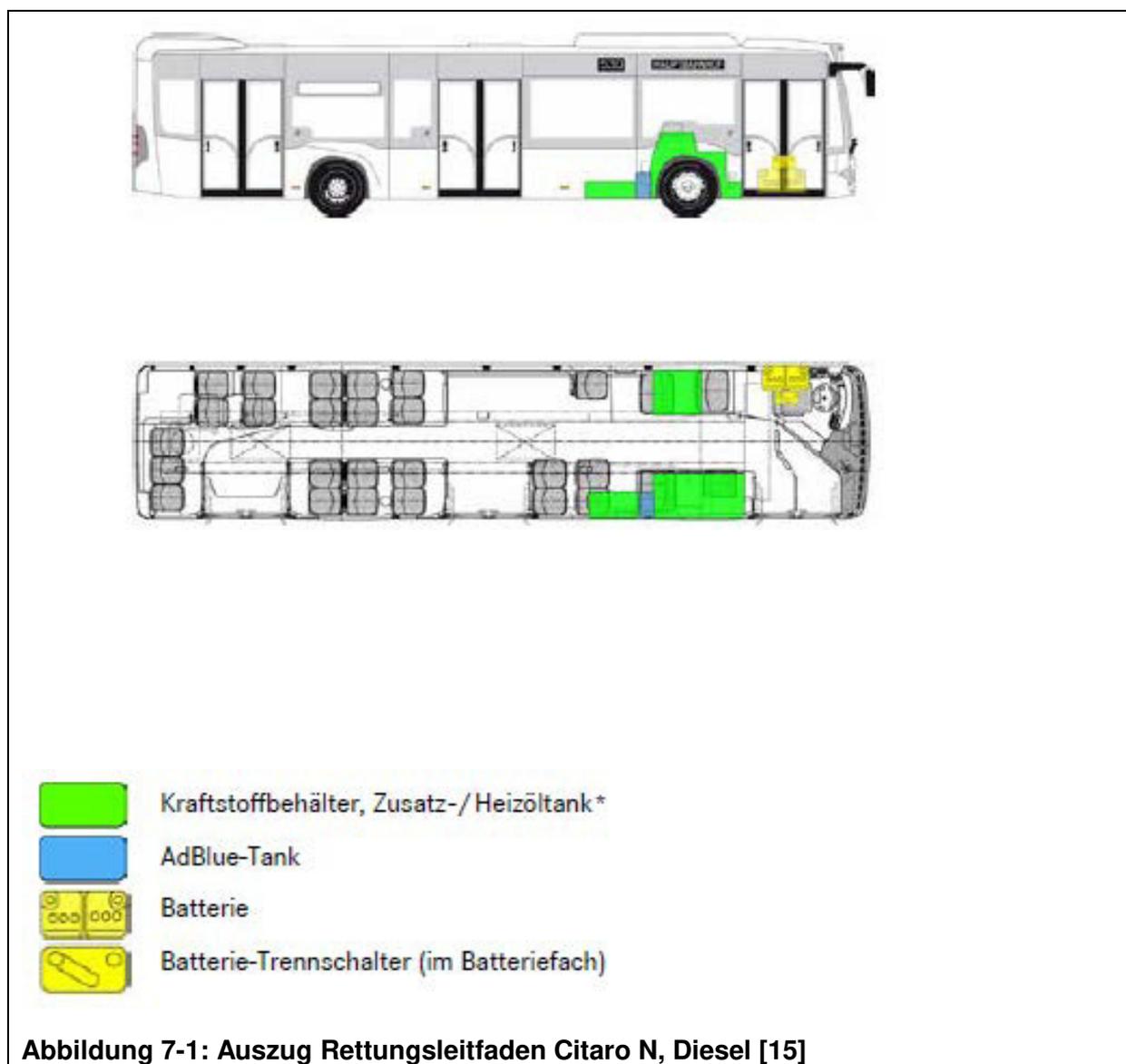
Dr.-Ing. Jürgen Heyn

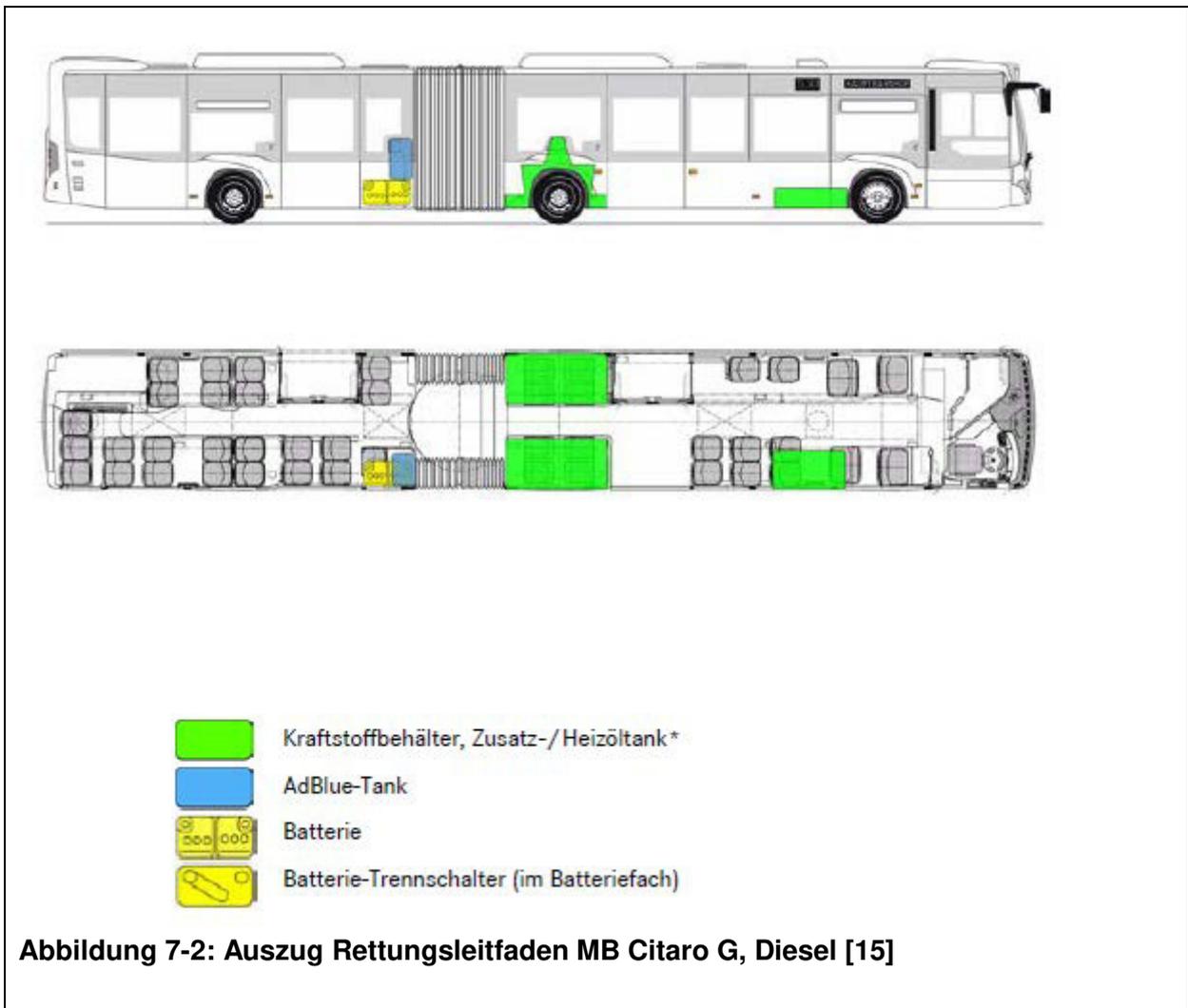
Sachverständiger

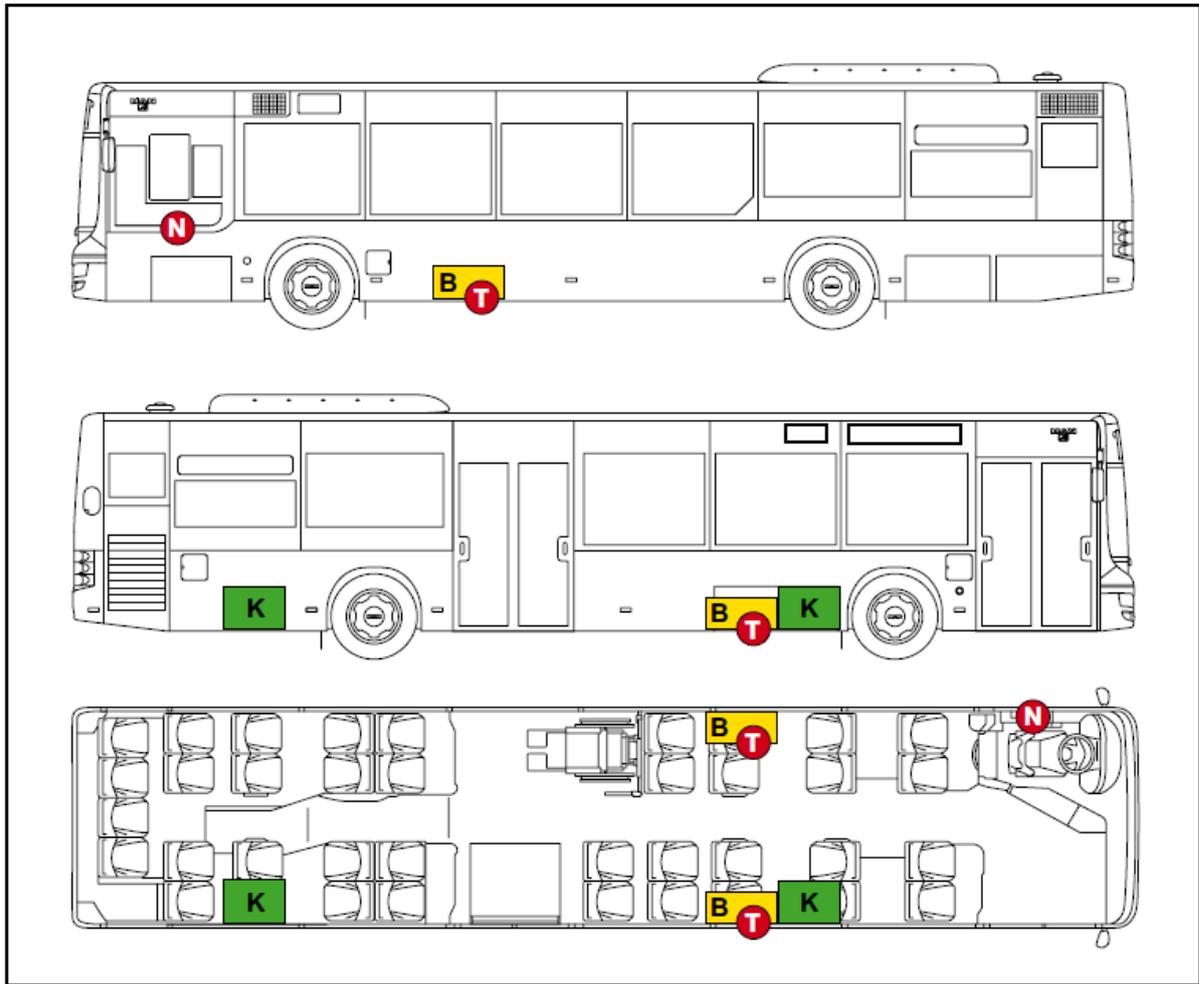
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'L. Neumann'.

Dr. Lutz Neumann

7 Anhang







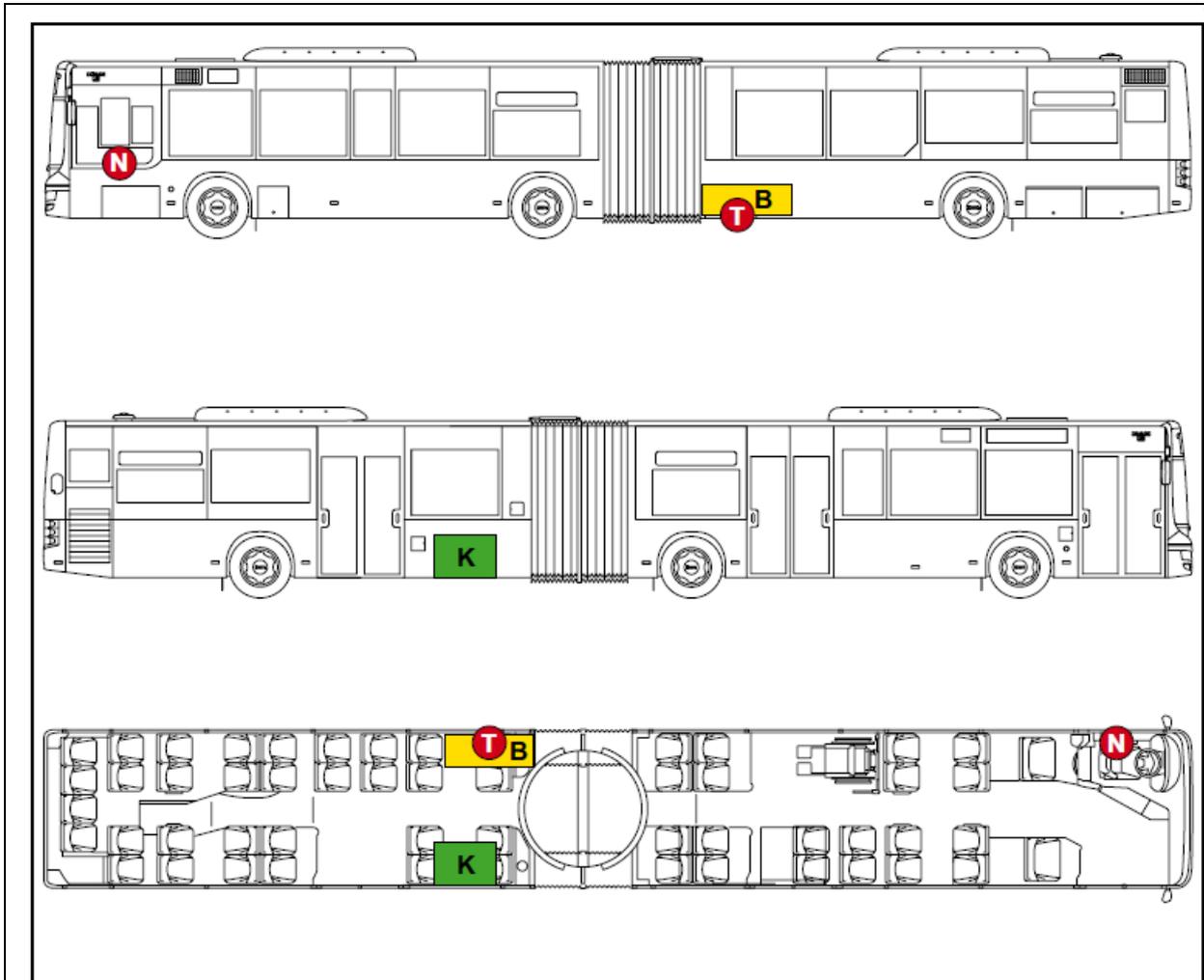
B Batterie (2 x 12 V) (je nach Ausführung links oder rechts)

N NOT-AUS-Schalter Motor

K Kraftstofftank

T Batterietrennschalter

Abbildung 7-3: Auszug Rettungsleitfaden MAN Lion's City, N Diesel [16]



B Batterie (2 x 12 V)

N NOT-AUS-Schalter Motor

K Kraftstofftank

T Batterietrennschalter

Abbildung 7-4: Auszug Rettungsleitfaden MAN Lion's City, G Diesel [16]

