

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Taktische Vorgehensweise bei Bränden in Eisenbahntunneln unter Berücksichtigung, dass die Einsatzbewältigung überwiegend durch nebenamtliche Einsatzkräfte (FFw) erfolgt

184

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 184

**Taktische Vorgehensweise bei Bränden in
Eisenbahntunneln unter Berücksichtigung, dass
die Einsatzbewältigung überwiegend durch
nebenamtliche Einsatzkräfte (FFw) erfolgt**

von

Prof. Dr. rer. nat. Elke Jahn (Projektleiterin),

Dipl.-Ing. Klaus-Jürgen Kohl,

Dipl.-Ing. Monika Kutz,

Dr.-Ing. Michael Neske

Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge

Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -

Heyrothsberge

September 2015

BERICHTS-KENNBLETT

Nummer des Berichtes: 184		Titel des Berichtes Taktische Vorgehensweise bei Bränden in Eisenbahntunneln unter Berücksichtigung, dass die Einsatzbewältigung überwiegend durch nebenamtliche Einsatzkräfte (FFw) erfolgt		ISSN: 0170-0060	
Autoren: Prof. Dr. rer. nat. Elke Jahn Dipl.-Ing. Klaus-Jürgen Kohl Dipl.-Ing. Monika Kutz Dr.-Ing. Michael Neske		durchführende Institution: Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr - Biederitzer Straße 5 D-39175 Biederitz / OT Heyrothsberge Direktor: BrOR Frank Mehr			
Nummer des Auftrages: FA-Nr.: 83 (3/2013)		auftraggebende Institution: Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V – Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung			
Datum des Berichtes: September 2015					
Seitenzahl: 118	Bilder: *) 72	Tabellen: 25	Literaturverweise: 62		
<p>Kurzfassung:</p> <p>Im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit werden für die künftige ICE-Strecke Ebersfeld (Bayern) – Erfurt (Thüringen) ausgewählte Einsatzszenarien betrachtet. Die Festlegung auf die nachfolgend genannten Themen erfolgte in Abstimmung mit dem Thüringer Ministerium für Inneres und Kommunales, Referat 44, das auch Auftraggeber für diese Untersuchungen ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> A Brandrauchausbreitung im Eisenbahntunnel Baumleite B Auswahl von Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut bei Ereignissen in Eisenbahntunneln C Kräfteansatz für den Transport mittels Rollpaletten 					
<p>Schlagwörter: Eisenbahntunnel; Brandrauchausbreitung; Modellierung; CFD-Simulation; FDS; Gefahrgut; Freisetzung Gefahrgut; Statistik Gefahrgutbeförderung; Mehrgasmessgerät; Photoionisationsdetektor; Transporthilfen; Rollpaletten; Persönliche Schutzausrüstung</p>					

*) Farbseiteninformationen des Forschungsberichtes auf CD-ROM können bei Kostenerstattung von 5 € beim IBK Heyrothsberge, Abteilung Forschung - IdF -, Biederitzer Str. 5, 39175 Biederitz / OT Heyrothsberge, abgefordert werden.

INHALTSVERZEICHNIS

	Vorwort	1
A	Brandrauchausbreitung im Eisenbahntunnel Baumleite	2
A1	Einleitung	2
A2	Eisenbahntunnelbrände - Szenarien	3
A3	Modellierung der Brandrauchausbreitung am Beispiel des Baumleitetunnels	4
A3.1	Überblick zur Brandrauchausbreitung in Tunneln	4
A3.2	Topologische Lagebeschreibung	7
A3.3	CFD-Simulationen zur Brandrauchausbreitung mit FDS	8
A4	Zusammenfassung /Schlussfolgerungen	51
A5	Literaturverzeichnis	53
B	Auswahl von Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut bei Ereignissen in Eisenbahntunneln	56
B1	Einleitung	56
B2	Überblick zu beförderten Gefahrgütern im Eisenbahnverkehr	56
B2.1	Vergleich der beförderten Gefahrgüter im Straßen- und Eisenbahnverkehr	56
B2.2	Gliederung des Gefahrguttransports nach Gefahrklassen	60
B2.3	Verlagerung von Gefahrgut von der Straße auf die Eisenbahn	61
B2.4	Statistische Daten zu Unfällen mit Beteiligung von Gefahrgut im Eisenbahntransport	66
B3	Rechtliche Regelungen für Die Gewährleistung der Sicherheit im Schienenverkehr	70
B3.1	Allgemeines	70
B3.2	Aufgaben des Notfallmanagementsystems der Deutschen Bahn AG bei Ereignissen im Schienenverkehr unter Beteiligung von Gefahrgut	73
B4	Sicherheitskonzepte in Eisenbahntunneln	74
B4.1	Charakteristika des Eisenbahnverkehrs im Vergleich zum Straßenverkehr	74

B4.2	Präventive Maßnahmen	75
B4.3	Ereignismindernde Maßnahmen	77
B5	Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut	77
B5.1	Messtechnik der Feuerwehr für Gefahrguteinsätze	77
B5.2	Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut bei Ereignissen in Eisenbahntunneln	78
B6	Zusammenfassung/Schlussfolgerungen	87
B7	Literaturverzeichnis	88
C	Kräfteansatz für den Transport mittels Rollpaletten	91
C1	Einleitung	91
C2	Technische Bauwerksdaten des Bleißbergtunnels	91
C3	Sichere Bereiche, Notausgänge und Rettungsplätze	92
C4	Löschwasserversorgung	95
C5	Transporthilfen/Rollpaletten	96
C6	Persönliche Schutzausrüstung	98
C7	Maßgebliches Szenario zur Kalkulation des Kräfteansatzes für die Benutzung von Rollpaletten	102
C8	Mögliche einsatztaktische Vorgehensweise	104
C8.1	Ersteintreffende Einheiten an den Rettungsplätzen	105
C8.2	Tunnelbasiseinheiten (TBE)	105
C8.3	Vorbetrachtungen	106
C8.4	Erkundungsmaßnahmen zum Standort des Zuges	109
C8.5	Vorschlag für zu tragende PSA bei verschiedenen Einsatzaufgaben zur Tunnelbrandbekämpfung	113
C9	Zusammenfassung	114
C10	Literaturverzeichnis	116

VORWORT

Eisenbahntunnel sind relativ sichere Verkehrswege. Die Gefährdungen sind für die Passagiere und für das Zugpersonal im Tunnel im Vergleich zu anderen Bereichen des Schienennetzes geringer, da eine Reihe von Unfallursachen nicht existieren, wie z.B. Kollisionen an Bahnübergängen, mit rangierenden Zügen oder mit Hindernissen auf den Gleisen (Äste, Unterspülungen). Aus diesen Gründen sind in Bahntunneln pro gefahrenen Kilometer weniger Unfälle zu registrieren als auf der offenen Strecke. Zur Minimierung des Risikos für Tunnelunfälle tragen bei Neubautunneln auch eine Reihe von präventiven und ereignismindernden Maßnahmen bei. Dennoch kann dieses Risiko nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für Unfälle in Bahntunneln sind insbesondere drei Ursachen verantwortlich: Feuer, Zugentgleisungen, Zusammenstöße zwischen Zügen. Unter diesen drei Risiken stellt der Brand das größte Gefährdungspotenzial dar.

Die besonderen Bedingungen, die Brände in Eisenbahntunneln dominieren, bringen wiederum spezielle Herausforderungen für die Bewältigung der Ereignisse mit sich. Dieses erfordert von den Ersteinsatzkräften, insbesondere von den zum Einsatz kommenden Angehörigen der Feuerwehr, streng lageangepasste Maßnahmen und Handlungsweisen. Insbesondere in den Fällen, in denen Kräfte der freiwilligen Feuerwehren Eisenbahntunnel in ihrer Zuständigkeit haben, bringen klar strukturierte Einsatzkonzepte für Tunnel eine fundierte Handlungssicherheit mit sich.

Im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit werden für die künftige ICE-Strecke Ebensfeld (Bayern) – Erfurt (Thüringen) ausgewählte Einsatzsituation betrachtet. Die Festlegung auf die nachfolgend genannten Themen erfolgte in Abstimmung mit dem Thüringer Thüringer Ministerium für Inneres und Kommunales, das Auftraggeber für diese Untersuchungen ist:

- A Brandrauchausbreitung im Eisenbahntunnel Baumleite
- B Auswahl von Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut bei Ereignissen in Eisenbahntunneln
- C Kräfteansatz für den Transport mittels Rollpaletten

Die einzelnen Themen stellen in sich abgeschlossene Aspekte dar und werden daher in der vorliegenden Arbeit auch unabhängig voneinander behandelt.

A BRANDRAUCHAUSBREITUNG IM EISENBAHTUNNEL

BAUMLEITE

A1 EINLEITUNG

Auf der sich im Bau befindlichen ICE-Strecke - von Ebensfeld (Bayern) nach Erfurt (Thüringen) wird die Gefahrenabwehr fast ausschließlich durch Freiwillige Feuerwehren übernommen.

Einsätze der Feuerwehr bei Bränden und technische Hilfeleistungen in Eisenbahntunneln sind zwar relativ selten, stellen die Einsatzkräfte jedoch vor große Herausforderungen.

Bedingt wird dies insbesondere durch:

- lange Anmarschwege für die Einsatzkräfte, damit verbunden auch lange Rettungswege
- die Koordinierung einer Vielzahl von Rettungskräften aus verschiedenen Hilfsorganisationen,
- große Personenzahlen der Reisenden,
- Einsatzszenario auf eng begrenztem Raum,
- sehr weitläufige Brandabschnitte,
- Umgebungstemperaturen im Brandfall,
- Rauchausbreitung,
- eingeschränkte Aufstell- und Bewegungsflächen,
- eingeschränkte Kommunikation,
- Bildung vieler örtlicher Einsatzabschnitte aufgrund der zahlreichen Notausgänge

[Stielow und Ortlepp 2012].

Die Planungen der einsatztaktischen Maßnahmen für das Eingreifen der Feuerwehren bei Tunnelunfällen folgen im Allgemeinen den „Empfehlungen zur Schadensbekämpfung bei Brand und Kollision von Reisezügen in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG durch öffentliche Feuerwehren“ der Arbeitsgruppe „Tunnelbrandbekämpfung“ im Referat 5 der vfdb und müssen an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Ausdrücklich betonen [Wolschendorf et al. 2001], dass:

- die Menschenrettung und die Brandbekämpfung im Vordergrund steht,
- sich nicht am »worst case« orientiert wird und
- die Machbarkeit im Auge behalten wurde.

Die Menschenrettung, Lageerkundung und Brandbekämpfung stehen bei den Maßnahmen der Feuerwehr im Vordergrund. Diese werden durch den Brandrauch behindert. Dies kann dazu führen, dass das Prinzip "Retten, Löschen, Bergen" in das Prinzip "Löschen um zu Retten" überführt werden muss. [Gegenhuber 2014]

A2 EISENBAHTUNNELBRÄNDE - SZENARIEN

Prinzipiell können Brände in Eisenbahntunneln durch Entgleisungen/Kollisionen, technische Defekte und kriminelle bzw. terroristische Handlungen ausgelöst werden [Sung-Wook and Hang 2009]. Dabei treten Gefährdungen der Personen neben eventuellen Schäden durch mechanische Einwirkungen vor allem durch den Brandrauch und die Energiefreisetzung des Brandes auf.

Im Folgenden wird sich auf das Einsatzszenario "Brand" beschränkt.

Das allgemeine Einsatzszenario für einen Brand wird durch den vfdb wie folgt vorgegeben:

Brand eines Reisezuges in einer Tunnelanlage:

- Ein Reisezug (Länge etwa 400m) steht mittig in einem 1000m langen Tunnelabschnitt.
- Ein Feuerwehreinsatz ist nach von zwei entgegengesetzt liegenden Tunnelportalen /Notausgängen möglich.
- In der Mitte des Zuges kommt es in einem Wagen (Länge etwa 26m) zu einem Entstehungsbrand.
- Löschversuche seitens des Zugpersonals sind ohne Erfolg
- Gemäß der Vereinbarung der Innenminister der Länder mit der Deutschen Bahn AG ist mit dem Eintreffen der Feuerwehr am Tunnelportal/Notausgang nach etwa 15min zu rechnen.
- Ein Durchzünden des Wagens in 7-10min nach Brandbeginn ist nicht auszuschließen.
- Bei Eintreffen der Feuerwehr wird von einem Vollbrand des Wagens ausgegangen.
- Der Tunnel ist verraucht.
- Es wird von einer mittleren Besetzung von etwa 300 Personen (max. 670 Reisende bei voller Belegung der Sitzplätze möglich) ausgegangen.
- 90% der Reisenden können sich selbst oder mit Hilfe, 10% der Reisenden, also etwa 30 Personen, müssen von der Feuerwehr gerettet werden (15 zu jedem Portal- bzw. Notausgang).

- Jeweils 5 Personen pro Richtung sind nicht mehr gehfähig.
- Alle zu rettenden Personen müssen gegen Atemgifte geschützt werden.

A3 MODELLIERUNG DER BRANDRAUCHAUSBREITUNG AM BEISPIEL DES BAUMLEITETUNNELS

A3.1 Überblick zur Brandrauchausbreitung in Tunneln

Um sich ein Bild von den Vorgängen der Rauchausbreitung im Brandfall in einem Tunnel mit natürlicher Lüftung zu machen, soll ein kurzer Literaturüberblick vorgenommen werden.

Dies ist insbesondere für die Lagebeurteilung ein wichtiger Ansatzpunkt, um zu ermitteln, welche Seite als Angriffsweg für die Feuerwehr möglichst rauchfrei ist.

Viele der in den letzten Jahren vorgenommenen Versuche und Simulationsrechnungen konzentrierten sich auf die Straßentunnel. In der Regel werden dort Lüftungssysteme zur Belüftung der Tunnelanlagen eingesetzt, die zur Einhaltung von Luftqualitätsparametern für die Autofahrer notwendig sind. Im Brandfall werden sie entsprechend gesteuert, um die Selbstrettung und den Angriff der Feuerwehr zu ermöglichen. Nach [Yokota and Kawabata 2012] werden folgende Lüftungstechnologien genutzt:

I) Natural ventilation	ii) Longitudinal method	iii) Transverse/semi-transverse methods	iv) Point extraction method
			
(Smoke exhaust method) Smoke is exhausted from portals	(Smoke exhaust method) Smoke is exhausted from portals by ventilators in the tunnel.	(Smoke exhaust method) Smoke is exhausted from ventilation stations through ducts in the ceiling.	(Smoke exhaust method) Smoke is exhausted from ventilation stations through exhaust vents and ducts in the ceiling
(Characteristics) It cannot control smoke	(Characteristics) Cannot exhaust smoke when cars are stopped downstream (congestion)	(Characteristics) Requires air ducts in longitudinal direction of tunnel	(Characteristics) • Requires air exhaust ducts in longitudinal direction of tunnel. • Improves smoke exhaust effects combined with longitudinal flow air control.

Abbildung A3.1: Lüftungsregime für Straßentunnel nach [Yokota and Kawabata 2012]

In Eisenbahntunneln werden bei entsprechender Länge Lüftungstechnologien z.B. zur Sicherung der Luftqualität eingesetzt, wenn Verbrennungskraftmotoren die Lokomotive antreiben.

Ebenso ist dies notwendig, wenn Notausstiegsbahnhöfe in den Tunnelanlagen eingesetzt werden, um die Personenrettung zu ermöglichen (siehe z.B. [Tarada 2000b]).

Oft wird aber eine natürliche Belüftung benutzt. So wie es auch für die Tunnelbauten der ICE-Strecke - von Ebensfeld (Bayern) nach Erfurt (Thüringen) der Fall ist.

Dazu ist zu bemerken, dass die Lüftung des Tunnels bei natürlicher Lüftung vor allem von den Druckdifferenzen der Tunnelleingänge abhängt. Diese werden durch die Temperatur und Windgeschwindigkeiten am Tunnelleingang bzw. -ausgang bestimmt, so dass tages- und jahreszeitliche Änderungen der Durchströmrichtung möglich sind.

Ein Hauptuntersuchungsgegenstand ist die s.g. "kritische Geschwindigkeit". Dies ist die Lüftungsgeschwindigkeit, bei der eine Rückströmung des Brandrauchs gegen die Hauptströmungsrichtung verhindert wird. Damit soll garantiert werden, dass zumindest in der Luvseite des Brandes sich ein brandrauchfreier Bereich befindet, der zur Selbstrettung und als Angriffsweg der Feuerwehr genutzt werden kann. Sie liegt in der Größenordnung von 2 - 3m/s für waagerechte Tunnel und ist von verschiedenen Faktoren abhängig.

[Van Maele and Merci 2007] untersuchten mittels FDS-Simulationen die Rauchgasausbreitung infolge natürlicher Konvektion in Eisenbahntunneln ohne Eisenbahnwagen bei verschiedenen Steigungen und Windbedingungen am Tunneleingang.

Folgendes konnte ermittelt werden:

- In der Startphase des Brandes hatte die Länge des Tunnels keinen Einfluss auf die örtliche Rauchbewegung. Der Anstieg des Tunnels kann bis zur Steigung von 10% vernachlässigt werden.
- Äußere Windströmungen können sowohl zu rauchfreien Wegen auf der Luvseite als auch zur Verrauchung führen. Abhängig ist dies von der Windrichtung am Eingang.
- Querwinde führen zum Unterdrücken und "Heraussaugen" des Rauchs. Im Allgemeinen sind die Ausbreitungsrichtungen des Rauchs schwer einzuschätzen und damit auch schwer zu kontrollieren.

[Chow et al. 2015] nutzten sowohl FDS-Simulationen als auch Modellversuche, um die Rauchausbreitung in geneigten Tunneln im Bereich von 0° bis 9° Neigungswinkel und zusätzlicher Ventilation zu untersuchen. Es wurde festgestellt, dass die kritische Geschwindigkeit zur Verhinderung eines Backlayering, d.h. dass der Rauch sich entgegen der Strömungsrichtung der Lüftung ausbreiten kann, höher als für horizontale Tunnel ist. Sie konnten das von [Tso and Chow] sowie [Atkinson and Wu] in kleinskaligen Experimenten bestimmte Verhalten bestätigen.

[Fan et al. 2015] untersuchten den Einfluss der Position des Brandes auf die kritische Ventilationsgeschwindigkeit sowie auf die maximale Brandrauchtemperatur.

Die kritische Ventilationsgeschwindigkeit verringert sich mit abnehmendem Abstand zum Tunnelausgang. In kleinskaligen Experimenten konnten sie nachweisen, dass keine offensichtliche Beeinflussung der maximalen Brandrauchgastemperatur existiert.

[Tarada 2000a] untersuchte den wichtigen Fall der Verrauchung der Seitenfluchtstollen im Fall eines Brandes. Er entwickelte ein einfaches Modell und empfahl CFD-Rechnungen zum Nachweis der Rauchfreiheit. Es wurde eine Formel für die kritische Geschwindigkeit zur Rauchfreihaltung des Querrettungstollens entwickelt.

Zur Vorbereitung der Lageerkundung und -einschätzung durch die Feuerwehr werden im Folgenden numerische Simulationen mit dem Fire Dynamics Simulator (FDS) vom NIST-USA durchgeführt, um die Brandrauchausbreitung im Tunnel Baumleite als Ergänzung des schon bestehenden Rettungskonzepts für diesen Tunnel einzuschätzen. Gegebenenfalls müsste die Vorgehensweise auf andere Tunnel übertragen werden. Die Brandbekämpfung wird nicht betrachtet. Hier sind ebenfalls bei Notwendigkeit weitere Betrachtungen anzustellen. Die Vorgehensweise kann analog der Arbeiten von [Ingason et al. 2001], [Kohl et al. 2005] gewählt werden. Ebenso ist anzuraten, eine Evakuierungsmodellierung vorzunehmen, damit die Feuerwehr abschätzen kann, ob das Selbstrettungsprinzip funktioniert oder ob gegebenenfalls die Maßnahmen der Fremdrettung für eine größere Anzahl von Personen geplant werden müssen.

A3.2 Topologische Lagebeschreibung

Der Tunnel Baumleite durchquert zwischen Grümpen und Truckenthal den dem Thüringer Wald vorgelagerten Höhenrücken der Baumleite. Er ist ca. 1300m lang und besitzt eine geringe Steigung von 1,25% [Spöndlin and Roßteuscher 2013]. In Abbildung A3.2 ist ein Lageplan mit Seiten- und Draufsicht des Tunnels zu sehen.

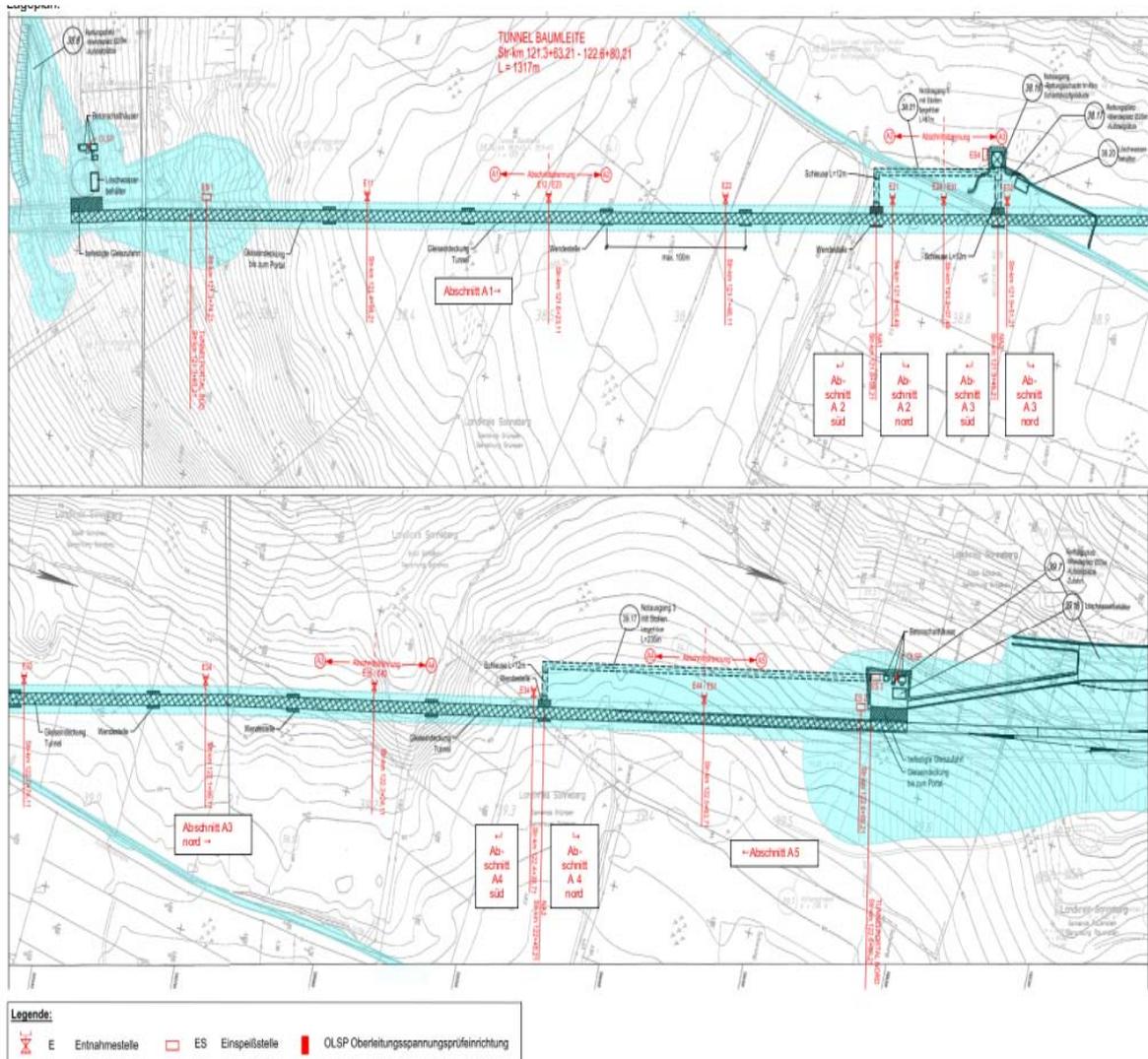


Abbildung A3.2: Seiten- und Draufsicht des Baumleitentunnels [Spöndlin and Roßteuscher 2013]

Es kann nach [Spöndlin and Roßteuscher 2013] davon ausgegangen werden, dass durch die Neigung eine natürliche Lüftung vorliegt.

A3.3 CFD-Simulationen zur Brandrauchausbreitung mit FDS

Die folgenden Ergebnisse dienen vor allem zum "Understanding Fire and Smoke Flow Through Modeling and Visualisation" [Forney et al. 2004], d.h. zum Verstehen der strömungsmechanischen Verbrennungsprozesse bei einem Tunnelbrand. Die Berechnungen wurden nicht verifiziert und validiert.

Den durchgeführten Simulationen zur Rauchausbreitung infolge eines Brandes liegen, ausgehend vom Brandszenarium für Eisenbahntunnel der vfdb, folgende Angaben zugrunde:

- ein Zug mit 4 Waggons kommt im Tunnel zum Stehen,
- ein Waggon in der Mitte brennt,
- langsame Brandentwicklung in den ersten 10 Minuten,
- Intensivierung des Brandes nach 10 Minuten durch Übergreifen des Brandes auf benachbarte Flächen.

Um Simulationsrechnungen durchzuführen zu können, müssen bestimmte Parameter und Randbedingungen definiert werden. Ein wesentlicher Parametersatz einer Simulation ist die Angabe des räumlichen und zeitlichen Verlaufs der Energie- und Brandrauchfreisetzung. Da im Allgemeinen diese Parameter nicht bekannt sind, bzw. deren Berechnung sehr aufwendig ist, werden so genannte "design fires - Brandszenarien" genutzt.

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes Fire in Tunnel (FIT) fasste [Haack et al. 2004] wesentliche Informationen zu Brandszenarien für Straßen-, Eisenbahn- und U-Bahntunnel zusammen. An dem von ihm vorgeschlagenen Brandszenarium für Eisenbahntunnel wird sich orientiert und an das vfdb-Brandszenario angepasst.

Für die Energiefreisetzungsrates wird nach [Haack et al. 2004] folgender Verlauf angenommen.

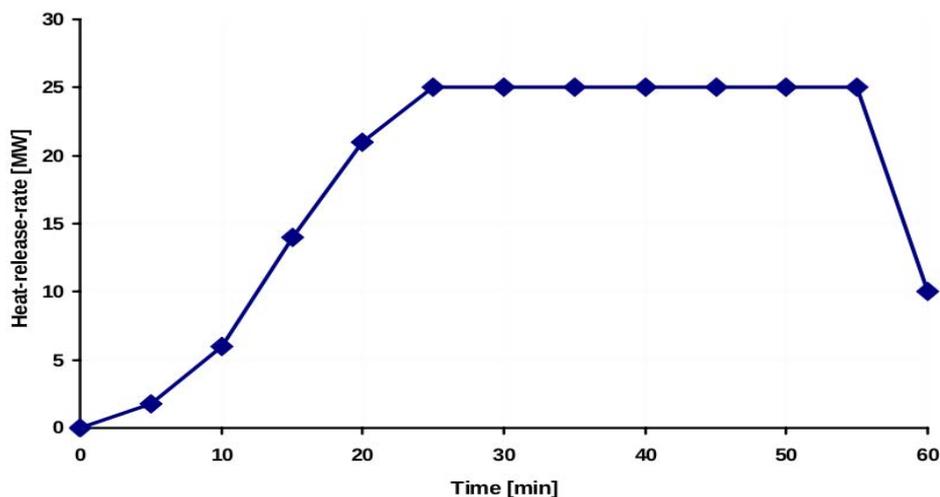


Abbildung A3.3: Verlauf der Energiefreisetzungsrates eines Personentransportwaggons nach [Haack et al. 2004]

Es wird die (nicht vollständige) Verbrennung von Heptan nach der Einschritt-Reaktionsgleichung



für die chemische Reaktion zugrunde gelegt und für die Rauchgasproduktion der konstante Massenanteil der Reaktionsprodukte als Quellterm verwendet. Die Größen $\nu_{O_2}, \nu_{CO_2}, \nu_{H_2O}, \nu_{CO}, \nu_S$ in Gleichung A3.1 sind die jeweiligen stöchiometrischen Koeffizienten der Rauchgasbestandteile. Sie ergeben sich unter Berücksichtigung spezifischer Vorgaben von Rauchgasbestandteilen wie z.B. CO an der Brandquelle. Der Ruß blieb in den Untersuchungen unberücksichtigt.

Für die nachfolgenden Abschätzungen der Brandrauchausbreitung wird weiterhin davon ausgegangen, dass

- die maximale Heat Release Rate (HRR) von 25MW nach ca. 25 Minuten erreicht wird und
- eine konstante Luftströmung innerhalb des Fahrtunnels als Anfangsbedingung (Grundströmung) vorliegt.

FDS-Berechnungen zur Brandrauchausbreitung in einem Tunnelabschnitt

Die Berechnungen wurden für die Geometrie des Baumleitetunnels durchgeführt. Dieser ist 1317m lang und weist eine Steigung von 1,25% in Richtung Norden auf. Die FDS-Berechnungen wurden für den Brand im Fahrtunnel durchgeführt. Die Rettungstollen blieben zunächst unberücksichtigt.

Ausgehend von den Erkenntnissen von [Van Maele and Merci 2007] über den Einfluss der Tunnellänge in der Anfangsphase des Brandes wurden die Berechnungen im ersten Schritt auf einen Abschnitt des Tunnels von 130m Länge begrenzt, so dass die Berechnungszeiten verkürzt werden konnten.

Ein Parameter, der Einfluss auf die Rauchausbreitung hat und in der Simulation variiert wird, ist die Richtung der Grundströmung. Für die nachfolgenden Simulationen werden die Grundströmung parallel zur Tunnellängsachse vorausgesetzt und die 2 verschiedenen Berechnungsfälle der

- Brandgasausbreitung bei Grundströmung in Richtung der Steigung (Berechnungsfall A),
 - Brandgasausbreitung bei Grundströmung in Richtung des Gefälles (Berechnungsfall B)
- untersucht.

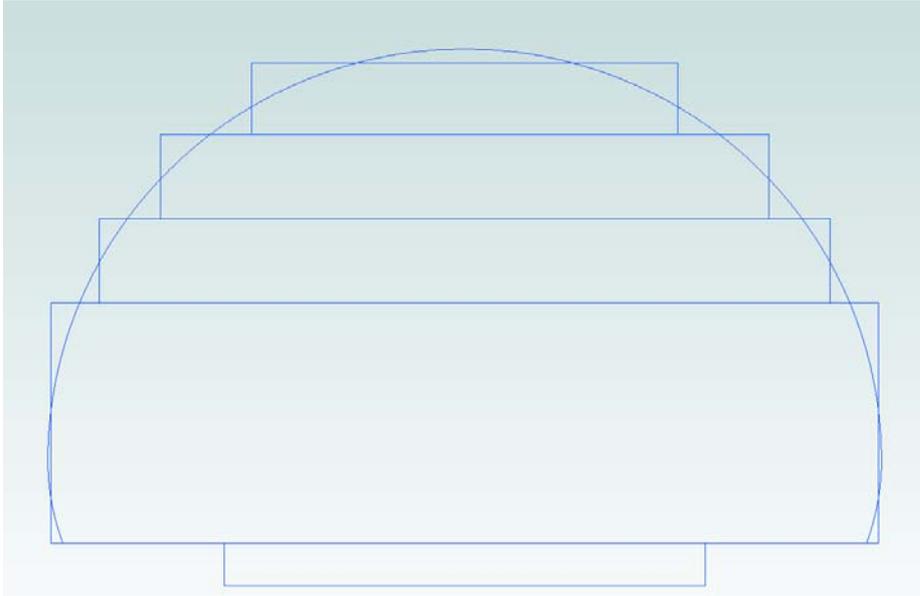


Abbildung A3.5: Gegenüberstellung von realem und approximiertem Tunnelquerschnitt

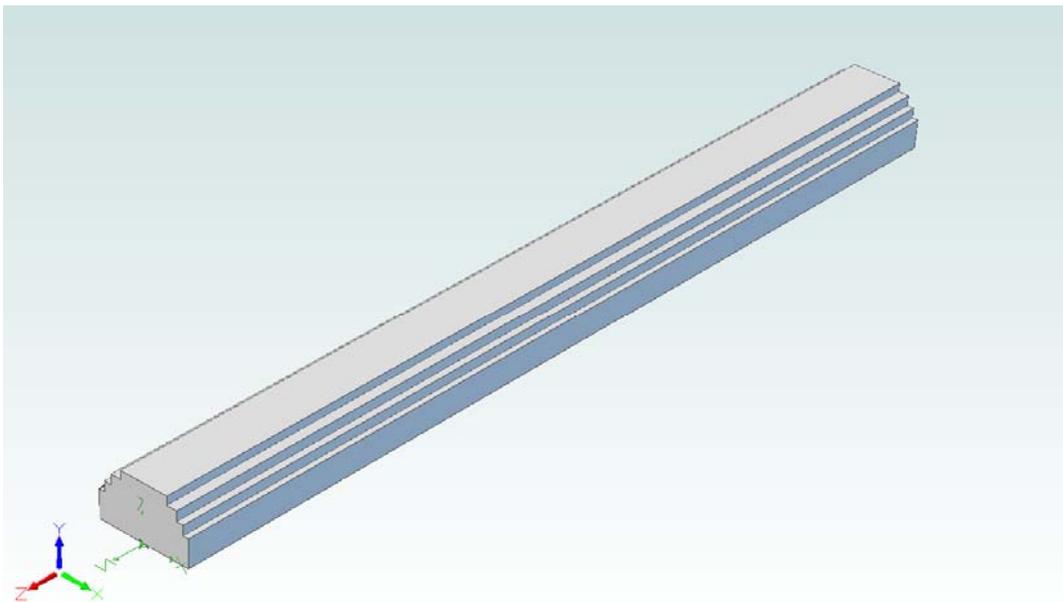


Abbildung A3.6: Tunnelkörper für die FDS-Strömungsberechnung

Der äußere Rand des Berechnungsgebietes ergibt sich aus der Innenkontur des Tunnels und der Tunnellänge von 130m wie in Abbildung A3.6 dargestellt. Damit wird nur ein Teil der realen Tunnellänge simuliert.

Komplettiert wird die Berechnungsgeometrie durch Einbeziehung der im Tunnel stehenden 4 Waggon von jeweils 26m Länge, 4m Höhe und 2,8m Breite, von denen an einem Waggon die Brandquelle positioniert ist. Die vollständige Berechnungsgeometrie zeigt Abbildung A3.7. Den Blick vom Südportal in das Innere des Tunnels mit der Vernetzung des Querschnittes zeigt Abbildung A3.8. Der Querschnitt wurde in 68 x 36 Zellen unterteilt, was einer Zellenlänge von 0,2m entspricht. In Tunnellängsachse liegt mit 324 Zellen eine etwas gröbere Detaillierung vor. Das räumliche Gitter weist damit 793.152 Volumenelemente auf.

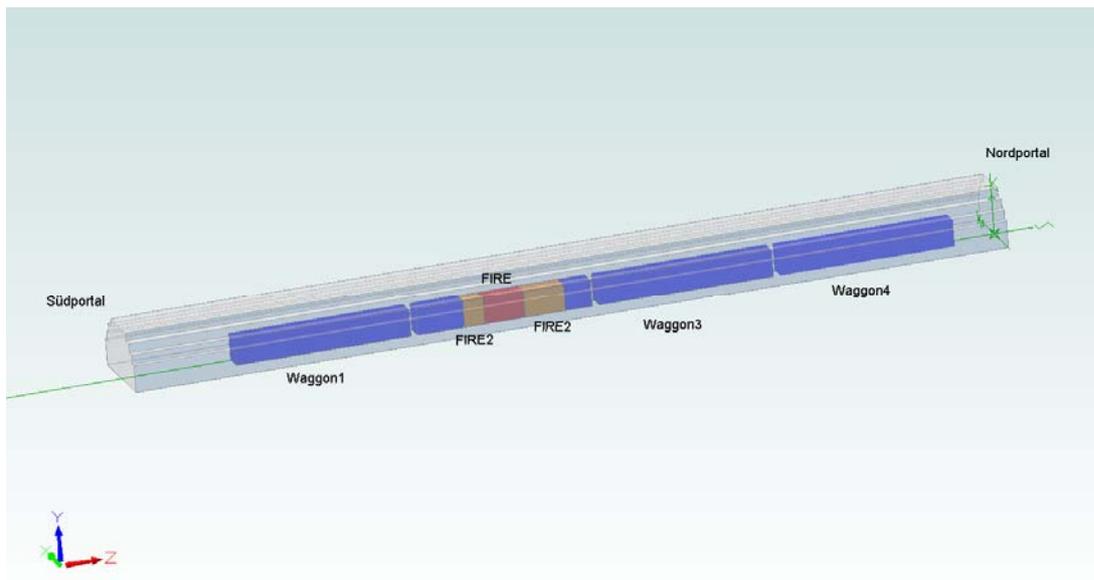


Abbildung A3.7: Berechnungsgeometrie für die FDS-Simulationen des Tunnelabschnittes

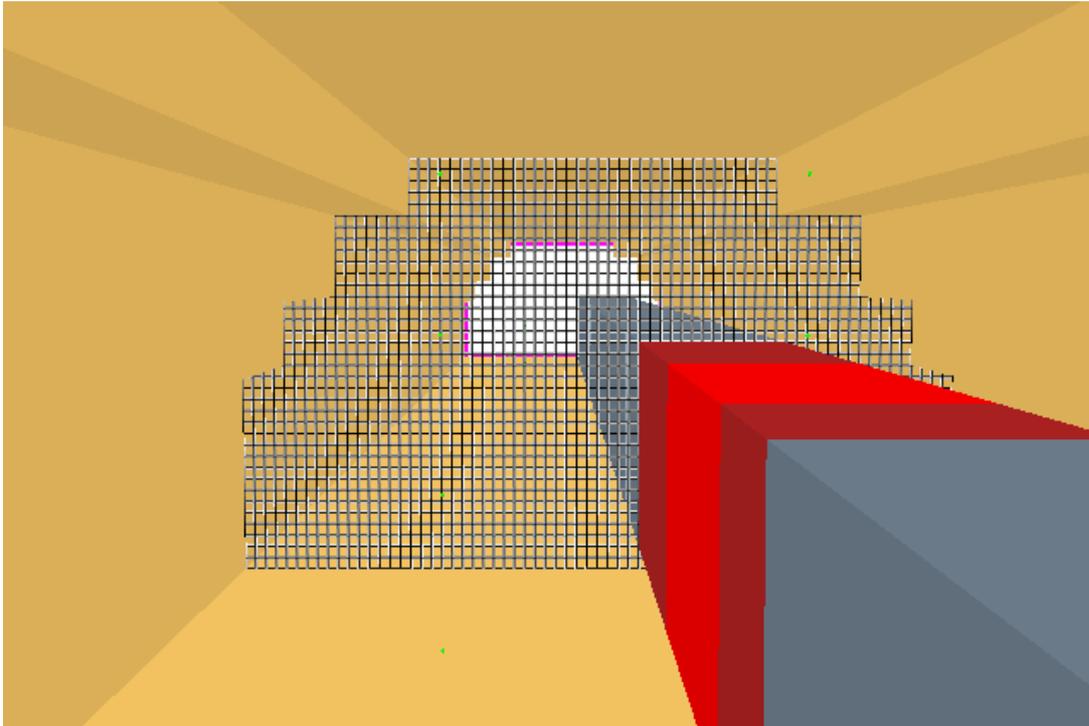


Abbildung A3.8: Modell der Tunnelgeometrie und Vernetzung des Querschnittes - Blick in den Tunnel in Richtung Nordportal

Randbedingungen

Die Berechnungen für das konkrete Brandszenario folgen aus den Randbedingungen, d. h. aus den physikalischen Größen an den Rändern des Berechnungsgebietes.

Ränder sind dabei der Querschnitt bei $Z=-70\text{m}$ (Südportal), der Querschnitt bei $Z=60\text{m}$ (Nordportal) sowie die Brandflächen an Waggon 2 (Brandquelle).

Es sollen Berechnungen für zwei entgegengesetzt gerichtete Grundströmungen parallel zur Z-Achse des Tunnels durchgeführt werden. Diese Grundströmung wird als konstant über den gesamten Querschnitt angesehen. Die Steigung des Tunnels in Richtung Nordportal wird durch Anpassung der Gravitationskraft berücksichtigt und ist in beiden Fällen gleich.

Tabelle A3.1: Randbedingungen für Berechnungsfall A und B

Name des Randes	Randbedingung	Lage Fall A	Lage Fall B
Einströmrand	$T=15^{\circ}\text{C}$ $\dot{V}=150\text{m}^3/\text{s}$ $Y_{\text{O}_2}=0,2312,$ $Y_{\text{N}_2}=0,7630,$ $Y_{\text{H}_2\text{O}}=0,0052,$ $Y_{\text{CO}_2}=0,0006$	Z=-70m (Südportal)	Z=60m (Nordportal)
Offener Rand (OPEN)	Freie Ausströmung	Z=60m (Nordportal)	Z=-70m (Südportal)
Brandfläche 1	$\dot{q}'' = 150\text{kW} / \text{m}^2$ $Y_{\text{CO}_2}=0,1896,$ $Y_{\text{N}_2}=0,7158,$ $Y_{\text{H}_2\text{O}}=0,0939,$ $Y_{\text{CO}} = 0,0006$	Brandfläche 1 Mittig Waggon 2 A=64,8m ²	Brandfläche 1 Mittig Waggon 2 A=64,8m ²
Brandfläche 2	$\dot{q}'' = 150\text{kW} / \text{m}^2$ $Y_{\text{CO}_2}=0,1896,$ $Y_{\text{N}_2}=0,7158,$ $Y_{\text{H}_2\text{O}}=0,0939,$ $Y_{\text{CO}} = 0,0006$	Brandfläche 2 Anschließend an Brandfläche 1 A=(64,8+32,4)m ²	Brandfläche 2 Anschließend an Brandfläche 1 A=(64,8+32,4)m ²

Eine Zusammenstellung der Randbedingungen für die beiden Berechnungsfälle, den Berechnungsfall A mit einer Grundströmung in Richtung Z-Achse (bergauf) und einem Berechnungsfall B mit der Grundströmung entgegen der Z-Achse (bergab) ist in Tabelle A3.1 zu sehen.

Für die Rauchgasfreisetzung an der Brandquelle wurde das Massenverhältnis von Brennstoff zu CO, das als CO_YIELD bezeichnet wird, in der Größe von 0,145 vorgegeben. Dies entspricht einer CO-Freisetzung nach [Haack 2004] von 3330mg/MW. Die Massenanteile der Brandgasbestandteile ergeben sich mit diesem CO_YIELD und der Reaktionsgleichung (A3.1) zu den in der Tabelle A3.1 angegebenen Werten und werden als konstanter Quellterm für die Rauchgasfreisetzung verwendet. Für die Wärmefreisetzungsrates (HRR) wird an der Brandquelle

eine Wärmestromdichte von 150kW/m^2 vorgegeben. Daraus ergibt sich für die durch Gleichung (A3.1) mit dem CO_YIELD beschriebene Heptanverbrennung eine Massenstromdichte von $3,37 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s}$ Heptan, aus der die Massenströme der Produkte folgen.

Die Wärmestromdichte an den Brandquellen wurde zeitlich veränderlich vorgegeben, um eine charakteristische Brandentwicklung nach [Haack et al. 2004] zu simulieren. In FDS ist das mittels sogenannter RAMP-Funktion möglich. Tabelle A3.2 zeigt die Parameter dieser Zeitfunktionen.

Tabelle A3.2: Zeitfunktion für die HRR an den Brandquellen FIRE und FIRE2

FIRE		FIRE2	
t in s	\dot{q}'' in kW/m ²	t in s	\dot{q}'' in kW/m ²
0	0	0	
300	30	480	0
600	45	600	30
900	120	900	60
1200	135	1200	120
1500	150	1500	150
1800	150	1800	150
3000	150	3000	150

Als FIRE wird die mittig am Waggon positionierte Brandquelle bezeichnet und FIRE2 ist die nach dem angenommenen Feuerübersprung hinzukommende Brandfläche.

Anfangsbedingungen

Weiterhin sind für die numerischen Berechnungen Anfangsbedingungen zu wählen, d. h. die physikalischen Größen für jede Zelle zum Zeitpunkt $t=0$.

Für die Grundströmung innerhalb des Tunnels wurden für die Geschwindigkeit $v=1,5\text{m/s}$, für die Temperatur $T=15^\circ\text{C}$ und für die Massenkonzentrationen von Sauerstoff und Stickstoff $Y_{\text{O}_2}=0,23$ und $Y_{\text{N}_2}=0,76$ als Anfangswerte für das gesamte Gebiet vorgegeben.

Berechnungsergebnisse

Die Simulationen wurden für beide Berechnungsfälle über eine Branddauer von 30 Minuten durchgeführt. Dies entspricht einer Lage, die die Feuerwehr nach 30 Minuten vorfindet.

Standardmäßig wird die Energiebilanz über den Simulationsverlauf protokolliert, optional können Berechnungsgrößen als Zeitfunktionen aufgezeichnet werden. Abbildung A3.9 zeigt den zeitlichen Verlauf der vorgegebenen HRR für die Simulation.

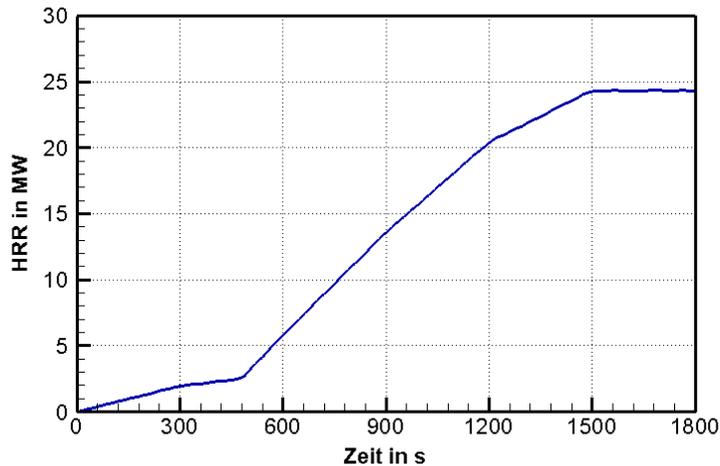


Abbildung A3.9: Vorgegebener Verlauf der HRR für Berechnungsfall A

Mit dem Visualisierungstool Smokeview, das zur grafischen Darstellung der Ergebnisse der FDS-Berechnungen entwickelt wurde, lassen sich die Berechnungsgrößen anschaulich darstellen.

Nachfolgend werden die berechneten Konzentrationsverteilungen in verschiedenen Tunnelquerschnitten dargestellt sowie für verschiedene Messpunkte im Tunnel die zeitliche Konzentrationsänderung. Für die grafische Auswertung wurden Schnittebenen in der XY-Ebene (Querschnitt des Tunnels) sowie in der YZ-Ebene (Längsschnitt des Tunnels mittig auf der Fahrspur) festgelegt. Die Querschnittsebenen befinden sich bei $Z=-40\text{m}$, $Z=-14\text{m}$, $Z=14\text{m}$ und $Z=40\text{m}$ (siehe Abbildung A3.10) und Längsschnittebenen bei $X=2,25\text{m}$ bzw. $X=-2,25\text{m}$ (jeweils Gleismitte).

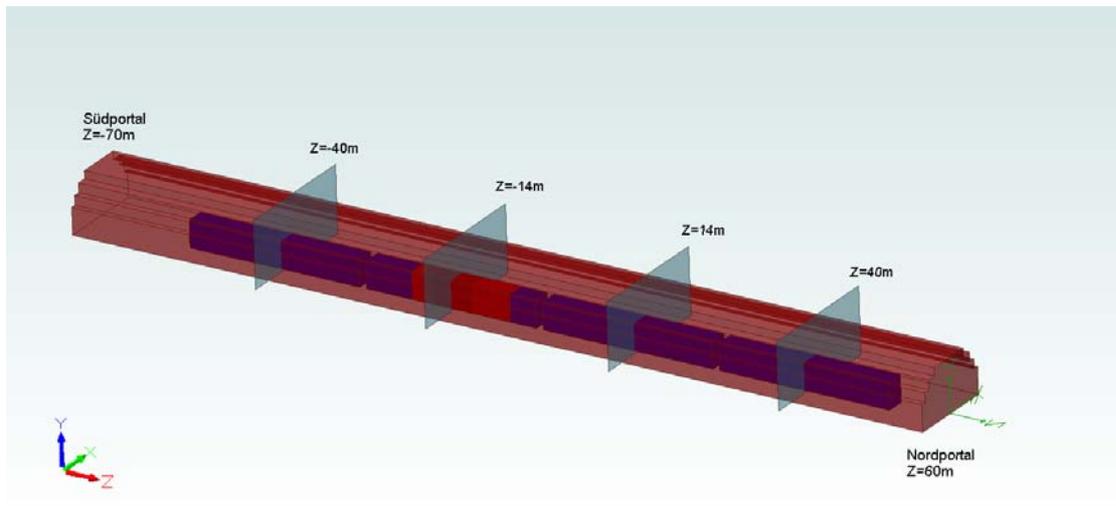


Abbildung A3.10: Lage der Querschnittsebenen für die grafische Darstellung von Konzentrations- und Temperaturverteilungen

Abbildung A3.11 zeigt die Anfangsverteilung der CO_2 -Konzentration in der Querschnittsebene bei $Z=-40\text{m}$. Von Interesse sind hier die grün gekennzeichneten Sensorpunkte, die zur Beurteilung der Verrauchung des Tunnelquerschnitts platziert wurden. Sie befinden sich in den 4 Querschnittsebenen in 7m, 5m, 3m und 1m Höhe jeweils mittig über der Fahrspur des freien Gleises sowie in 7m und 5m Höhe auf der Zugseite. An diesen Punkten werden die Konzentrationsänderungen als Funktion der Branddauer erfasst.

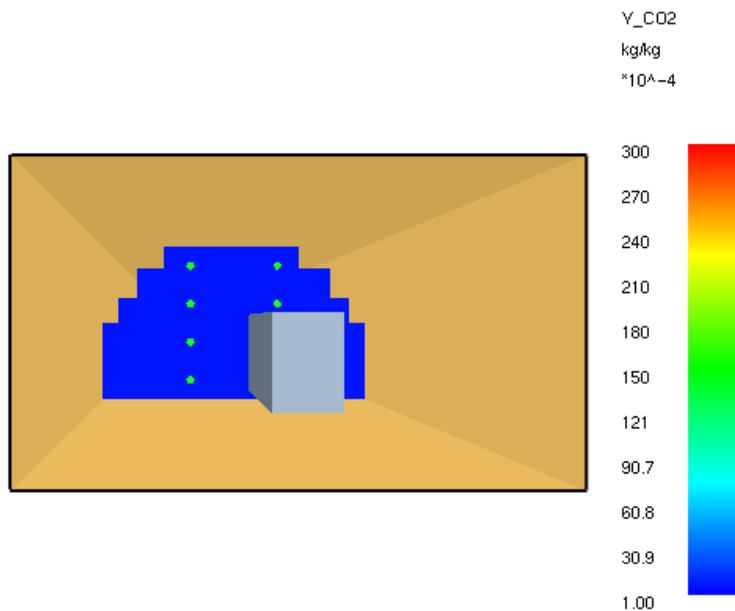


Abbildung A3.11: CO_2 -Konzentration zum Zeitpunkt $t=0$ in Querschnittsebenen $Z=-40\text{m}$ und Lage der Sensorpunkte

Brandrauchausbreitung bei Grundströmung in Richtung der Steigung

In Abbildung A3.12 sind die Konzentrationsverteilungen von CO₂ nach 30 Minuten in einer Querschnittsebene bei Z=14m, d.h. 28m von der Mitte der Brandquelle in Strömungsrichtung entfernt, dargestellt.

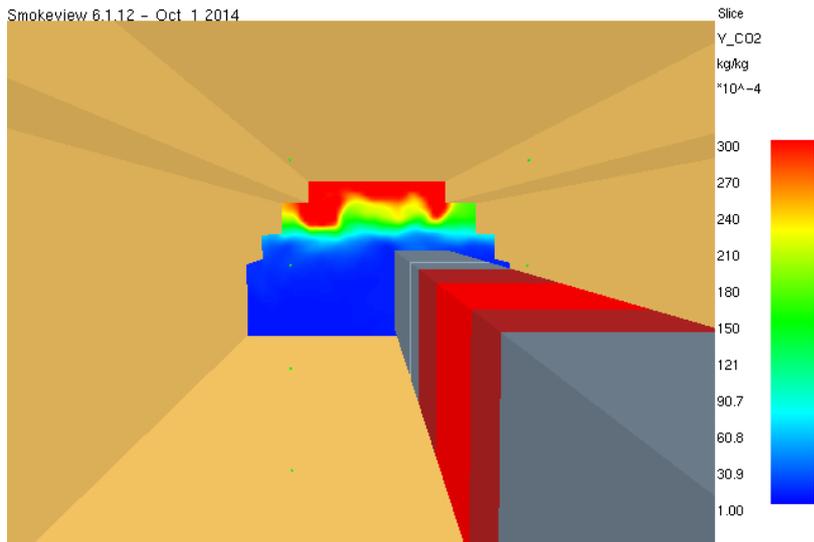


Abbildung A3.12: CO₂-Konzentration (Massenbruch) in Ebene Z=14m

Abbildung A3.13 zeigt die CO₂-Konzentrationen in einem Längsschnitt durch den 130m langen Tunnelabschnitt bei X=2,2m (freie Gleisseite) nach 30 Minuten.

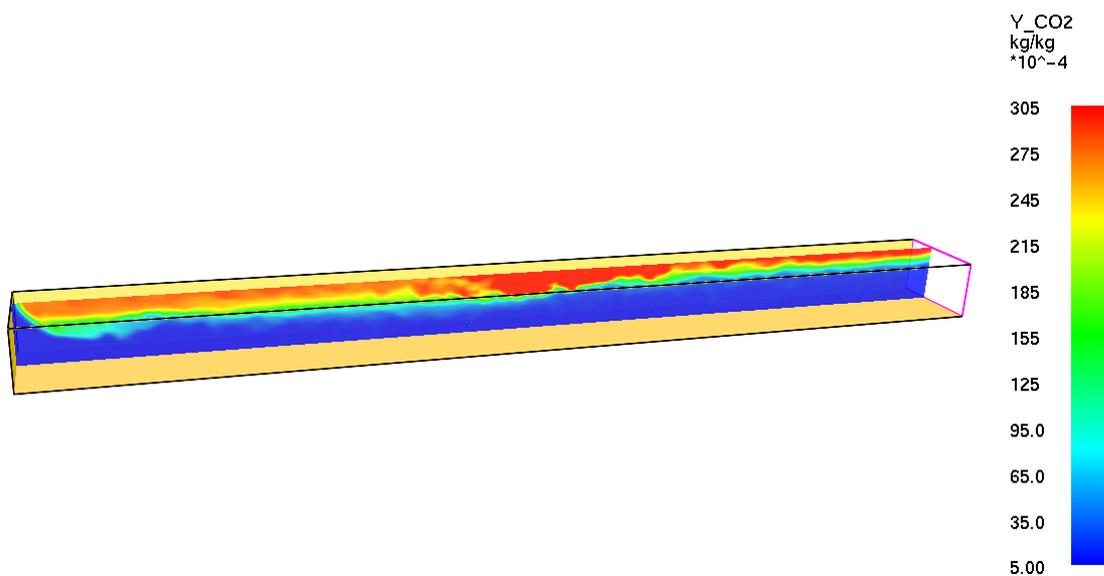


Abbildung A3.13: CO₂-Konzentration (Massenbruch) in Schnittebene X=2,2m (freie Gleisseite) nach 30 Minuten für Berechnungsfall A (Südportal links, Nordportal rechts)

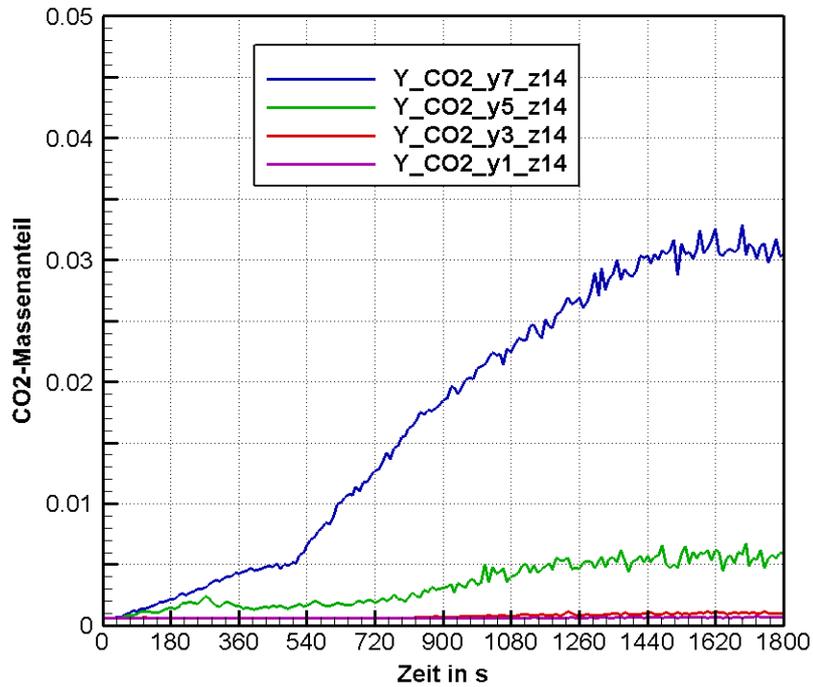


Abbildung A3.14: Zeitliche Entwicklung der CO₂-Konzentration an den Messpunkten in 7m, 5m, 3m und 1m Höhe in Schnittebene Z=14m und für X=2,2m

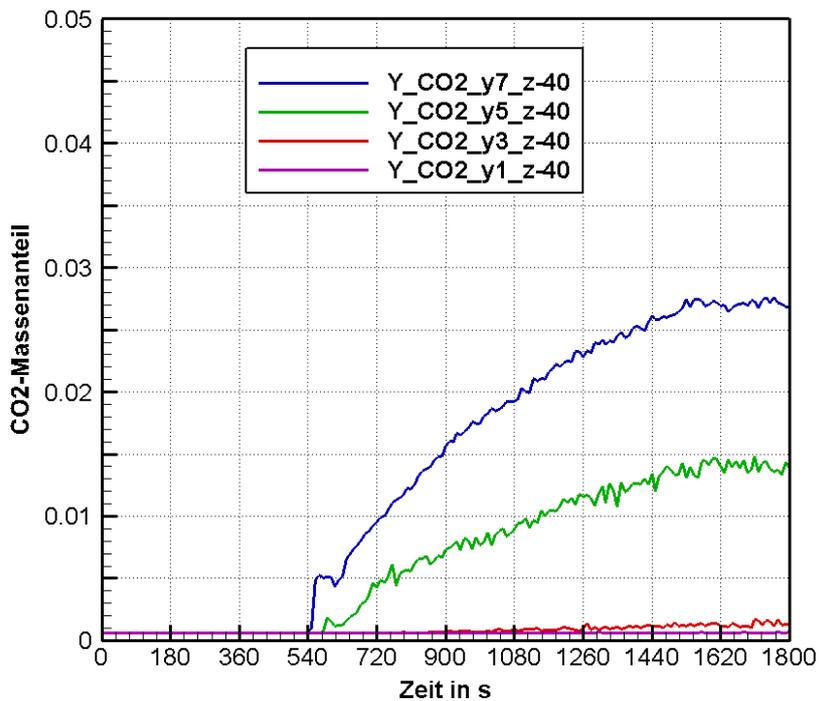


Abbildung A3.15: CO₂-Konzentrationen in Schnitteben Z=-40m an Messpunkten in 7m und 5m Höhe

In Abbildung A3.14 ist ein XY-Plot der Konzentrations-Zeitfunktion für 4 verschiedene Messpunkte in der Querschnittsebene bei $Z=14\text{m}$ dargestellt. Die Ebene $Z=14\text{m}$ befindet sich ca. 28m von der Brandquelle in Strömungsrichtung entfernt. In Abbildung A3.15 ist der XY-Plot für die Messpunkte in Ebene $Z=-40\text{m}$, die sich 54m vom Brand entfernt in entgegengesetzter Richtung befindet, zu sehen.

Bereits aus Abbildung A3.13 ist erkennbar, dass sich die Rauchgasschicht auch entgegengesetzt zur Richtung der Grundströmung ausbreitet. Zum Zeitpunkt der Intensivierung des Brandes nach 540s bildet sich auch in den Bereichen hinter der Brandquelle eine Rauchgasschicht an der Decke aus. Die erzielten Konzentrationen sind nach 30 Minuten noch geringer als die in Strömungsrichtung vorhandenen, die Schicht erreicht aber eine größere Mächtigkeit. Dies belegen auch die XY-Plots für die Konzentrationswerte in den Querschnittsebenen bei $Z=14\text{m}$ und $Z=-40\text{m}$ in den Abbildungen A3.14 und A3.15.

Im Tunnel bildet sich eine Rauchgasschicht an der Tunneldecke aus, die nach 30 Minuten eine Mächtigkeit von ca. $2,5\text{m}$ erreicht hat. Die maximale CO_2 -Konzentration beträgt 3% (Massenprozent). Bis zur Branddauer von 30 Minuten sind bis zur Tunnelhöhe von 5m nur geringe CO_2 -Konzentrationen vorhanden, vor allem in Strömungsrichtung, so dass von der Brandquelle in Richtung Nordportal eine raucharme Schicht vorhanden ist.

Das Szenarium des Berechnungsfalles A erweist sich bis zur Branddauer von 30 Minuten hinsichtlich der Verrauchung als nicht kritisch, da eine raucharme Schicht ausreichender Mächtigkeit vorhanden ist.

Das veranschaulichen auch die grafischen Darstellungen der CO_2 -Konzentrationsverteilungen nach 30 Minuten Branddauer in den 4 Querschnitten entlang der Tunnellängsachse bei $Z=-40\text{m}$, $Z=-14\text{m}$, $Z=14\text{m}$ und $Z=40\text{m}$ (vgl. Abb. A3.10) in den folgenden Abbildungen A3.16 bis A3.19. In den Abbildungen ist der Konzentrationsbereich von $0,01$ bis $0,1$ Massenprozent dargestellt und die Verteilung farblich gekennzeichnet. Die eingezeichneten Linien sind Isowerte der Konzentration.

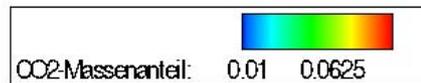
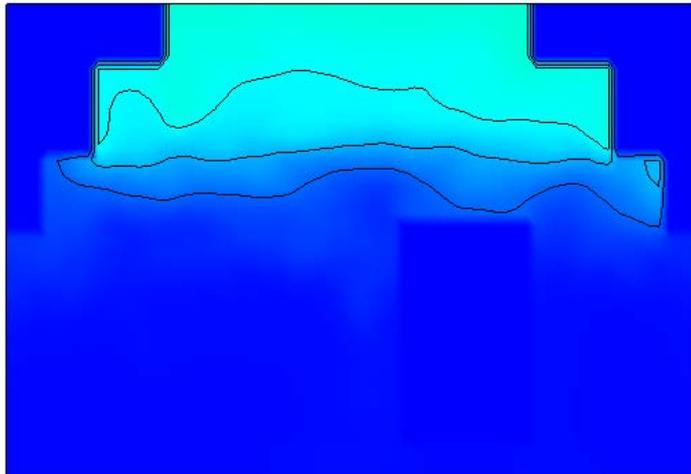


Abbildung A3.16: CO₂-Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei Z=-40m
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall A

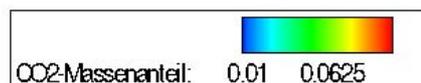
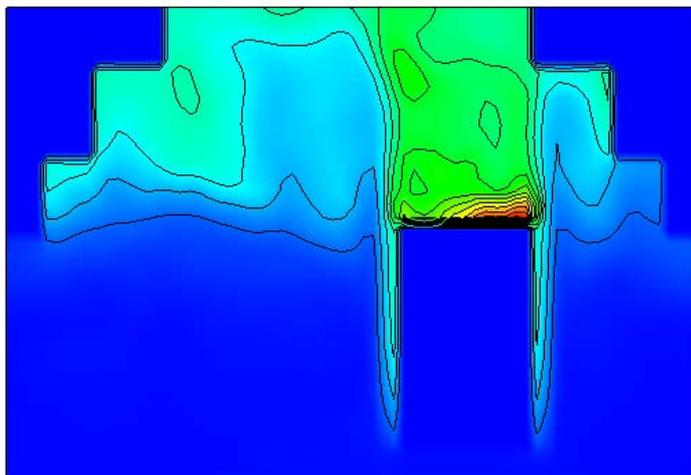


Abbildung A3.17: CO₂-Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei Z=-14m
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall A

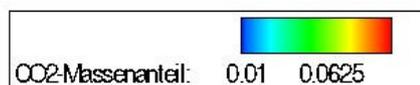
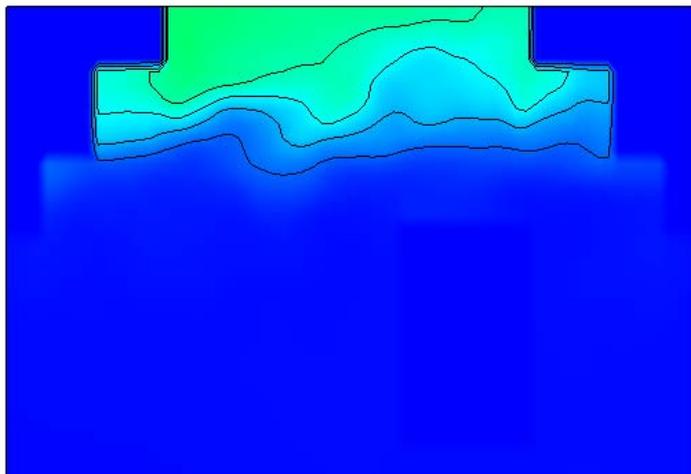


Abbildung A3.18: CO₂-Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei Z=14m
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall A

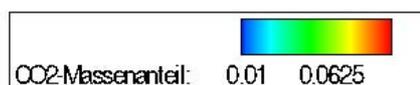
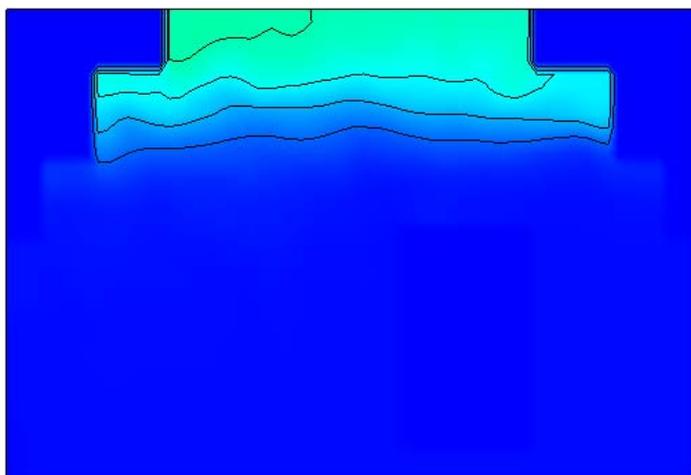


Abbildung A3.19: CO₂-Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei Z=40m
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall A

Brandrauchausbreitung bei Grundströmung in Richtung des Gefälles

Der Berechnungsfall B stellt einen Brand gleicher Intensität dar, bei dem eine Grundströmung entgegengesetzter Richtung vorhanden ist (Strömung in Richtung Südportal). Abbildung A3.20 zeigt die Konzentrationsverteilung des CO₂ nach 30 Minuten in einem Längsschnitt bei X=2,2m. Im Vergleich zur CO₂-Konzentrationsverteilung von Berechnungsfall A, der zum Vergleich in gleicher Skalierung in Abbildung A3.21 dargestellt ist, zeigen sich für den Fall B eine mächtigere Rauchgasschicht sowie höhere Maximalwerte des CO₂.

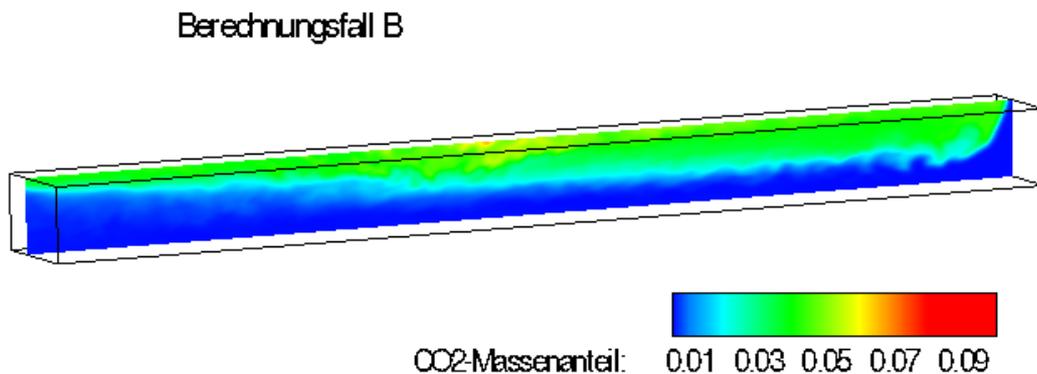


Abbildung A3.20: CO₂-Konzentration (Massenbruch) in Schnittebene X=2,2m (freie Gleisseite) nach 30 Minuten für Berechnungsfall B (Südportal links, Nordportal rechts)

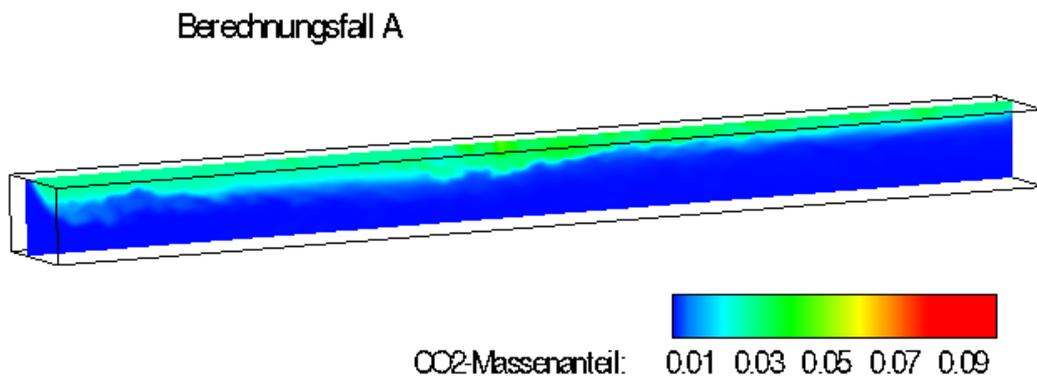


Abbildung A3.21: CO₂-Konzentration (Massenbruch) in Schnittebene X=2,2m (freie Gleisseite) nach 30 Minuten für Berechnungsfall A (Südportal links, Nordportal rechts)

Die Mächtigkeit der Rauchgasschicht ist in den Abbildungen A3.22 bis A3.25 anhand der Konzentrationsverteilungen in den 4 Querschnittsebenen erkennbar.

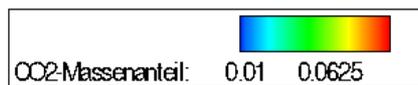
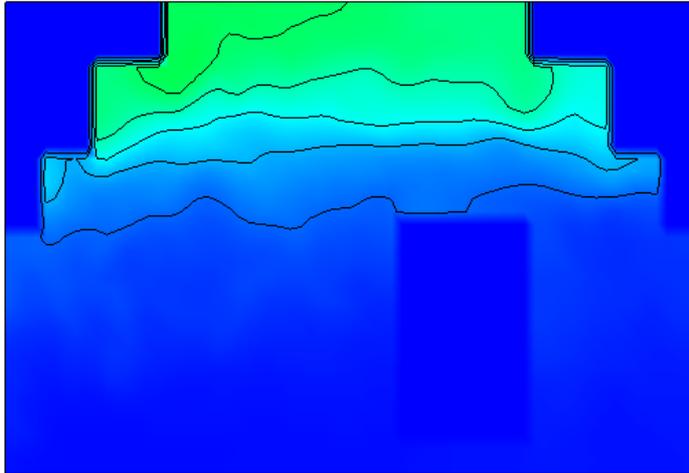


Abbildung A3.22: CO₂-Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei Z=-40m
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B

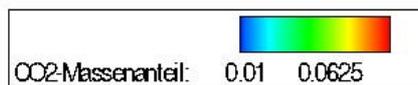
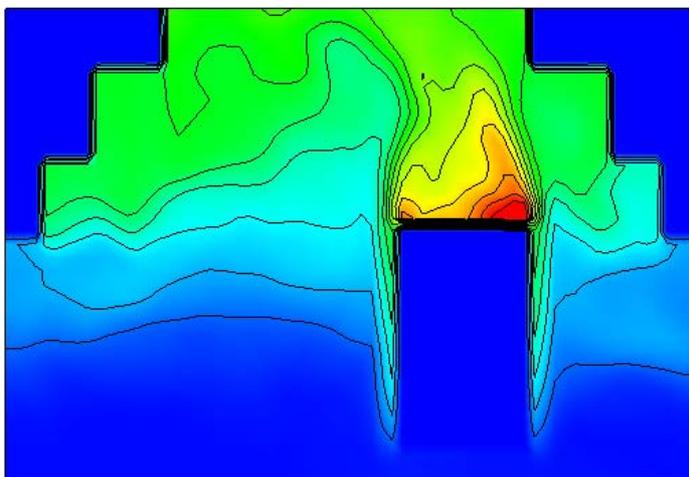


Abbildung A3.23: CO₂-Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei Z=-14m
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B

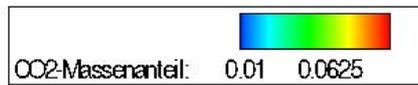
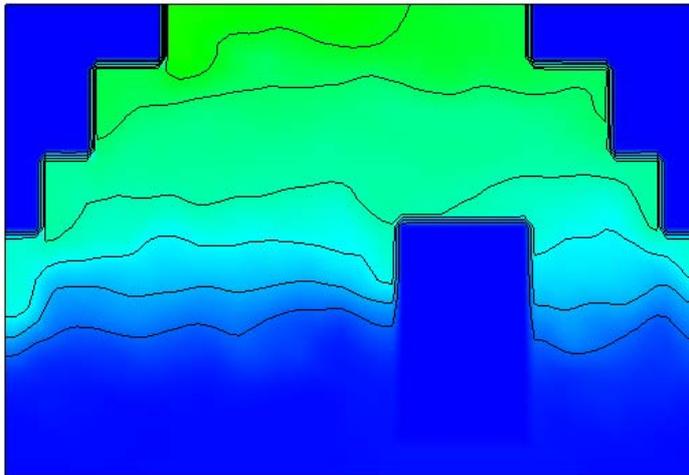


Abbildung A3.24: CO_2 -Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei $Z=14\text{m}$
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B

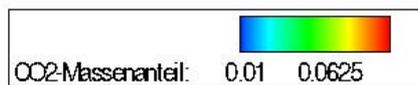
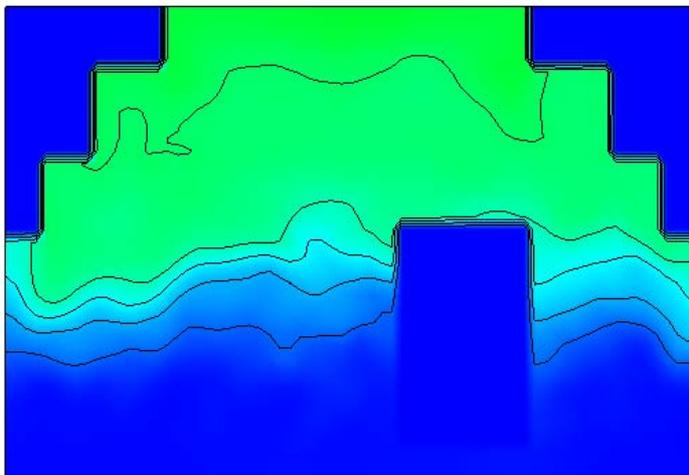


Abbildung A3.25: CO_2 -Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei $Z=40\text{m}$
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B

Vergleich von Berechnungsfall A und Berechnungsfall B

Die grafischen Darstellungen der Verteilungen, die ebenfalls durch Linien für Isowerte ergänzt wurden, erlauben eine qualitative und ungefähre quantitative Einschätzung der Konzentrationen im Berechnungsgebiet. Werden Werte der Konzentrationen an vorgegebenen Punkten gesucht, so sind XY-Plots geeignet, die Belastung an im Vorfeld ausgewählten Punkten zu quantifizieren. An den Sensorpunkten wurde das für die beiden Berechnungsfälle getan. In den nachfolgenden Diagrammen sind die CO₂-Konzentrationen an den 4 Sensorpunkten, die über dem freien Gleis in 4 verschiedenen Höhen positioniert sind (vgl. Abb. A3.11), für die Berechnungsfälle A und B gegenübergestellt. Der Sensorpunkt in der Höhe von 1m wurde aufgrund der dort vorhandenen geringen Größe in der Darstellung vernachlässigt.

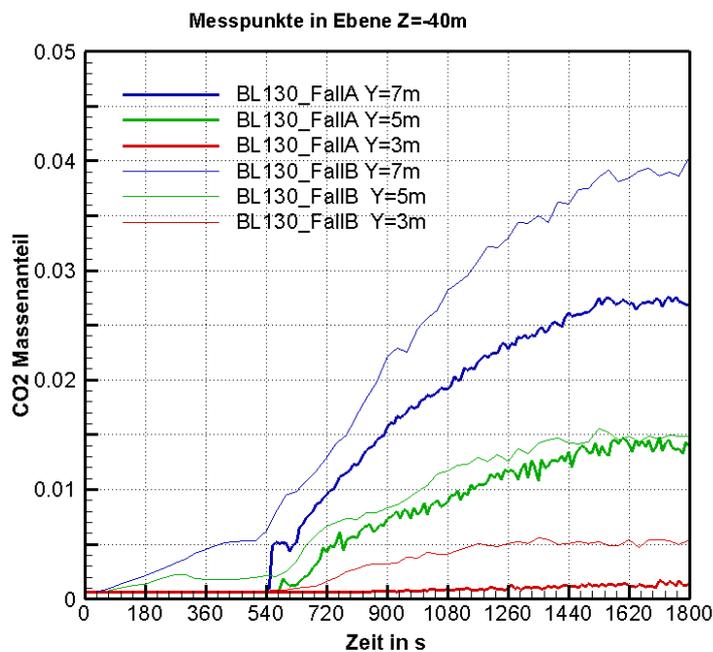


Abbildung A3.26: Vergleich der Konzentrationsentwicklung an Sensorpunkten in Querschnittsebene Z=-40m für Berechnungsfall A und B

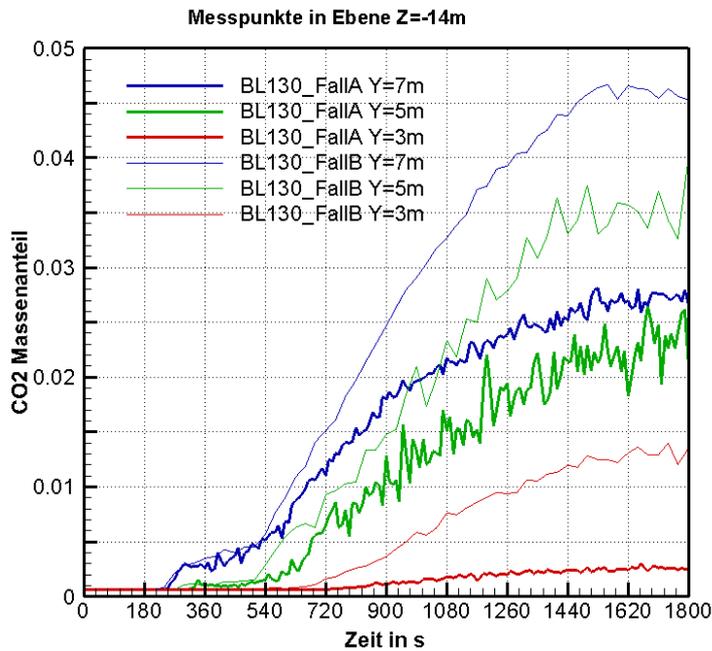


Abbildung A3.27: Vergleich der Konzentrationsentwicklung an Sensorpunkten in Querschnittsebene Z=-14m für Berechnungsfall A und B

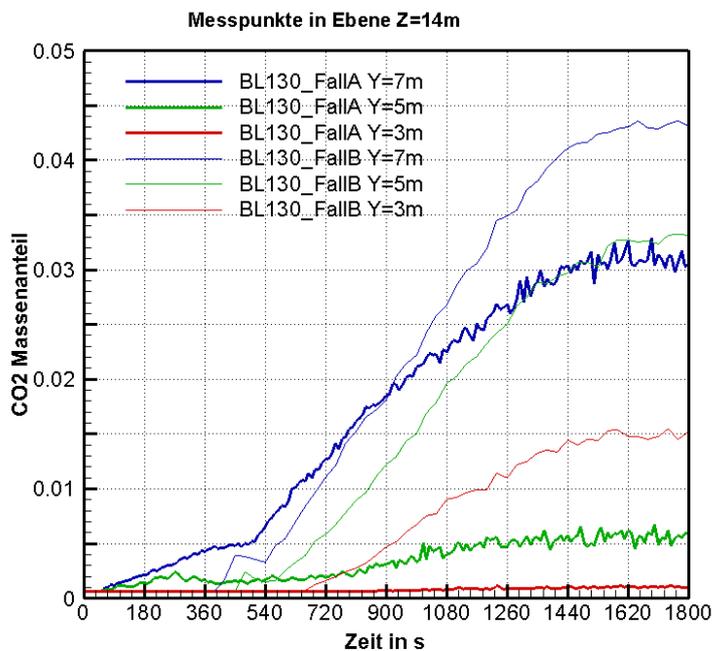


Abbildung A3.28: Vergleich der Konzentrationsentwicklung an Sensorpunkten in Querschnittsebene Z=14m für Berechnungsfall A und B

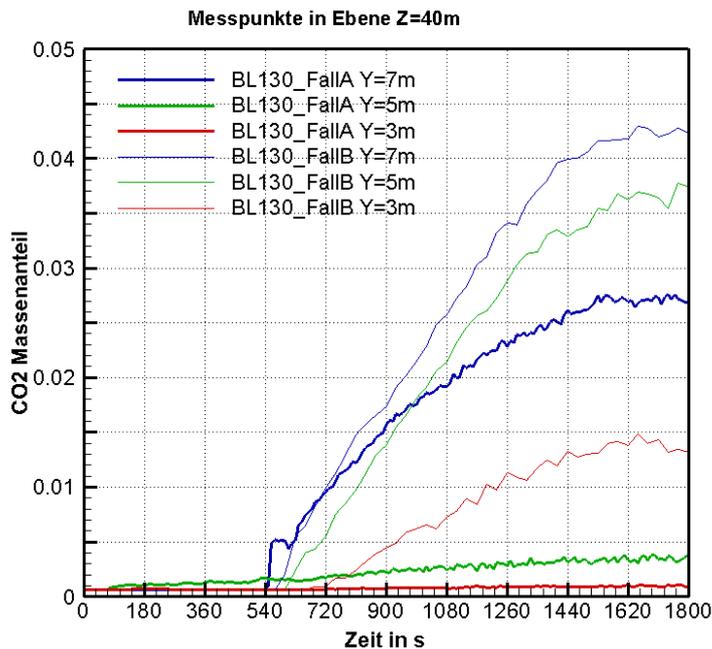


Abbildung A3.29: Vergleich der Konzentrationsentwicklung an Sensorpunkten in Querschnittsebene $Z=40\text{m}$ für Berechnungsfall A und B

Brandgasausbreitung bei größerer Steigung

Eine Untersuchung des Einflusses der Steigung eines Tunnels auf die Rauchgasausbreitung wird nachfolgend anhand des Berechnungsfalles B, bei dem die Grundströmung entgegen der Steigung verläuft, vorgenommen.

Lag im vorangegangenen Simulationsbeispiel eine Steigung von 1,25% vor, so wird nachfolgend eine Steigung von 10% angenommen und die Brandrauchausbreitung für den Satz der Rand- und Anfangsbedingungen von Berechnungsfall B simuliert.

Ergebnisse von Berechnungsfall B für Tunnel mit Steigung von 10%

Abbildung A3.30 zeigt die Konzentrationsverteilung des CO_2 nach 30 Minuten in einem Längsschnitt bei $X=2,2\text{m}$.

Berechnungsfall B mit 10% Steigung

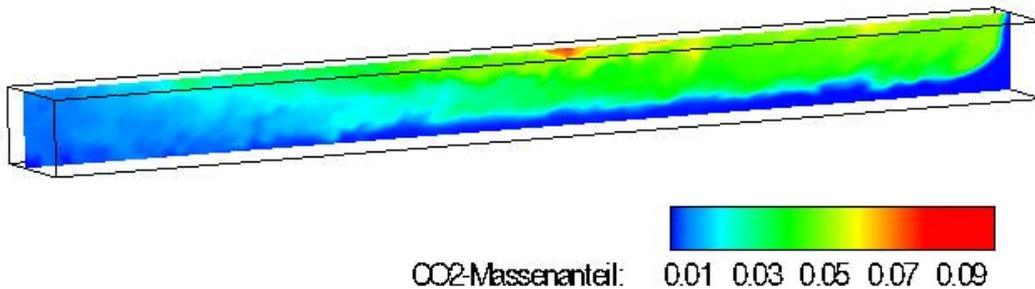


Abbildung A3.30: CO_2 -Konzentration (Massenbruch) in Schnittebene $X=2,2\text{m}$ nach 30 Minuten für Berechnungsfall B bei Steigung von 10% (Südportal links, Nordportal rechts)

Bereits die Darstellung des Längsschnittes zeigt die weit nach unten reichende Rauchgasschicht, die wesentlich mächtiger ist als die bei einem Tunnel mit geringerer Steigung. Die nachfolgenden Darstellungen der 4 Tunnelquerschnitte in den Abbildungen A3.31 bis A3.34 bekräftigen das.

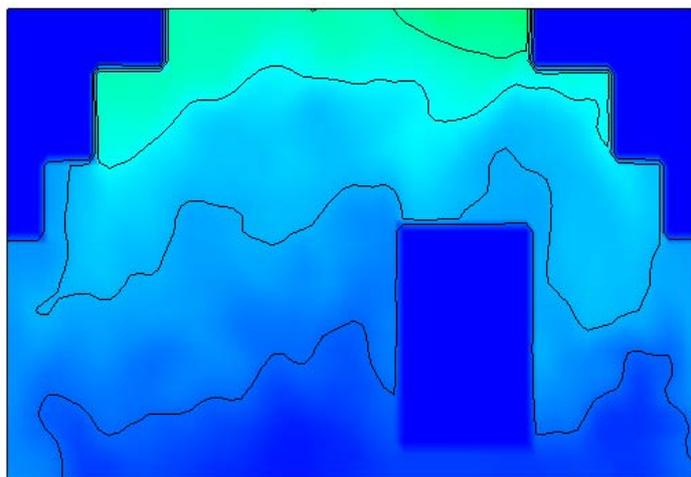


Abbildung A3.31: CO_2 -Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei $Z=-40\text{m}$ (Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B und 10% Steigung

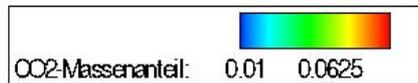
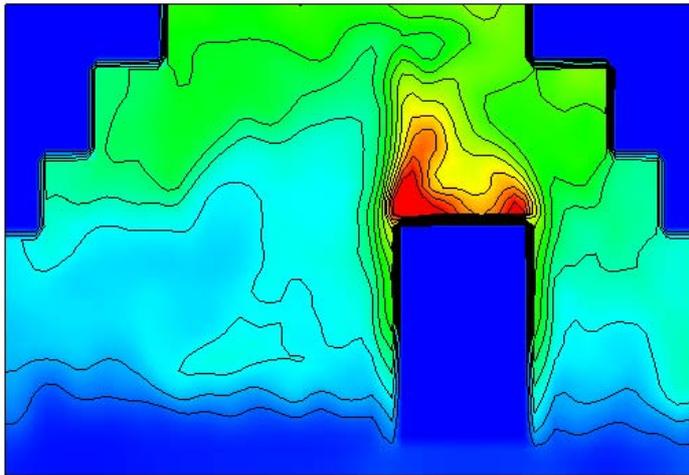


Abbildung A3.32: CO_2 -Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei $Z=-14\text{m}$
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B und 10% Steigung

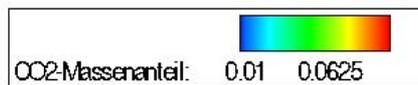
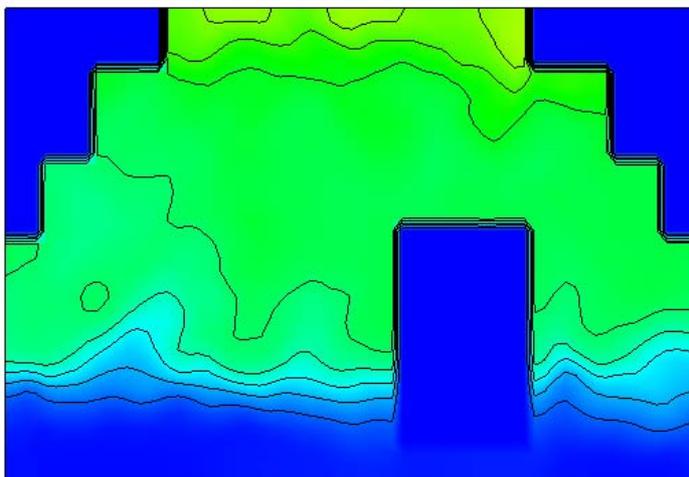


Abbildung A3.33: CO_2 -Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei $Z=14\text{m}$
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B und 10% Steigung

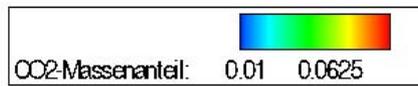
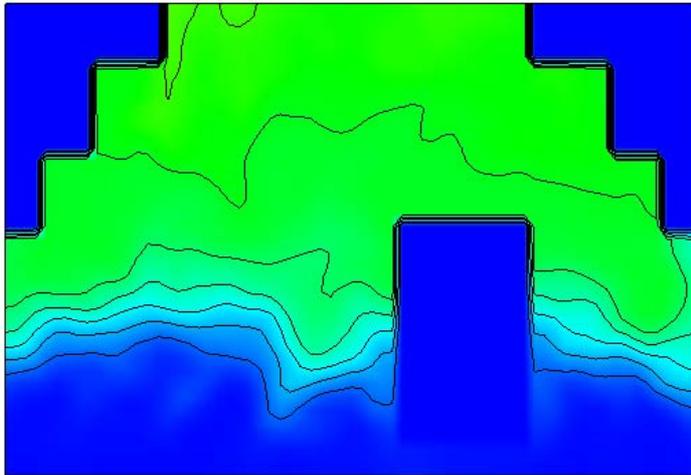


Abbildung A3.34: CO_2 -Konzentration nach 30 Minuten in Querschnitt bei $Z=40\text{m}$
(Blick in Richtung Steigung) - Berechnungsfall B und 10% Steigung

Für das Brandszenarium wird ein im Tunnel stehender Zug betrachtet, in dem ein Waggon in der Mitte brennt. In diesem Fall besteht der Zug aus 11 Waggonen und die Oberfläche des mittleren Waggons wird als Brandfläche betrachtet. Wie bei den vorangegangenen Rechnungen wird für die chemische Reaktion eine Heptanverbrennung vorausgesetzt, aus der sich die Rauchgasfreisetzungsrates ergibt. Die Abbildungen A3.36 und A3.37 zeigen eine Übersichtsdarstellung der Berechnungsgeometrie und in einem vergrößerten Ausschnitt des Berechnungsgebietes die Lage der Querschnittsebenen für die Darstellung der berechneten Konzentrationsverteilungen. Zur Darstellung von XY-Plots für die zeitliche Änderung der Konzentration wurden Sensorpunkte in den Ebenen in 1m, 3m, 5m und 7m mittig im Querschnitt ($X=0$) platziert.

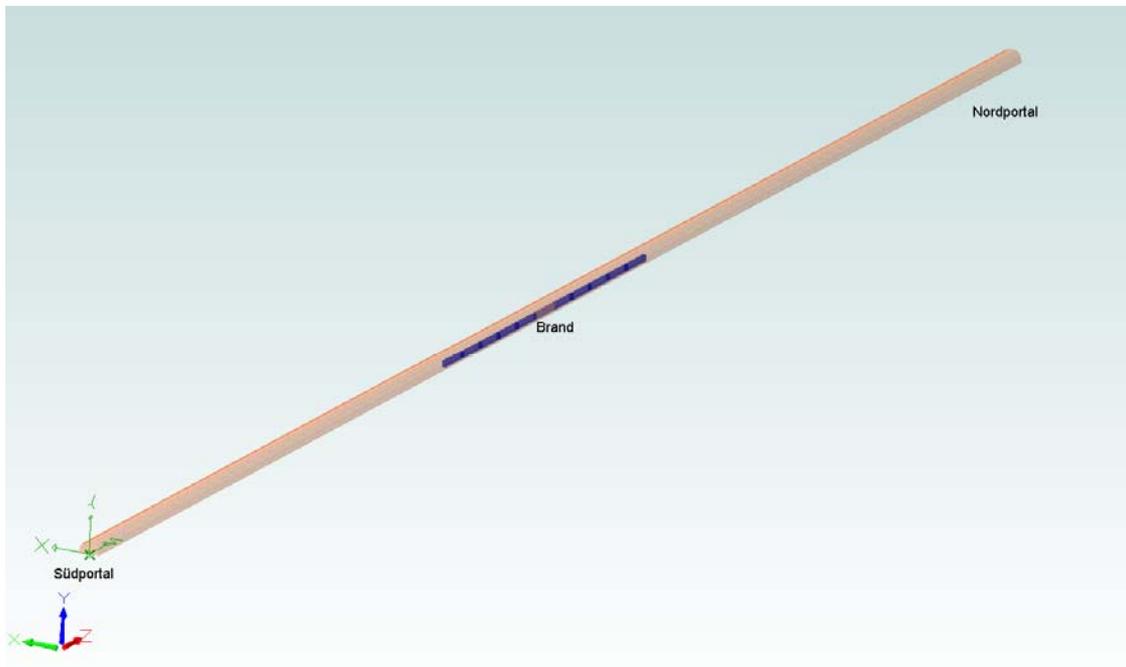


Abbildung A3.36: Berechnungsgebiet für die Simulation der Brandrauchausbreitung im Baumleitetunnel

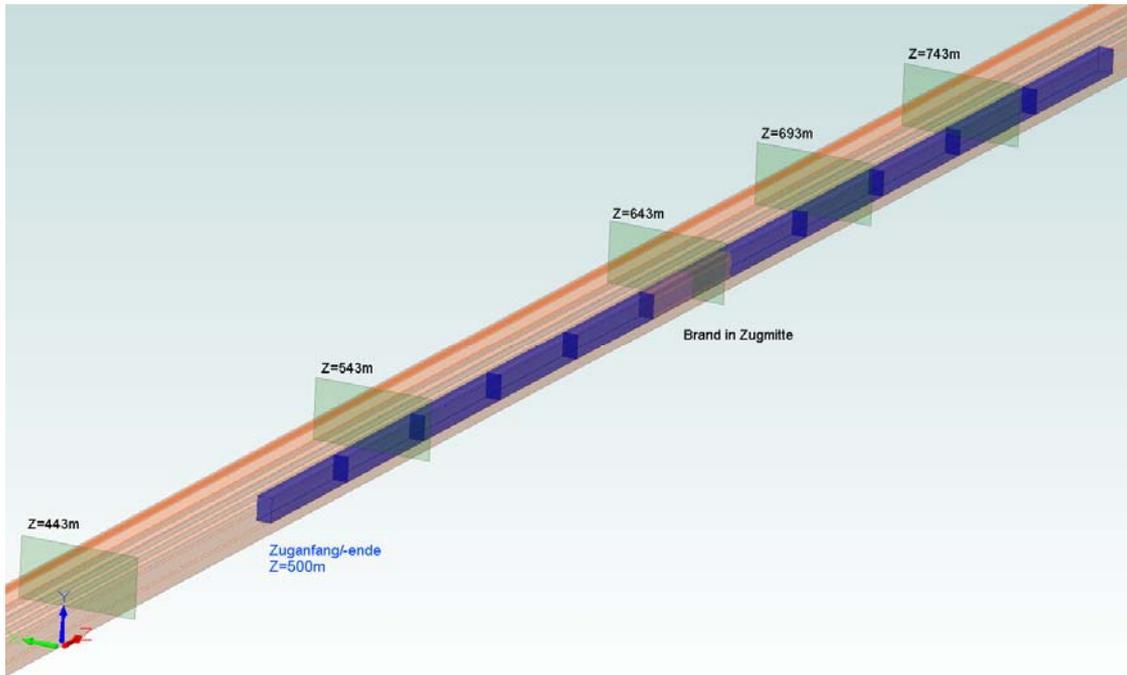


Abbildung A3.37: Tunnelabschnitt mit Anordnung der Querschnittsebenen für die Auswertung der Simulationsergebnisse

Rand- und Anfangsbedingungen für die Berechnung wurden analog zu dem Berechnungsfall B für den Tunnelabschnitt von 130m gewählt. Davon abweichend wurde als Brandfläche die Oberfläche eines kompletten Waggons definiert. Dies wurde zur Vereinfachung so gewählt, da aufgrund der Länge des Berechnungsgebietes detaillierte geometrische Zuordnungen sehr aufwendig sind.

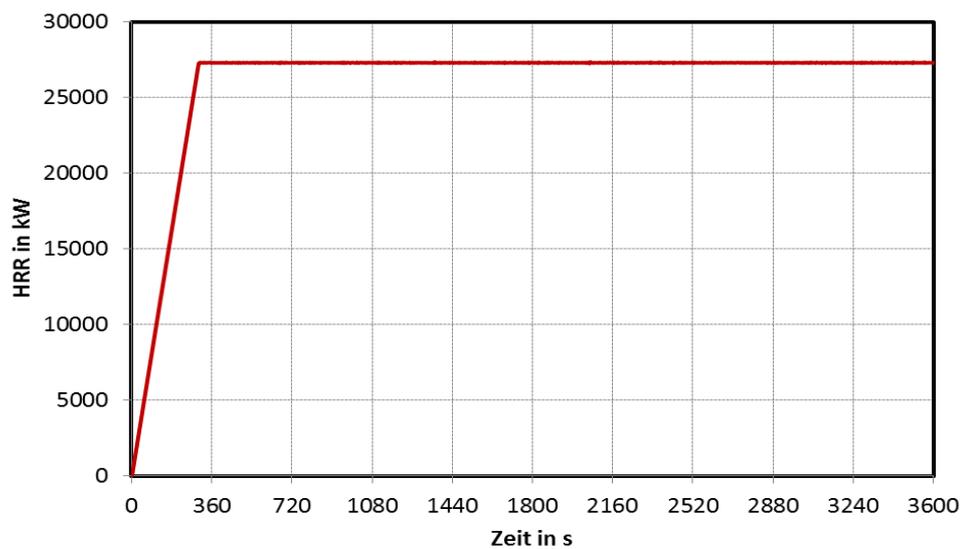


Abbildung A3.38: HRR für die Simulation im 1317m langen Tunnel

Mit Vorgabe einer konstanten maximalen Wärmestromdichte von 100kW/m^2 ergibt sich dann eine maximale HRR von ca. 27MW . Um in den Simulationen schnell mit maximalen Rauchfreisetzungsraten über eine längere Branddauer als 30 Minuten zu arbeiten, wurde ein Anwachsen der HRR auf den Maximalwert innerhalb von 5 Minuten angenommen. Abbildung 3.38 zeigt die so vorgegebene HRR für die Berechnung.

Berechnungsergebnisse

Die Berechnungen wurden für eine Branddauer von 60 Minuten durchgeführt, um die Entwicklung der Rauchgaskonzentrationen über diesen Zeitraum, in dem die Rettung, von Personen stattfinden muss sowie mit der Brandlöschung begonnen werden muss, beurteilen zu können. Nachfolgend sind für einen Längsschnitt durch die Tunnelmitte ($X=0$) die Konzentrationsverteilungen nach 30 und 60 Minuten dargestellt.

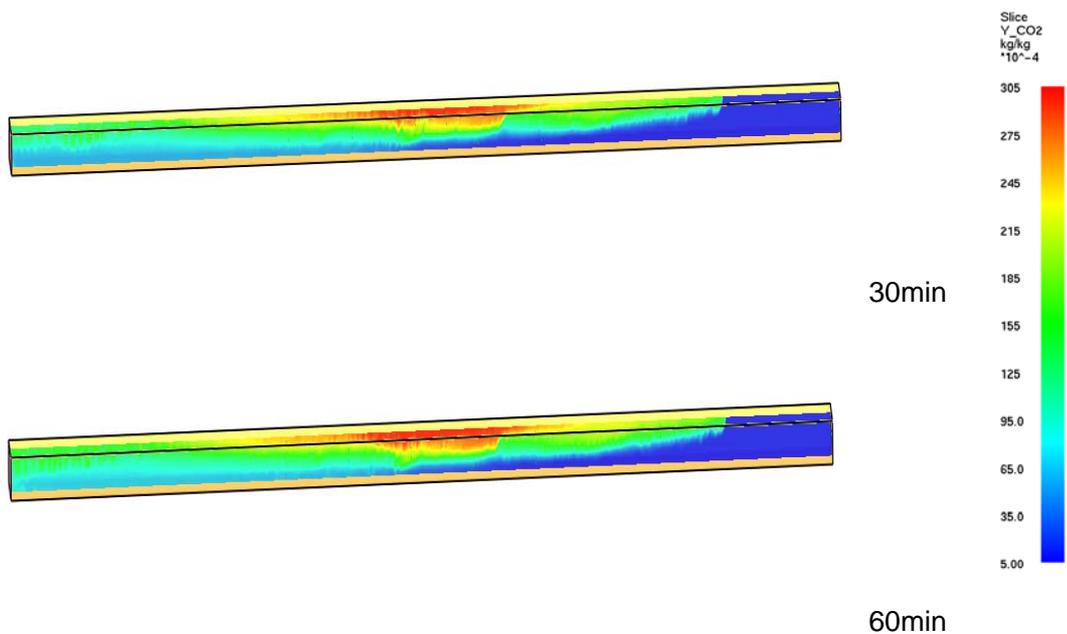


Abbildung A3.39: *CO₂-Konzentrationsverteilung in einem Längsschnitt ($X=0$) nach 30 und 60 Minuten Brandentwicklung im 1317m langen Tunnel (links Südportal, rechts Nordportal)*

Die berechneten CO₂-Konzentrationsverteilungen in den verschiedenen Querschnittsebenen vor und hinter der Brandquelle (vgl. Abb. A3.37) sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Wie bereits im Längsschnitt sichtbar, unterscheiden sich die Konzentrationsverteilungen nach 30 und 60 Minuten nicht

wesentlich. Für die Querschnittsebene bei $Z=693\text{m}$, d. h. 50m von der Brandquelle in Richtung Steigung und entgegen der Grundströmung sind die CO_2 -Verteilungen für beide Zeitpunkte dargestellt.

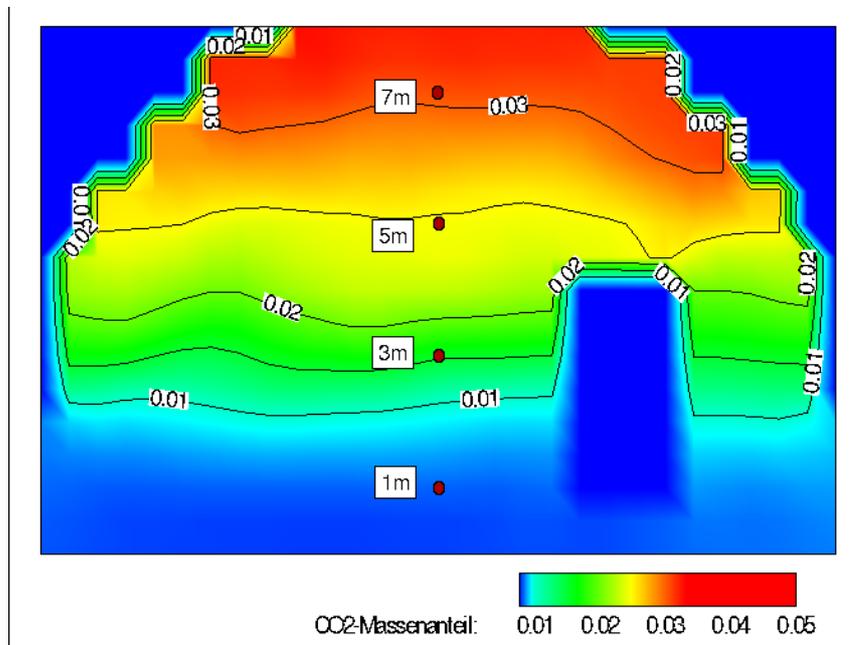


Abbildung A3.39: CO_2 -Konzentration bei $Z=693\text{m}$ nach 30 Minuten Branddauer

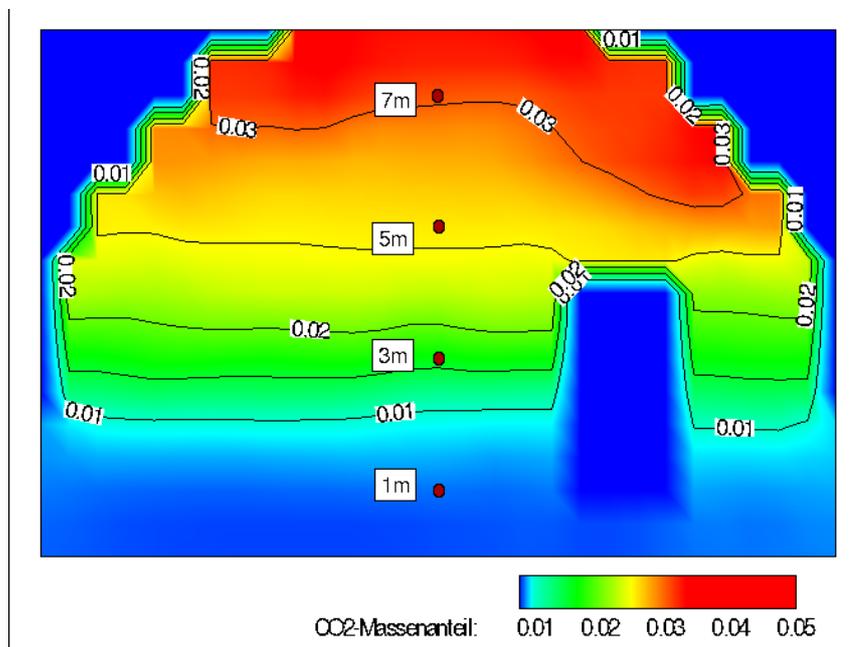


Abbildung A3.40: CO_2 -Konzentration bei $Z=693\text{m}$ nach 60 Minuten Branddauer

In den Darstellungen der Querschnitte ist die Anordnung der Sensorpunkte für die XY-Plots, die die zeitabhängige Konzentrationsänderung an ausgewählten Punkten

ermöglicht, markiert. Sie befinden sich in Tunnelmitte in den Höhen von 7m, 5m, 3m und 1m jeweils in den Querschnitten und können als Orientierungspunkte für die Höhe der Schichtung in den Verteilungsbildern genutzt werden.

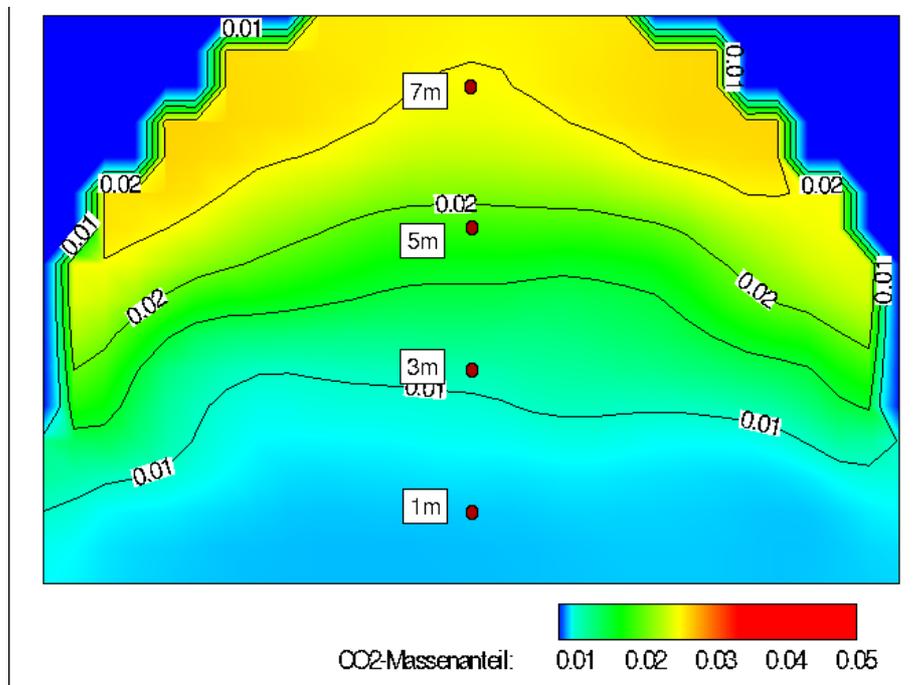


Abbildung A3.40: CO₂-Konzentration bei Z=443m nach 60 Minuten Branddauer

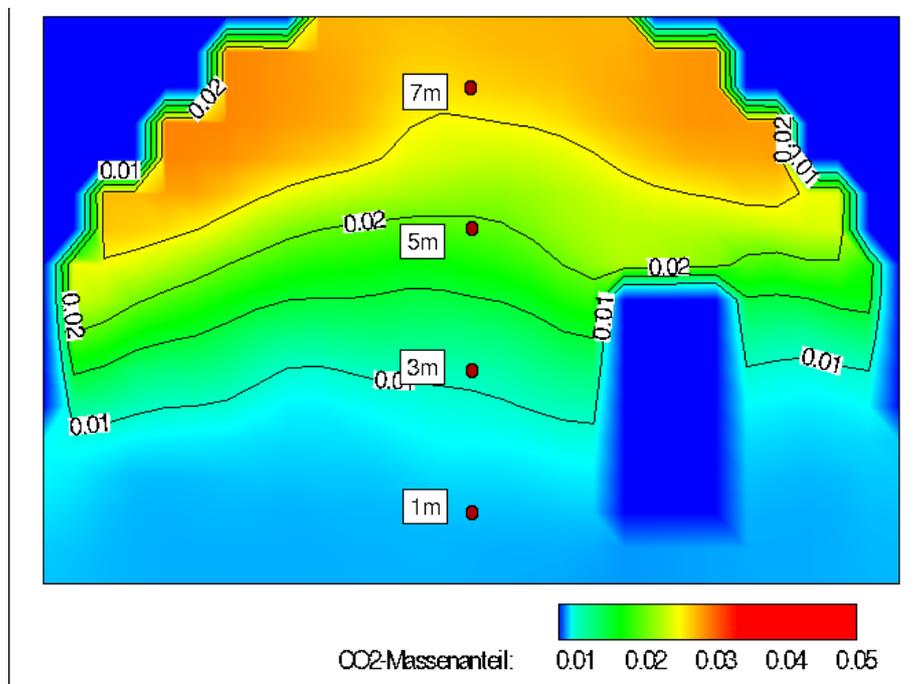


Abbildung A3.41: CO₂-Konzentration bei Z=543m (100m von Mitte der Brandquelle, bergab) nach 60 Minuten Branddauer

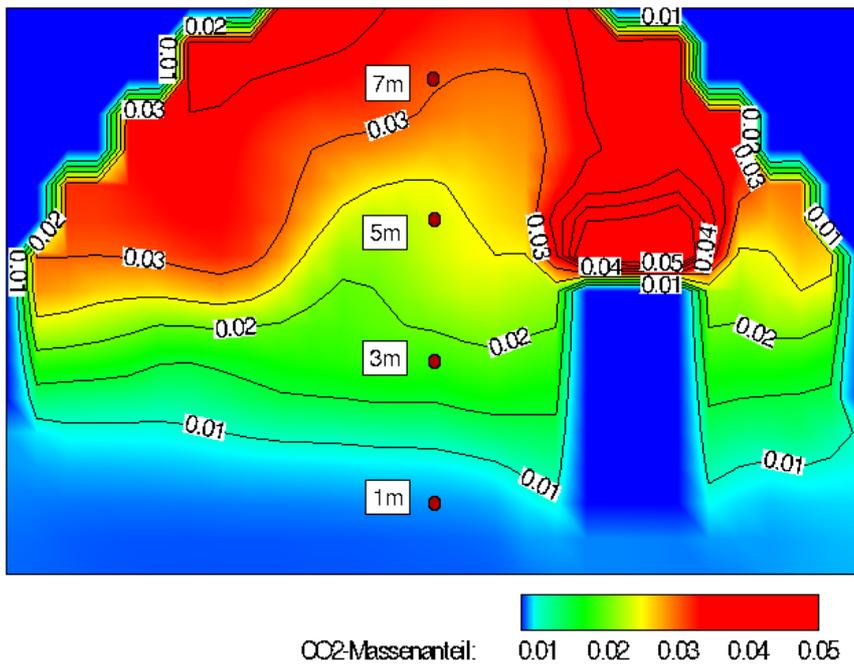


Abbildung A3.42: CO₂-Konzentration bei Z=643m (Mitte Brandquelle) nach 60 Minuten Branddauer

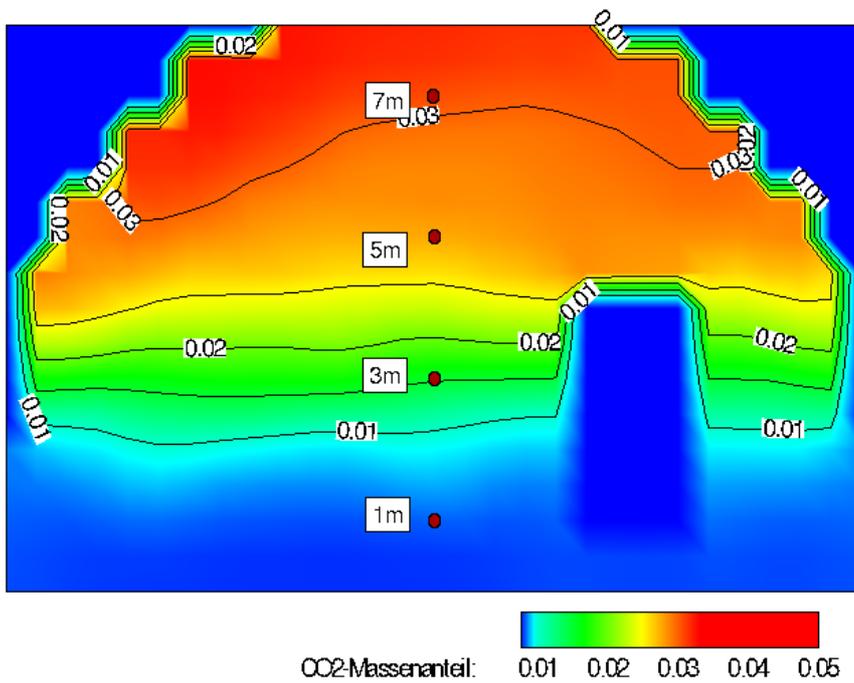


Abbildung A3.43: CO₂-Konzentration bei Z=743m (100m von Mitte Brandquelle entfernt) nach 60 Minuten Branddauer

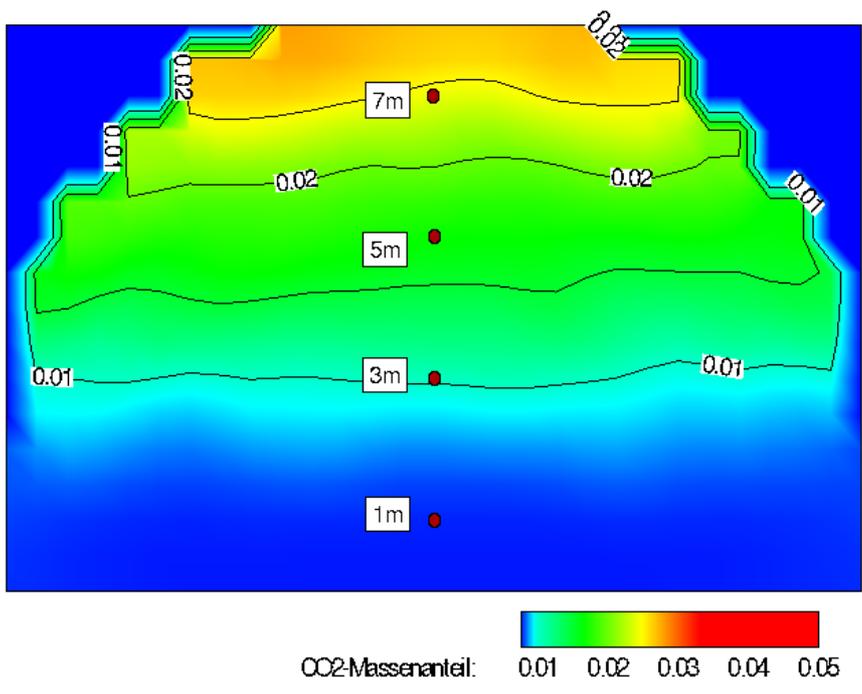


Abbildung A3.44: CO₂-Konzentration bei Z=843m (200m von Mitte Brandquelle entfernt) nach 60 Minuten Branddauer

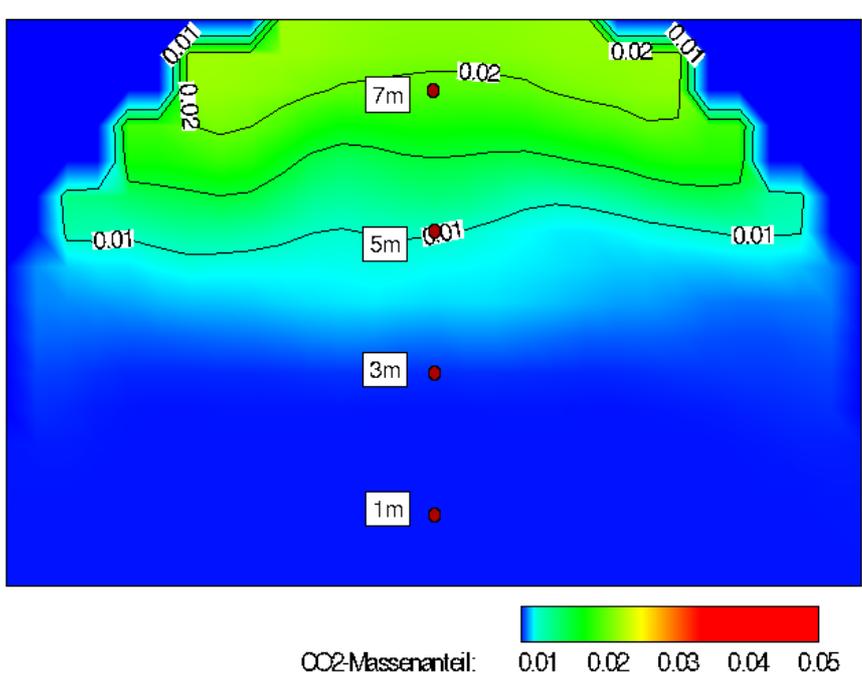


Abbildung A3.45: CO₂-Konzentration bei Z=1043m (400m von Mitte Brandquelle entfernt) nach 60 Minuten Branddauer

Da die maximale HRR bereits nach 5 Minuten erreicht wird und ab diesem Zeitpunkt ein konstanter Massenstrom an Brandgasen freigesetzt wird, liegt eine nahezu stationäre Brandgasströmung vor, die der Grundströmung entgegenwirkt. Die Ausbreitung des Brandgasstromes in Längsrichtung erreicht nach 30 Minuten 1080m und ist auch nach weiteren 30 Minuten nicht weiter vorgedrungen. Die Brandrauchgase (an der Decke) breiten sich über die Länge von ca. 440m entgegen der Grundströmung und in Richtung der Steigung aus. Es ist zu erwarten, dass sich die Ausbreitung in Längsrichtung luvseitig nur noch sehr langsam vollzieht, dafür aber die Mächtigkeit sowie die Maximalwerte der CO₂-Konzentration zunehmen, solange die Verbrennung andauert. Leeseitig findet die Ausströmung der Rauchgase in Richtung der Grundströmung statt. Die Maximalkonzentrationen in den Querschnitten leeseitig sind geringer als die luvseitig.

Die zeitliche Entwicklung der CO₂-Konzentration an den Sensorpunkten in 7m, 5m, 3m und 1m über dem Boden sind für einige der Querschnittsebenen als XY-Plots in den Abbildungen A3.46-A3.51 dargestellt.

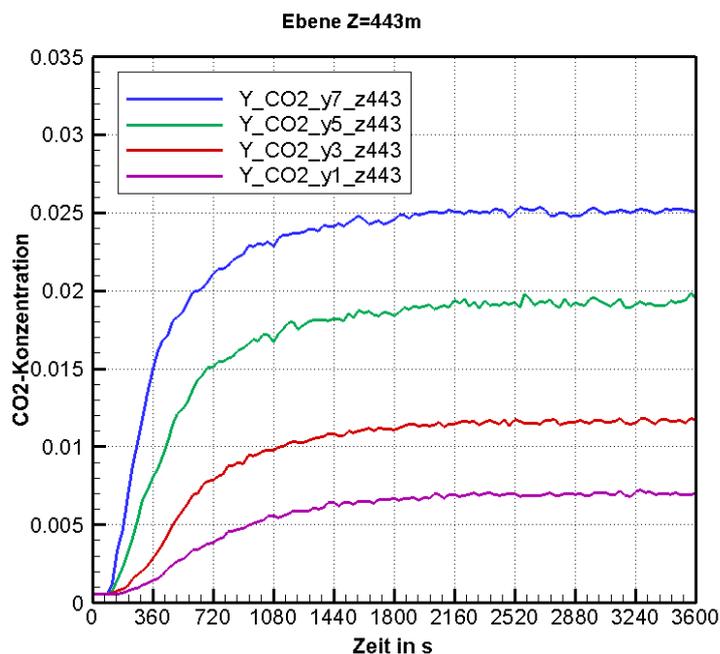


Abbildung A3.46: XY-Plot der zeitlichen Änderung der CO₂-Konzentration an Sensorpunkten mittig im Tunnel im Querschnitte bei Z=443m

In Abbildung A3.46 sind XY-Plots für die Sensorpunkte der Ebene bei Z=443m dargestellt, d.h. leeseitig und 200m von der Brandquelle in Richtung des Gefälles. Es ist

zu sehen, dass die maximalen Konzentrationen nach 30 Minuten erreicht werden. Leeseitig ist keine ausgeprägte Schichtung erkennbar. Die Konzentrationen steigen gleichmäßig mit der Höhe an. Das bedeutet, dass der Tunnelquerschnitt mit Brandrauch gefüllt wird.

Abbildung A3.47 zeigt die CO₂-Konzentrationsentwicklung an den Sensorpunkten an der Brandquelle. Dort sind die höchsten CO₂-Konzentrationen zu verzeichnen mit Maximalwerten von 3,2 Massenprozent an der Tunneldecke.

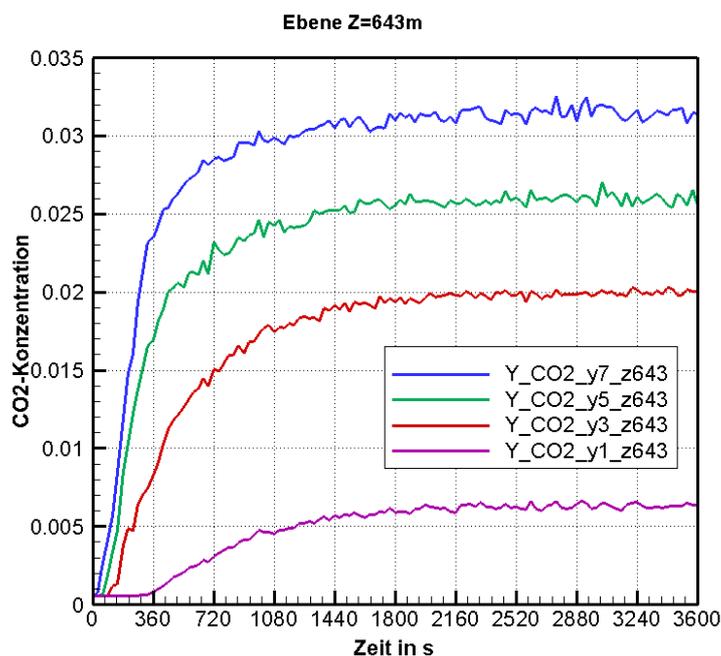


Abbildung A3.47: XY-Plot der zeitlichen Änderung der CO₂-Konzentration an Sensorpunkten mittig im Tunnel im Querschnitt bei Z=643m (Mitte Brandquelle)

Die folgenden Abbildungen A3.48 bis A3.50 zeigen die Plots in den Querschnitten, die sich in 100m, 200m und 400m von der Brandquelle in Richtung der Steigung und entgegengesetzt zur Richtung der Grundströmung befinden. Sie spiegeln den Strömungsverlauf der Brandrauchgasschicht entgegengesetzt zur Grundströmung wider. In Abbildung A3.48 zeigt der XY-Plot im Querschnitt 100m von der Brandquelle entfernt, dass sich eine Schicht nahezu gleicher CO₂-Konzentration von 3 Massenprozent an der Tunneldecke bis zur Höhe von ca. 6 Metern bildet (vgl. auch Konzentrationsverteilung in Abbildung A3.43). Die Konzentrationen an Messorten in 7 und 5 Meter Höhe zeigen

nach rund 210s einen starken Anstieg auf einen Maximalwert von 3% CO₂. Auch an den darunter liegenden Sensorpunkten steigt die Konzentration an, allerdings erst später und auf geringere Werte.

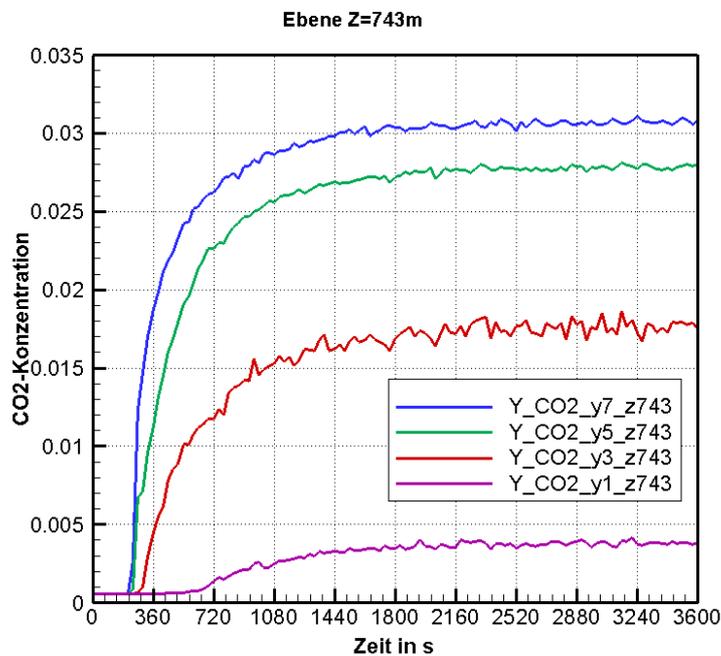


Abbildung A3.48: XY-Plot der zeitlichen Änderung der CO₂-Konzentration an Sensorpunkten 100m von Mitte Brandquelle (luvseitig)

Abbildung A3.49 zeigt den XY-Plot für die nächste Querschnittsebene in 200m Entfernung. Die CO₂-Konzentrationen steigen nach ca. 5 Minuten stark an und erreichen Maximalwerte von 2,5% CO₂. Die Rauchgasschicht ist dabei weniger mächtig.

In 400m Entfernung von der Brandquelle bei Z=1043m steigen die Konzentrationen nach ca. 14 Minuten an, jedoch nur auf Werte von max. 2 Massenprozent in Deckennähe (siehe Abbildung A3.51).

Die Berechnungsergebnisse über die Simulationsdauer von 1h zeigen, dass sich Rauchgase an der Decke bis ca. 440m entgegen der Richtung der Grundströmung ausbreiten und der übrige Tunnelabschnitt bis zum Nordportal rauchfrei bleibt.

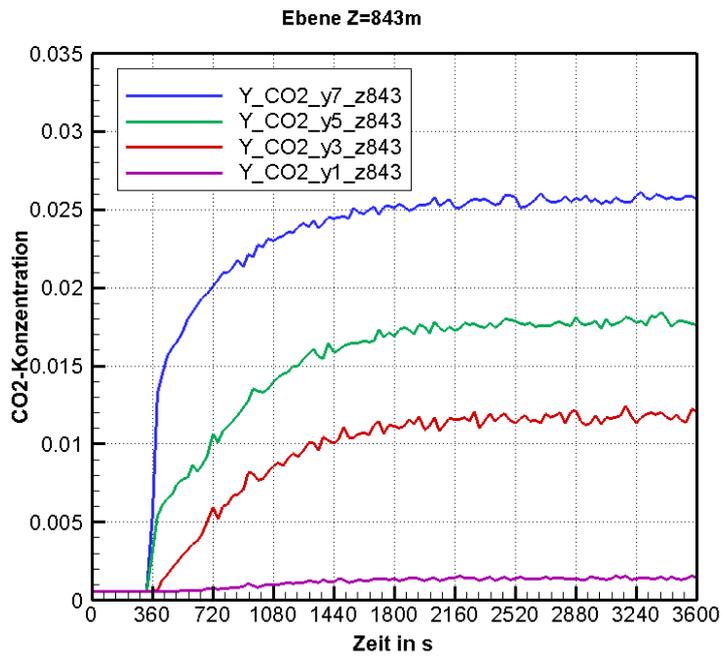


Abbildung A3.49: XY-Plot der zeitlichen Änderung der CO₂-Konzentration an Sensorpunkten 200m von Mitte Brandquelle (luvseitig)

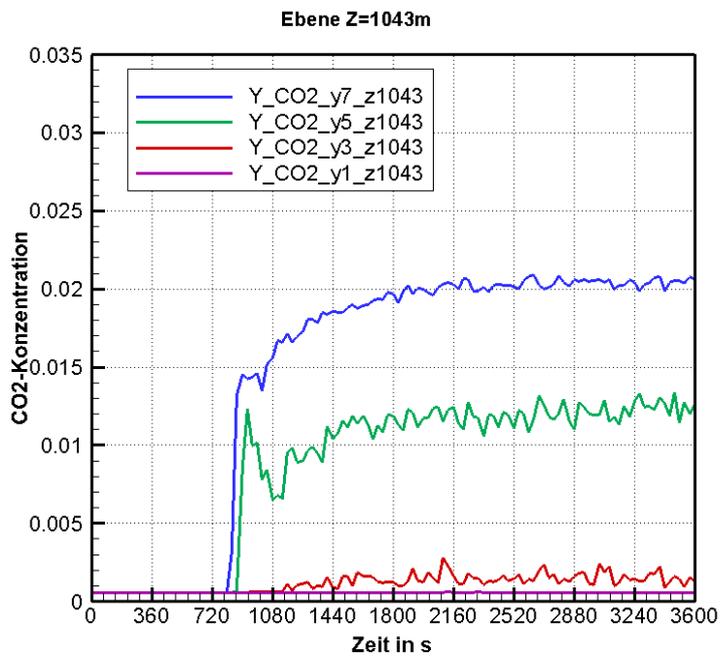


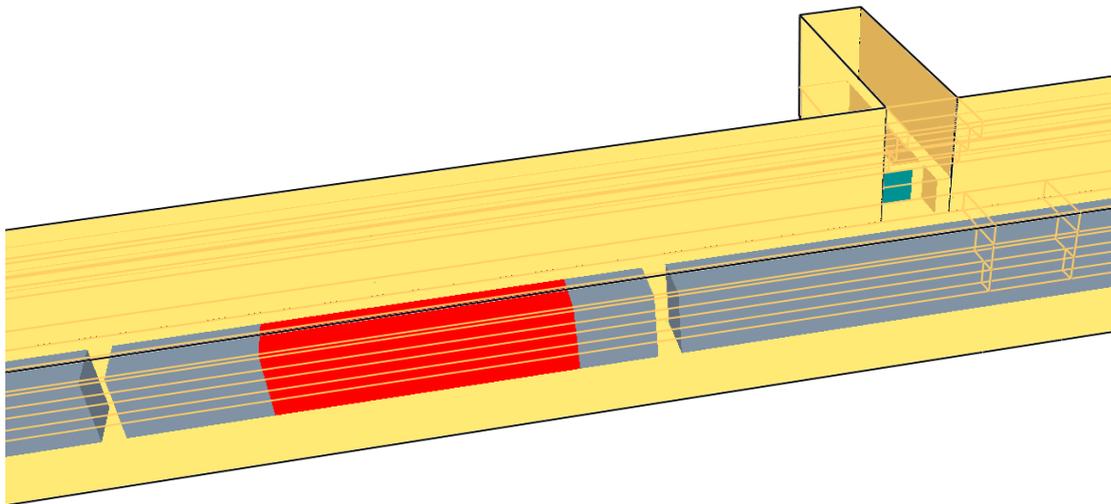
Abbildung A3.50: XY-Plot der zeitlichen Änderung der CO₂-Konzentration an Sensorpunkten 400m von Mitte Brandquelle (luvseitig)

Brandrauchausbreitung im Tunnelabschnitt (130m) und Rettungsraum

Zur Abschätzung einer möglichen Brandrauchausbreitung in den Rettungsraum wurden weitere Rechnungen durchgeführt. Ziel dieser Berechnungen war es, den Anstieg der CO₂-Konzentration im Rettungsraum zu ermitteln.

Grundlage bildet der Berechnungsfall B, bei dem eine bergab gerichtete Grundströmung am Tunnelportal als Randbedingung gesetzt wird. Der Rettungsraum befindet sich in 30m Entfernung von der Mitte der Brandquelle. Nach 20 Minuten Brandausbreitung im Fahrtunnel wird die Tür zum Rettungsraum geöffnet. Abbildung A3.51 zeigt die Geometrie des Berechnungsgebietes mit Fahrtunnel und Rettungsraum.

Smokeview 6.1.5 - Nov 22 2013



mesh: 1

Abbildung A3.51: Ausschnitt des Berechnungsgebietes mit Fahrtunnel und Rettungsraum

Für die Berechnungen soll davon ausgegangen werden, dass sich im Fahrtunnel eine stabile Brandrauchgasströmung mit einer HRR von ca. 25MW eingestellt hat. Zur Verringerung der Rechenzeiten wurde auch für diese Berechnungen eine schnellere Brandentwicklung vorausgesetzt, so dass bei Öffnen der Tür nach 20 Minuten die stationäre Brandgasströmung bei maximaler HRR vorliegt, womit die Anfangsbedingungen für den Fahrtunnel für die Simulation der Brandrauchgasausbreitung im Rettungsraum beschrieben sind.

Alle anderen Randbedingungen wurden wie in Berechnungsfall B gewählt. Auch die Vernetzung des Fahrtunnels wurde so übernommen, d.h. in den XY-Ebenen liegt eine Gitterzellenlänge von jeweils 0,2m und in Z-Richtung von 0,4m vor. Für die Vernetzung des Rettungsstollens wurde eine gleichmäßige Unterteilung des Gebietes in alle drei Richtungen mit 0,2m Gitterzellenlänge vorgenommen.

Berechnungsergebnisse

Nach Öffnen der Tür vom Fahrtunnel zum Rettungsraum können die Brandgase aus dem Fahrtunnel in den Rettungsraum eindringen. Die Tür vom Rettungsraum zum Rettungsstollen bleibt dabei geschlossen.

Nach 20 Minuten Brandausbreitung sind im Fahrtunnel Konzentrationen in gleicher Größenordnung wie in Berechnungsfall B vorhanden. Abbildung A3.52 zeigt für das Berechnungsgebiet des Fahrtunnels mit Rettungsstollen die CO₂-Konzentrationsverteilung in einem Längsschnitt bei X=2,2m durch den Fahrtunnel und dem Querschnitt bei Z=16m, der längs durch den Rettungsraum verläuft.

Smokeview 6.1.5 - Nov 22 2013

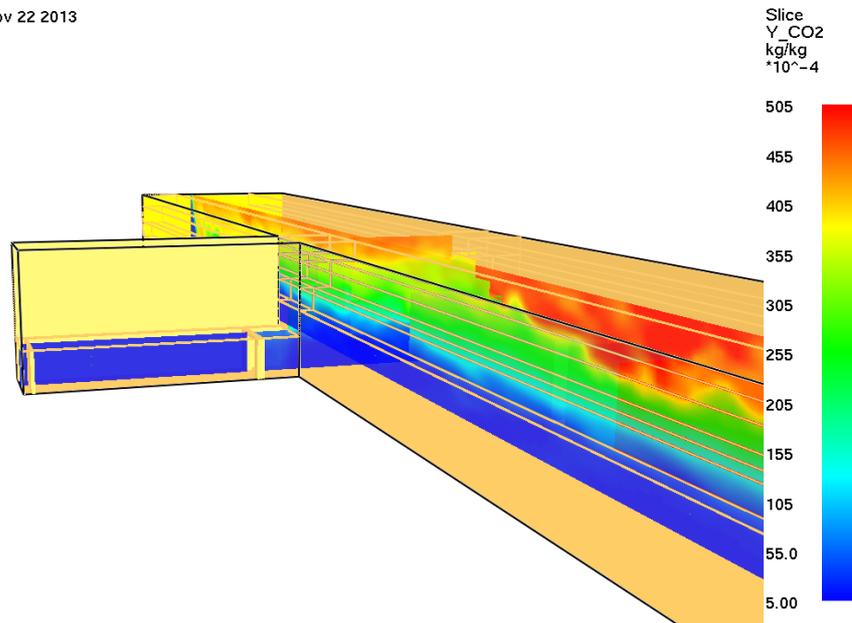


Abbildung A3.52: CO₂-Konzentrationsverteilung nach 20 Minuten für das Berechnungsgebiet "Fahrtunnel+Rettungsraum"

Zum Vergleich ist die für Berechnungsfall B ermittelte CO₂-Konzentrationsverteilung nach 30 Minuten im Längsschnitt bei X=2,2m in Abbildung A3.53 gezeigt.

Smokeview 6.1.5 - Nov 22 2013

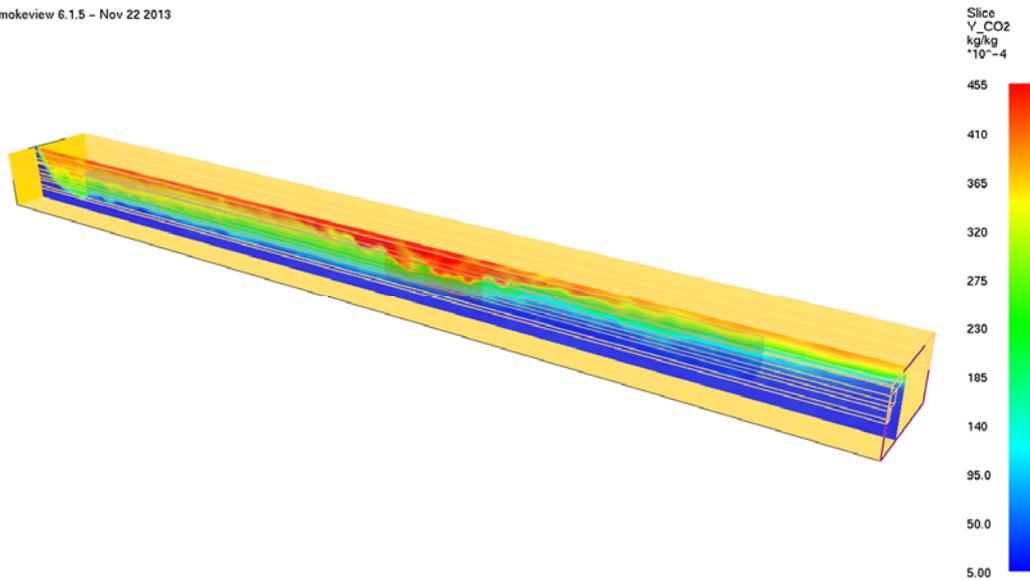


Abbildung A3.53: CO₂-Konzentrationsverteilung (in Massenanteilen) nach 30 Minuten für Berechnungsfall B (links Nordportal, rechts Südportal)

Die CO₂-Konzentrationsverteilung nach 1 Stunde Branddauer ist in Abbildung A3.54 zu sehen. Die Konzentrationen sind in Massenanteilen angegeben.

Smokeview 6.1.5 - Nov 22 2013

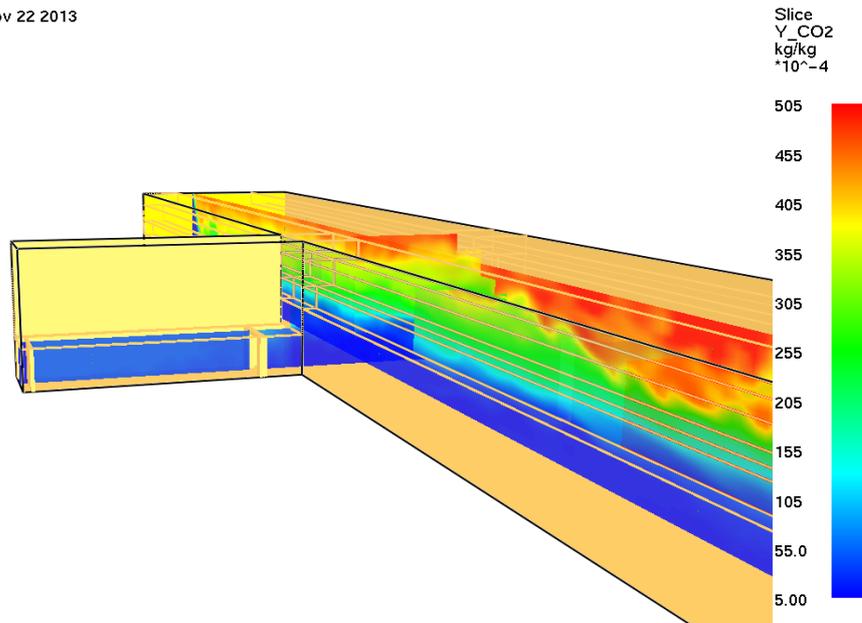


Abbildung A3.54: CO₂-Konzentrationsverteilung nach 60 Minuten für das Berechnungsgebiet "Fahrtunnel+Rettungsstollen"

In den Abbildungen ist erkennbar, dass im Rettungsstollen, verglichen mit den Maximalwerten der CO₂-Konzentrationen nur geringe CO₂-Werte erreicht werden. Bereits aus Abbildung A3.54 ist zu ersehen, dass die Rauchgasschicht im Fahrtunnel nicht bis zum Boden reicht bzw. oberhalb der Höhe der Tür zum Rettungsraum endet. Mit anderer Skalierung des Wertebereiches ergeben sich aussagekräftigere Verteilungsbilder wie in den Abbildungen A3.55 und A3.56 zu sehen ist. Abbildung A3.55 zeigt die Konzentrationsverteilung 2 Minuten nach Öffnen der Tür. Abbildung A3.56 zeigt die Konzentrationsverteilung zum Zeitpunkt t=3600s, d. h. 40 Minuten nach Öffnen der Tür, wobei der Brand bereits 1h andauert.

Es werden CO₂-Konzentrationen im Bereich von 0,0005 bis 0,004 Massenanteilen im Rettungsraum erreicht.

Smokeview 6.1.5 - Nov 22 2013

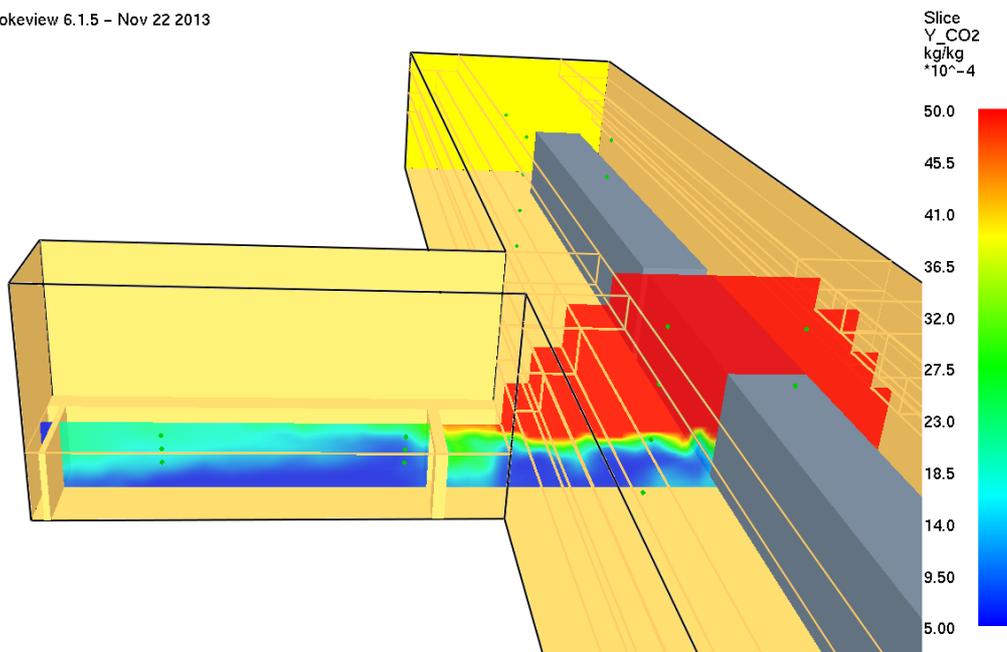


Abbildung A3.55: CO₂-Konzentrationen 2 Minuten nach Öffnen der Tür zum Rettungsraum in Querschnitt bei Z=16m

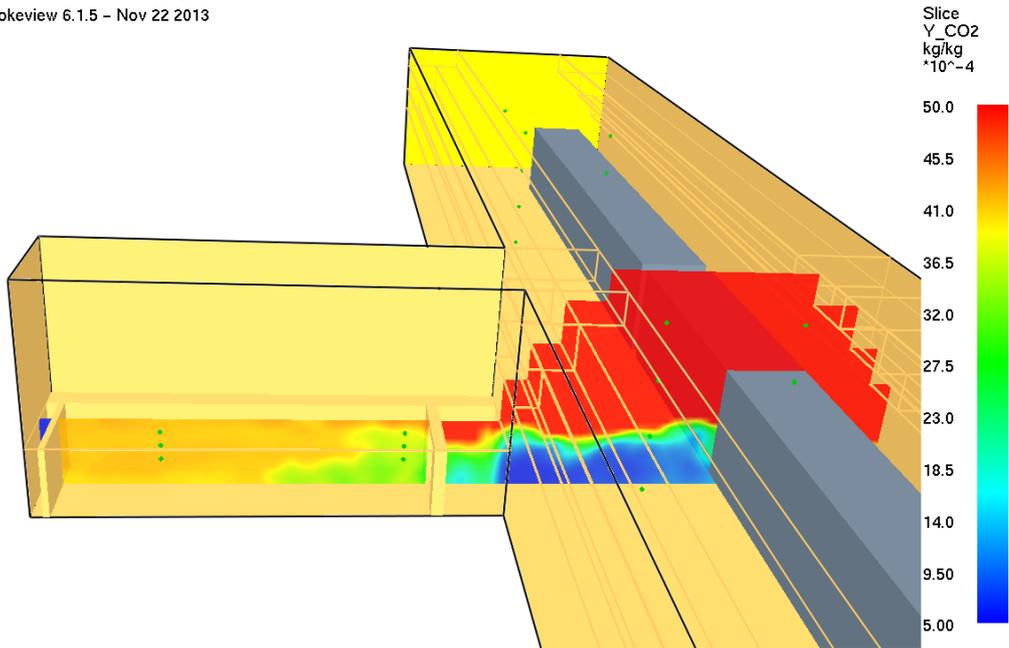


Abbildung A3.56: CO₂-Konzentrationen nach 40 Minuten offener Tür zum Rettungsraum in Querschnitt bei Z=16m

Zur Darstellung der zeitlichen Änderung der Konzentrationen wurden CO₂-Berechnungswerte an Sensorpunkten in 1m, 1,5m und 2m Höhe in 2m und 10m Entfernung von der Tür erfasst. Abbildung A3.57 zeigt diese Konzentrations-Zeit-Kurven.

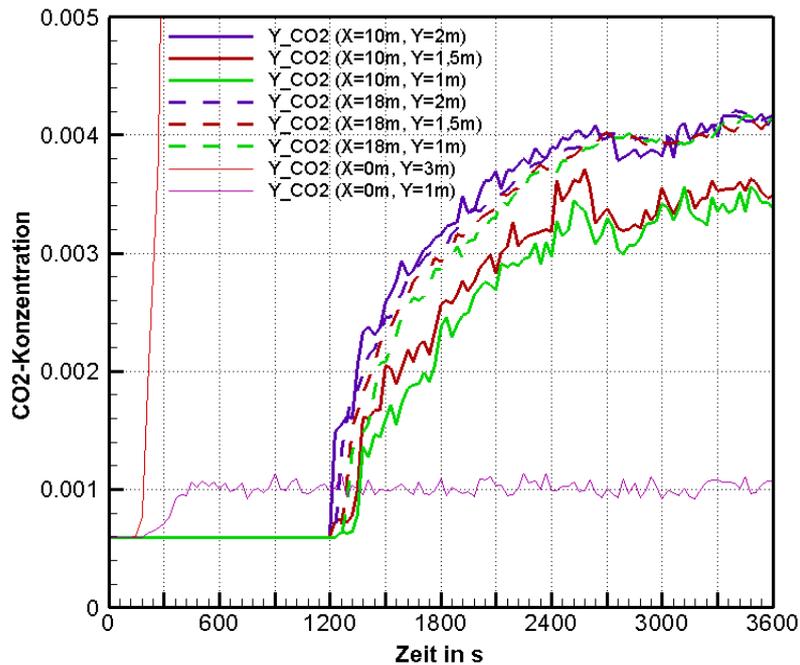


Abbildung A3.57: XY-Plots der CO₂-Konzentrationen (in Massenanteilen) im Rettungsraum

Die in der Abbildung A3.57 dünn dargestellten Linien sind die Konzentrationen im Fahrtunnel. In 3m Höhe betragen sie ca. 1,4 Massenprozent CO₂, in 1m Höhe 0,1 Massenprozent.

Die durchgezogenen fett gedruckten Linien zeigen die Sensorpunkte im Rettungsraum in 2m Entfernung von der Tür (X=10m), die gestrichelten fett gedruckten Linien die Sensorpunkte in ca. 10m Entfernung (X=18m) von der geöffneten Tür.

Es strömt kontinuierlich Rauchgas in den Rettungsraum hinein. Während zum Zeitpunkt des Öffnens der Tür im Fahrtunnel in 1m Höhe noch eine größere CO₂-Konzentration als im Rettungsraum zu verzeichnen war, steigt die CO₂-Konzentration im Rettungsraum mit zunehmender Zeit über die Konzentration im Fahrtunnel an.

Der Rettungsraum wird von hinten nach vorn mit Rauchgas gefüllt. Die größten Konzentrationen betragen 0,4 Massenprozent CO₂ und sind in größerer Entfernung von der Tür vorhanden. Die Konzentrationen in der Nähe der geöffneten Tür sind etwas geringer, hier findet offenbar noch die Wechselwirkung mit der Strömung des Fahrtunnels statt.

Der Rettungsraum füllt sich bei langem Öffnen der Tür mit Rauchgasen. Für den berechneten Fall mit den gewählten spezifischen Randbedingungen sind die im Rettungsraum vorhandenen CO₂-Konzentrationen sehr gering.

A4 ZUSAMMENFASSUNG /SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zur Unterstützung der Lageeinschätzung beim Eintreffen der Feuerwehr bei einem Eisenbahnbrand im Baumleitetunnel wurden Beispielrechnungen mit dem Brandsimulationstool FDS des NIST zur Brandgasausbreitung durchgeführt. Es wurden verschiedene Lüftungsfälle analysiert.

Es wurde die Brandrauchausbreitung im 1317m langen Baumleitetunnel bei einer angenommenen Windgeschwindigkeit von 1,5m/s in Richtung der Längsachse des Tunnels entgegen der Steigung untersucht. Die Steigung des Tunnels beträgt 1,25% vom Südportal in Richtung Nordportal. Bei einem Brand bildet sich eine Deckenströmung des Brandrauches entgegen dieser natürlichen Strömung aus. Dies führt im berechneten Fall zu einer Schichtung, die sich bis zu einer Länge von ca. 400m von der Brandquelle entgegen der natürlichen Strömung ausdehnt. Die restliche Länge bis zum Nordportal bleibt rauchfrei, so dass von dieser Seite Lageerkundung und Rettungsmaßnahmen möglich werden. Bei länger andauernden Bränden kann es zum Anwachsen der Schichtungsstärke infolge des Aufstauens kommen.

Ebenso breitet sich der Brandrauch von der Brandquelle in Richtung der natürlichen Strömung aus. Hier ist eine eindeutige Schichtung nicht zu erkennen. Dies führt zur Verrauchung des gesamten Tunnelquerschnitts.

Berechnungen bezüglich des Eindringens von Brandrauch in den Rettungstollen zeigen, dass für den zugrunde gelegten Berechnungsfall nur geringe CO₂-Konzentrationen auftreten, so dass eine Nutzung möglich ist.

Zusätzliche Berechnungen für den betrachteten Baumleitetunnel bei anderen Strömungsverhältnissen waren bisher nicht vorgesehen.

Die Berechnungen dienen vor allem dem Entwickeln von Vorstellungen über die Brandausbreitungsvorgänge und konnten nicht validiert und verifiziert werden, so dass weitere Rechnungen nötig sind.

Gegebenenfalls sind die Rechnungen für andere Tunnelabschnitte zu wiederholen.

Zur Lageeinschätzung ist der Feuerwehr zu empfehlen, sich von den zum Zeitpunkt des Eintreffens vorhandenen Grundströmungsverhältnissen zu überzeugen, um eine Vorstellung über freie Angriffswege zu erhalten.

A5 LITERATURVERZEICHNIS

- [Atkinson and Wu 1996] G.T. Atkinson, Y. Wu.: Smoke control in sloping tunnels, *Fire Safety J.* 27 (4) (1996), 335–341.
- [Brahim et al. 2013] K. Brahim†, B. Mourad, E. C. Afif and B. Ali: Control of Smoke Flow in a Tunnel, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, Vol. 6, No. 1, pp. 49-60, 2013, online at www.jafmonline.net, ISSN 1735-3572, EISSN 1735-3645.
- [Chow et al. 2015] W.K. Chow a, n, Y. Gao b, J.H. Zhao b, J.F. Dang b, C.L. Chow c, L. Miao c: Smoke movement in tilted tunnel fires with longitudinal ventilation, *Fire Safety Journal* 75 (2015) 14–22
- [Fan et al. 2015] C. G. Fan, J. Ji, and J. H. Sun: Influence of longitudinal fire location on smoke characteristics under the tunnel ceiling, *Fire Mater.* 39(2015), pp.72-84
- [Forney et al. 2003] G. P. Forney, D. Madrzykowski, K. B. McGrattan, L. Sheppard: Understanding Fire and Smoke Flow Through Modelling and Visualization, *IEEE Computer Graphics and Applications*, July/August 2003, pp. 6-13
- [Gegenhuber 2014] M. Gegenhuber: Ausbildung für Einsätze in (Bahn)tunneln am Beispiel Brenner Basistunnel, BF Innsbruck, 2014
- [Haack 2004] Haack, A.: Thematic Network FIT – Fire in Tunnels Technical Report – Part 1 Design Fire Scenarios, WTCB, Brussels
- [INGASON et al. 01] Ingason, H.; Bergqvist, A.; Frantzich, H.; Hasselrot, K.; Lundström, S.: Planning Manual Fire Fighting and Rescue in Tunnels. Proceedings 4th International Conference on Safety in Road and Rail tunnels, Madrid 2-6 April 2001, p. 595-604

- [Opstad 2003] Opstad, K.: Fire Hazards In Tunnels And Underground Installations. International Symposium on the Fusion Technology of Geosystem Engineering, Rock Engineering and Geophysical Exploration Seoul, Korea, Nov. 18-19, 2003
- [Schabacker et al.] J. Schabacker, M. Bettelini, Ch. Rudin: CFD Study of Temperature and Smoke Distribution in a Railway Tunnel with Natural Ventilation System, Thunstrasse 9, P.O. Box, 3000 Bern, Switzerland
- [Spöndlin and Roßteuscher 2013] Spöndlin/Roßteuscher: Rettungskonzept Tunnel Baumleite , Erläuterungsbericht, Erfurt, 10.09.2013, Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Schiene Nr. 8 Neubaustrecke Ebensfeld – Erfurt, Planfeststellungsabschnitt PFA 2.11 Sonneberg
- [Stielow und Ortlepp 2012] M. Stielow und I. Ortlepp: Antrag zur IMK-Forschung für das Forschungsprogramm 2013, Thüringer Innenministerium, Referat Brandschutz (44) Erfurt, 2012
- [Sung-Wook and Hang 2009] Sung-Wook Yoon Hang Choi: Development of Quantitative Risk Analysis Tool for the Fire Safety in Railway Tunnel, International Forum on Engineering Decision Making Fourth IFED Forum, Hakone, Japan, 13-16 May 2009, 1-24
- [Tarada 2000a] Fathi Tarada: Critical Velocities for Smoke Control in Tunnel Cross-Passages, Paper presented at the First International Conference on Major Tunnel and Infrastructure Projects, 22-24 May 2000, Taipei, Taiwan.
- [Tarada 2000b] F. Tarada, R. Bopp, S. Nyfeler, K.-S. Jegal, D.-S. Kim: Ventilation and Risk Control of the Young Dong Rail Tunnel in Korea, Paper presented at the First International Conference on Major Tunnel and Infrastructure Projects, 22-24 May 2000, Taipei, Taiwan.

- [Tso and Chow 2012] C.Y. Tso and W.K. Chow: Scale Model Studies on Smoke Movement in Inclined Tunnel with Longitudinal Ventilation and Smoke Barriers, International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, Volume 11, Number 2, p.21-26, 2012
- [Yokota and Kawabata 2012] M. Yokota and N. Kawabata: A Study of Chimney Natural Exhaust Effect for Road Tunnel Fire - An evaluation using the numerical simulation of the real scale tunnel, 6th International Conference, TUNNEL SAFETY AND VENTILATION, New Developments in Tunnel Safety – 23-25. April 2012, Graz Austria
- [Van Maele and Merci 2007] K. van Maele and B. Merci: FIRE SAFETY CASE STUDY OF A RAILWAY TUNNEL: SMOKE EVACUATION, THERMAL SCIENCE: Vol. 11 (2007), No. 2, pp. 207-222
- [Wolschendorf et al. 2001] Wolschendorf H.: Technischer Bericht der VFDB: Empfehlungen zur Schadens-bekämpfung bei Brand und Kollision von Reisezügen in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG durch öffentliche Feuerwehren, Ergebnis der Arbeitsgruppe »Tunnelbrandbekämpfung« im Referat 5 Brandbekämpfung der VFDB Stand Dezember 2000, VFDB (2001)3, 145-149
- [Kashef et al. 2003] Kashef, A.; Bénichou, N.; Loughheed, G.: Numerical Modelling of Movement and Behaviour of Smoke Produced from Fires in the Ville-Marie and L.-H. – La Fontaine Tunnels: Literature Review, IRC-RR-141, September 2003

B AUSWAHL VON MESSTECHNIK FÜR DEN NACHWEIS VON FREIGESETZTEM GEFAHRGUT BEI EREIGNISSEN IN EISENBAHTUNNELN

B1 EINLEITUNG

Lagen, an denen Gefahrgüter beteiligt sind, werden durch die Feuerwehren nach den Vorgaben der Feuerwehrdienstvorschrift 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“ (FwDV 500) [AFKzV 2012] abgearbeitet. Nach dieser Vorschrift sind in der ersten Einsatzphase die folgenden Maßnahmen entsprechend der GAMS-Regel durchzuführen:

- **Gefahr erkennen**
- **Absperren**
- **Menschenrettung durchführen**
- **Spezialkräfte alarmieren.**

Die Maßnahme „Gefahr erkennen“ beinhaltet insbesondere die Aufgabe, festzustellen, welche Gefahrgüter am Einsatzort vorhanden sind und möglicherweise freigesetzt wurden. Für die Detektion von freigesetzten Gefahrgütern muss geeignete Messtechnik zur Anwendung kommen. Kriterien für die Auswahl von Messtechnik, die für diese Aufgabe bei Gefahrgutunfällen in Eisenbahntunneln zielführend ist, sollen in diesem Berichtsteil betrachtet werden. Daher wird zunächst darauf eingegangen, welche Gefahrgüter im Eisenbahnverkehr befördert werden. Anschließend werden die Aspekte diskutiert, die für die Auswahl der Messtechnik heran zuziehen sind. Bei der Behandlung des letztgenannten Themenkreises ist besonders zu berücksichtigen, dass die Messtechnik vorrangig von Einsatzkräften aus den Reihen der freiwilligen Feuerwehren genutzt werden soll.

B2 ÜBERBLICK ZU BEFÖRDERTEN GEFAHRGÜTERN IM EISENBAHNVERKEHR

B2.1 Vergleich der beförderten Gefahrgüter im Straßen- und Eisenbahnverkehr

Gefahrgüter sind laut Gesetz „Stoffe und Gegenstände, von denen auf Grund ihrer Natur, ihrer Eigenschaften oder ihres Zustandes im Zusammenhang mit der Beförderung Gefahren für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere für die Allgemeinheit, für wichtige

Gemeingüter, für Leben und Gesundheit von Menschen sowie für Tiere und Sachen ausgehen können“ [GGBefG 2009]. In einer hoch industrialisierten Gesellschaft werden Gefahrgüter in großem Umfang von den verschiedenen Verkehrsträgern befördert. Daten zu Gefahrguttransporten werden in der Bundesrepublik Deutschland für die einzelnen Verkehrsträger in unterschiedlicher Weise erfasst. Nur Gefahrguttransporte mit der Bahn werden seit 2004 differenziert nach Gefahrklassen in einer Vollerhebung von den Unternehmen erfragt. Auskunftspflichtig sind Unternehmen mit einer jährlichen Beförderungsleistung von mindestens 10 Millionen Tonnenkilometern. Zusammen transportieren sie 99 % der gesamten Gütermenge im Schienenverkehr [DESTATIS 2014]. Zum Transport gefährlicher Güter auf der Straße veröffentlicht das Kraftfahrt-Bundesamt Ergebnisse aus der Straßengüterverkehrsstatistik, die als Stichprobenverfahren angelegt ist. Allerdings ist wegen des zu Grunde liegenden Stichprobenumfangs kein vollständiger Nachweis aller Gefahrklassen möglich. Weiterhin gehen ausländische Lastkraftwagen nicht in diese Statistik ein. Ebenfalls sind die Daten für den Gefahrguttransport, der mittels Binnen- und Seeschifffahrt durchgeführt wird, nicht umfassend. Die resultierenden Informationslücken werden vom Statistischen Bundesamt durch Schätzungen geschlossen. Die Vergleichbarkeit des Gefahrguttransports zwischen Straßengüterverkehr, Eisenbahnverkehr, Binnenschifffahrt und Seeverkehr ist damit nicht vollständig gegeben.

Im Jahr 2012 wurden in Deutschland auf Straßen, Schienen und Wasserwegen rund 298 Millionen Tonnen Gefahrgüter transportiert. Die prozentuale Verteilung der Gesamtmenge der transportierten Gefahrgüter auf die einzelnen Verkehrsträger wird in der Abbildung B2.1 veranschaulicht. Weiterhin sind in der Abbildung B2.1 die prozentualen Angaben für die jeweiligen Transportmengen an insgesamt beförderten Gütern enthalten. Als Beförderungsmenge wird die Menge der beförderten Güter bezeichnet. Das Beförderungsgewicht wird einheitlich in allen amtlichen Güterverkehrsstatistiken einschließlich Verpackungsgewicht erhoben. Mit Ausnahme der Seeschifffahrt wird zudem das Gewicht von Ladungsträgern (zum Beispiel Containern) in die Gesamttonnage einbezogen. Die Daten sind einer Veröffentlichung des Statistischen Bundesamtes entnommen [DESTATIS 2014].

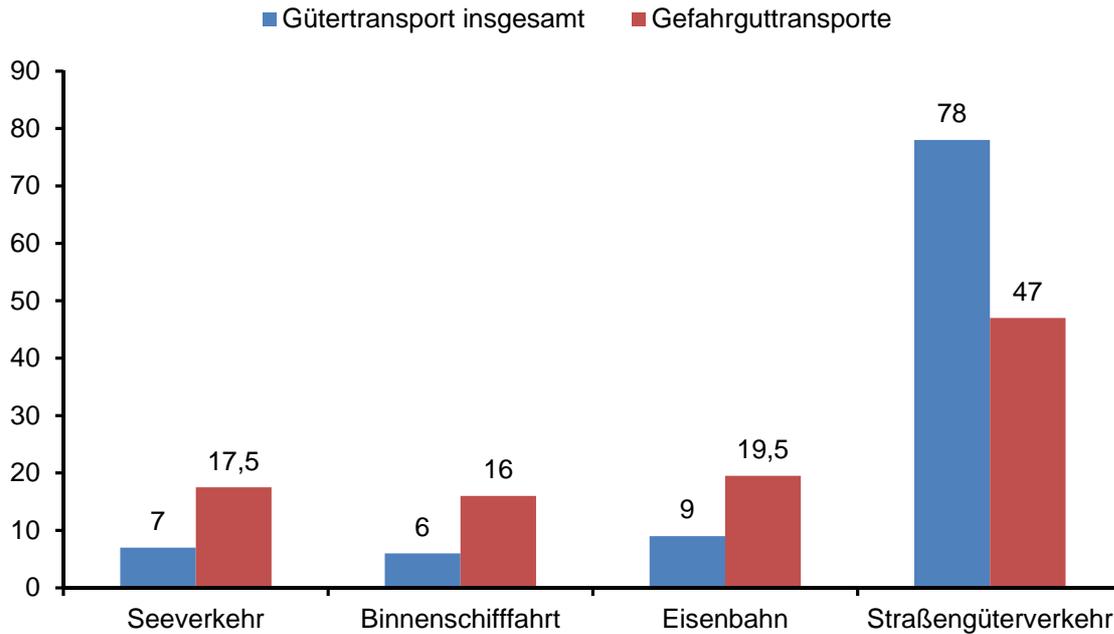


Abbildung B2.1: Prozentualer Anteil an Gütertransporten insgesamt und Gefahrguttransporten der Verkehrsträger Seeverkehr, Binnenschifffahrt, Eisenbahn und Straßengüterverkehr

Aus der Abbildung B2.1 ist ersichtlich, dass Straßengüterfahrzeuge mit ca. 78 % den signifikant größten Anteil des Gesamtaufkommens des Gütertransports realisieren und auch mit 140 Millionen Tonnen bzw. ca. 47 % den Hauptanteil der Gefahrgüter befördern. Diese Daten bringen jedoch auch zum Ausdruck, dass der Anteil des Straßenverkehrs an den Gefahrguttransporten wesentlich geringer ist als der an den gesamten Gütertransporten. Die übrigen Verkehrsträger spielen daher bei Gefahrguttransporten eine größere Rolle in Bezug auf ihre Gesamttonnage. Auf die Eisenbahn entfielen 19,5 % der Gefahrguttransporte bei 9% Anteil am Gesamtgütertransport.

Die Tabelle B2.1 präsentiert die absoluten Werte der Beförderungsmengen im Jahr 2012 für den Gesamtgütertransport und für Gefahrgüter für die einzelnen Verkehrsträger, angegeben in 1000 t. Für den Eisenbahntransport wird dokumentiert, dass nahezu jede sechste beförderte Tonne Gefahrgut ist.

Tabelle B2.1: Beförderungsmengen im Gütertransport insgesamt und im Gefahrguttransport für die Verkehrsträger Seeverkehr, Binnenschifffahrt, Eisenbahn und Straßengüterverkehr

	Beförderungsmenge in 1000 t			
	Seeverkehr	Binnenschiff-fahrt	Eisenbahn	Straßengüter-verkehr
Gesamttransport	295103	223170	366 140	3 159 506
Gefahrgüter	52025	47956	57 955	140 214

Im Rahmen einer vergleichenden Betrachtung des Gütertransports ist neben dem Gewicht der beförderten Gütermenge die zurückgelegte Transportweite zu berücksichtigen. Die Messgröße hierfür ist die sogenannte Beförderungsleistung. Sie stellt das Produkt aus dem Gewicht und der Transportweite dar und wird in der Maßeinheit „Tonnenkilometer (tkm)“ angegeben. Werden beispielsweise in einem Lkw 15 Tonnen über eine Entfernung von 200km zwischen Orten A und B befördert, so ergibt dies eine Beförderungsleistung von 3000tkm.

Statistische Daten über Beförderungsleistungen aus dem Seeverkehr liegen nicht vor. Daher wird hier nur auf die Beförderungsleistungen eingegangen, die durch die Eisenbahn und den Straßenverkehr erbracht werden. Die Tabelle B2.2 zeigt für diese beiden Verkehrsträger die absoluten Verkehrsleistungen sowohl für die Gesamttransporte als auch für den Gefahrguttransport im Jahr 2012 in Mill. tkm. Obwohl die Beförderungsleistung des Straßenverkehrs im Bereich des Gesamtgütertransports viermal höher ist als die Beförderungsleistung der Eisenbahn, erreichen der Straßenverkehr und die Eisenbahn nahezu gleiche Beförderungsleistungen im Gefahrgutsektor (vgl. Tabelle B2.2). Verursacht wird dieses durch sehr unterschiedliche mittlere Transportweiten bei der Eisenbahn und im Straßengüterverkehr. Die mittlere Transportweite im Eisenbahnverkehr lag 2012 im Sektor der Gefahrgutbeförderung bei 321 km und betrug für den Transport aller Güter 301 km. Im Unterschied dazu wurden auf der Straße alle Güter durchschnittlich 148 km befördert und Gefahrgüter 154 km. Die größeren mittleren Beförderungsweiten der Eisenbahn im Vergleich zum Straßentransport begründen den größeren Anteil der Beförderungsleistung für das Gefahrgut an der Gesamt-Beförderungsleistung bei der Eisenbahn im Vergleich zum Straßentransport. Die graphische Darstellung dieser Zusammenhänge befindet sich in der Abbildung B.2.2.

Tabelle B2.2: *Beförderungsmengen, Beförderungsleistungen und Transportweiten für die Eisenbahn und den Straßengüterverkehr*

	Eisenbahn	Straßengüterverkehr
Beförderungsmenge in 1000 t		
Gesamttransport	366 140	3 159 506
Gefahrgüter	57 955	140 214
Beförderungsleistung in Mill. tkm		
Gesamttransport	110065	470607
Gefahrgüter	18596	21679
Mittlere Transportweite in km		
Gesamttransport	301	148
Gefahrgüter	321	154

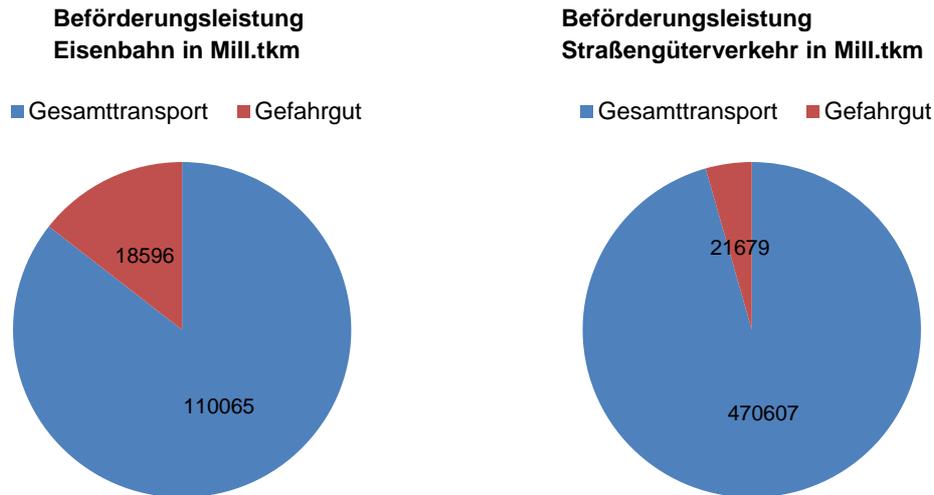


Abbildung B2.2: Beförderungsleistungen des Gesamttransports und des Gefahrguttransports für Eisenbahn und Straßengüterverkehr

B2.2 Gliederung des Gefahrguttransports nach Gefahrklassen

Gefahrguttransporte in Deutschland stellen vor allem Beförderungen von Gütern der Gefahrklasse 3 „Entzündbare flüssige Stoffe“ dar. Zu dieser Klasse gehören zum Beispiel Rohöl, Benzin und Dieselkraftstoff. Die Tonnage dieser Stoffe betrug 2012 bei den Verkehrsträgern Seeschiff, Binnenschiff, Eisenbahn und Straße 200 Millionen Tonnen und damit ca. 67 % der 298,15 Millionen Tonnen Gefahrguttransporte. Die Gefahrklasse 3 beansprucht bei der Eisenbahn ebenso wie bei den anderen drei genannten Verkehrsträgern den größten Anteil an den insgesamt beförderten Gefahrgütern. Dieses wird in der Tabelle B2.3 illustriert.

Tabelle B2.3: Anteil der Gefahrklasse 3 im Gefahrguttransport für die Verkehrsträger Seeverkehr, Binnenschifffahrt, Eisenbahn und Straßengüterverkehr

	Anteile der Gefahrklassen in Prozent			
	Seeverkehr	Binnenschiff-fahrt	Eisenbahn	Straßengüter-verkehr
Gefahrklasse 3	19,5	26	30,5	37
Übrige Gefahrklassen	80,5	74	59,5	63

Eine Übersicht über die prozentualen Anteile aller Gefahrklassen an der Gefahrgütertonnage für den Sektor Eisenbahn beinhaltet die Abbildung B2.4. In der Rangfolge der Anteilswerte

folgen der Gefahrklasse 3 die Gefahrklasse 9 „Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände“ mit 10,5 %, die Gefahrklasse 2 „Gase“ mit 10,3 %, die Gefahrklasse 8 „Ätzende Stoffe“ mit 8,4 % und die Gefahrklasse 6.1 „Giftige Stoffe“ mit 4,8 %. Mit der Platzierung der Gefahrklasse 9 „Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände“ vor den Gefahrklassen 2 und 3 unterscheidet sich der Gefahrguttransport auf der Schiene von der Beförderung von Gefahrgütern durch die See- und Binnenschifffahrt sowie von dem Straßengütertransport. Zusammenfassend kann aus der Abbildung B2.4 die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass der durch die Eisenbahn erbrachte Gefahrguttransport eine breite Vielfalt hinsichtlich der Gefahrklassen aufweist. Auffallend ist die große Menge an beförderten Gütern aus der Gefahrklasse 9 „Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände“ (10,5 %).

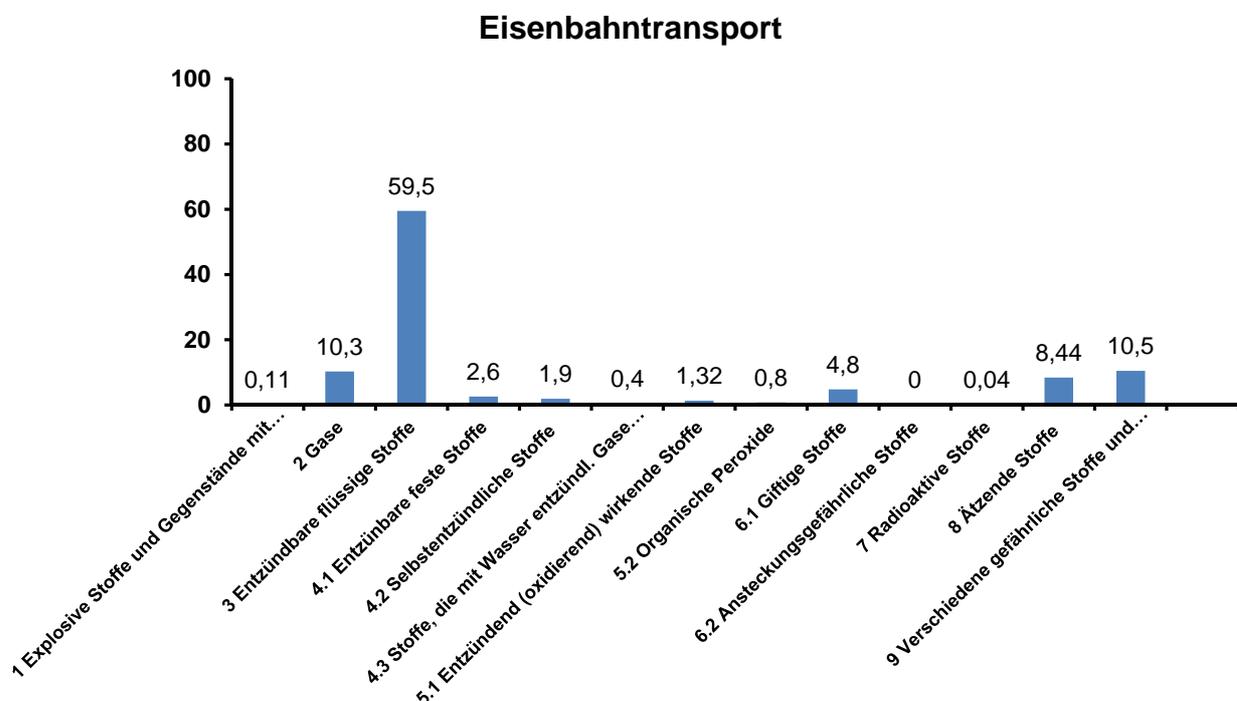


Abbildung B2.4: Anteile der Gefahrklassen an der Gefahrgütertonnage für den Eisenbahntransport in Prozent

B2.3 Verlagerung von Gefahrgut von der Straße auf die Eisenbahn

Wie bereits oben ausgeführt wurde, kommt dem Transport von Gefahrgütern im Eisenbahnverkehr ein höherer Stellenwert zu im Vergleich zum Straßentransport. Dies drückt sich aus in der Gesamtmenge an beförderten Gefahrgütern bezogen auf die jeweilige Gesamttonnage dieser beiden Verkehrsträger. Zu diesem Fakt trägt wesentlich die in der

Gefahrgutordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) vorgeschriebene Verlagerung von Gefahrgütern von der Straße auf die Eisenbahn bei [GGVSEB 2015]. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang darauf, dass im Geltungsbereich der Ordnung für die Internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) eine derartige Regelung nur in der Bundesrepublik Deutschland existiert.

Im Einzelnen schreibt § 35, Absatz (4), Nr.1 der GGVSEB vor, „Güter der Anlage 1 dürfen auf der Straße nicht befördert werden, wenn das gefährliche Gut in einem Gleis- oder Hafenananschluss verladen und entladen werden kann, es sei denn, dass die Entfernung auf dem Eisenbahn- oder Wasserweg mindestens doppelt so groß ist wie die tatsächliche Entfernung auf der Straße.“ Die genannte Anlage 1 listet eine große Anzahl von Gefahrgütern verschiedener Gefahrklassen auf. Beispielhaft sollen hier die Absätze 2.2 und 3 der Anlage beleuchtet werden.

Der Absatz 2.2 der Anlage lautet: „Für die in der Tabelle 2.2 genannten Stoffe gilt § 35 ab jeweils 1.000 kg Nettomasse in einer Beförderungseinheit.“ Das heißt, dass diese Gefahrgüter bei einer Menge größer als 1.000 kg je Beförderung auf der Schiene oder per Schiff zu transportieren sind. Die nachfolgende Tabelle B2.3 stellt die Stoffe zusammen, für die diese Regelung anzuwenden ist. Zur Veranschaulichung des Gefährdungspotentials der einzelnen Gefahrgüter dienen die zusätzlichen Angaben in der Tabelle B2.3, wie AEGL-2-Wert für 4 Stunden (wenn vorhanden), Gefahrklasse und Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr. Der AEGL-2-Wert gibt die Konzentration einer Substanz in Luft an, bei der angenommen wird, dass die Bevölkerung einschließlich empfindlicher Personen für die angegebene Zeitdauer exponiert sein kann, ohne dass irreversible oder andere ernste Gesundheitsbeeinträchtigungen auftreten oder dass die Fähigkeit zur Flucht beeinträchtigt wird.

Tabelle B2.3: Stoffe der Gefahrklasse 2, die entsprechend § 35, Absatz (4), Nr.1 der GGVSEB bei einer Beförderungsmenge ab 1.000 kg auf der Schiene zu transportieren sind

UN-Nummer	Bezeichnung	AEGL-2 (4h) (ppm)	Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr*
Gefahrklasse 2 „Gase“			
1005	AMMONIAK, WASSERFREI	110	268
1010	BUTADIENE, STABILISIERT oder BUTADIENE UND KOHLENWASSERSTOFF, GEMISCH, STABILISIERT, das bei 70 °C einen Dampfdruck von nicht mehr als 1,1 MPa (11 bar) hat und dessen Dichte bei 50 °C den Wert von 0,525 kg/l nicht unterschreitet		239
1017	CHLOR	1	265
1030	1,1-DIFLUORETHAN (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 152a)		23
1032	DIMETHYLAMIN, WASSERFREI	40	23
1033	DIMETHYLETHER		23
1035	ETHAN		23
1036	ETHYLAMIN	22	23

Fortsetzung Tabelle B2.3

UN-Nummer	Bezeichnung	AEGL-2 (4h) (ppm)	Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr*
1037	ETHYLCHLORID		23
1038	ETHYLEN, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG		223
1040	ETHYLENOXID		263
1040	ETHYLENOXID MIT STICKSTOFF bis zu einem Gesamtdruck von 1 MPa(10 bar) bei 50 °C		263
1041	ETHYLENOXID UND KOHLENDIOXID, GEMISCH mit mehr als 9 %, aber höchstens 87 % Ethylenoxid		239
1045	FLUOR, VERDICHTET	2,3	265
1048	BROMWASSERSTOFF, WASSERFREI	11	268
1050	CHLORWASSERSTOFF, WASSERFREI	11	268
1053	SCHWEFELWASSERSTOFF	20	263
1060	METHYLACETYLEN UND PROPADIEN, GEMISCH, STABILISIERT (Gemisch P 1) (Gemisch P 2)		239
1061	METHYLAMIN, WASSERFREI	31	23
1062	METHYLBROMID mit höchstens 2 % Chlorpikrin		26
1063	METHYLCHLORID (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 40)	570	23
1064	METHYLMERCAPTAN	30	263
1067	DISTICKSTOFFTETROXID (STICKSTOFFDIOXID)	8,2	265
1076	PHOSGEN	0,096	268
1079	SCHWEFELDIOXID	0,75	268
1082	CHLORTRIFLUORETHYLEN, STABILISIERT		263
1083	TRIMETHYLAMIN, WASSERFREI		23
1085	VINYLBROMID, STABILISIERT		239
1086	VINYLCHLORID, STABILISIERT		239
1087	VINYLMETHYLETHER, STABILISIERT		239
1581	CHLORPIKRIN UND METHYLBROMID, GEMISCH mit mehr als 2 % Chlorpikrin		26
1582	CHLORPIKRIN UND METHYLCHLORID, GEMISCH		26
1741	BORTRICHLORID		268
1860	VINYLFLUORID, STABILISIERT		239
1912	METHYLCHLORID UND DICHLORMETHAN, GEMISCH		23
1959	1,1-DIFLUORETHYLEN (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 1132a)		239
1961	ETHAN, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG		223
1962	ETHYLEN		23
1966	WASSERSTOFF, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG		223
1972	METHAN, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG oder ERDGAS, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG, mit hohem Methangehalt		223
2517	1-CHLOR-1,1-DIFLUORETHAN (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 142b)		23
3138	ETHYLEN, ACETYLEN UND PROPYLEN, GEMISCH, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG, mit mindestens 71,5 % Ethylen, höchstens 22,5 % Acetylen und höchstens 6 % Propylen		223
3160	VERFLÜSSIGTES GAS, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G.		263
3300	ETHYLENOXID UND KOHLENDIOXID, GEMISCH mit mehr als 87 % Ethylenoxid		263
3312	GAS, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G.		223

* Erläuterung der Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr:

223	tiefgekühlt verflüssigtes Gas, entzündbar
23	entzündbares Gas
239	entzündbares Gas, das spontan zu einer heftigen Reaktion führen kann
26	giftiges Gas
263	giftiges Gas, entzündbar
265	giftiges Gas, oxidierend (brandfördernd)
268	giftiges Gas, ätzend

Absatz 3 der Anlage 1 zur GGVSEB beinhaltet die nachfolgende Anweisung: „Für die Tabelle 3 genannten flüssigen Stoffe der Klassen 3, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1 und 8 der

Verpackungsgruppe I gilt § 35 ab jeweils 1.000 kg Nettomasse, sofern diese Stoffe in festverbundenen Tanks oder Aufsetztanks oder Tankcontainern oder ortsbeweglichen Tanks mit einem Einzelfassungsraum von mehr als 3.000 Liter befördert werden“. Die von dieser Regelung betroffenen Gefahrgüter beinhaltet die Tabelle B2.4.

Tabelle B2.4: Stoffe der Gefahrklassen 3, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1 und 8, die entsprechend § 35, Absatz (4), Nr.1 der GGVSEB bei einer Beförderungsmenge ab 1.000 kg auf der Schiene zu transportieren sind, sofern diese Stoffe in festverbundenen Tanks oder Aufsetztanks oder Tankcontainern oder ortsbeweglichen Tanks mit einem Einzelfassungsraum von mehr als 3.000 Liter befördert werden

UN-Nummer	Bezeichnung	AEGL-2 (4 h) (ppm)	Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr
Gefahrklasse 3 „Entzündbare flüssige Stoffe“			
1093	ACRYLNITRIL, STABILISIERT		336
1099	ALLYLBROMID		336
1100	ALLYLCHLORID	34	336
1131	KOHLENSTOFFDISULFID	100	336
1921	PROPYLENIMIN, STABILISIERT		336
Gefahrklasse 4.2 „Selbstentzündliche Stoffe“			
3394	PYROPHORER METALLORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, MIT WASSER REAGIEREND		X333
Gefahrklasse 4.3 „Stoffe, die mit Wasser entzündliche Gase bilden“			
1928	METHYLMAGNESIUM-BROMID IN ETHYLETHER		X333
3399	MIT WASSER REAGIERENDER METALLORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, ENTZÜNDBAR		X323
Gefahrklasse 5.1 „Entzündbare feste Stoffe, selbstzersetzliche Stoffe und desensibilisierte explosive Stoffe“			
1745	BROMPENTAFLUORID	0,48	568
1746	BROMTRIFLUORID	0,7	568
1873	PERCHLORSÄURE mit mehr als 50 Masse-%, aber höchstens 72 Masse-% Säure		558
2015	WASSERSTOFFPEROXID, WÄSSERIGE LÖSUNG, STABILISIERT, mit mehr als 60 %, aber höchstens 70 % Wasserstoffperoxid		559
2015	WASSERSTOFFPEROXID, WÄSSERIGE LÖSUNG, STABILISIERT, mit mehr als 70 % Wasserstoffperoxid		559
Gefahrklasse 6.1 „Organische Peroxide“			
1092	ACROLEIN, STABILISIERT		663
1098	ALLYLALKOHOL	3,1	663
1135	ETHYLENCHLORHYDRIN	1,6	663
1182	ETHYLCHLORFORMIAT	0,4	663
1185	ETHYLENIMIN, STABILISIERT	3,6	663
1238	METHYLCHLORFORMIAT	1,4	663
1259	NICKELTETRACARBONYL	0,009	663
1510	TETRANITROMETHAN	0,33	665
1541	ACETONCYANHYDRIN, STABILISIERT		669
1553	ARSENSÄURE, FLÜSSIG		66
1556	ARSENVERBINDUNG, FLÜSSIG, N.A.G., anorganisch, einschließlich Arsenate, n.a.g., Arsenite, n.a.g. und Arsensulfide, n.a.g.		66
1560	ARSENTRICHLORID		66
1580	CHLORPIKRIN	0,15	66
1595	DIMETHYLSULFAT	0,061	668
1613	CYANWASSERSTOFF, WÄSSERIGE LÖSUNG (CYANWASSERSTOFF-SÄURE, WÄSSERIGE LÖSUNG) mit höchstens 20 % Cyanwasserstoff		663
1649	ANTILOPFMISCHUNG FÜR MOTORKRAFTSTOFF		66
1670	PERCHLORMETHYL-MERCAPTAN		66
1672	PHENYLCARBYLAMIN-CHLORID		66

Fortsetzung Tabelle B2.3

UN-Nummer	Bezeichnung	AEGL-2 (4 h) (ppm)	Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr
1694	PHENYLCARBYLAMIN-CHLORID		66
1722	ALLYLCHLORFORMIAT	0,18	668
1935	CYANID, LÖSUNG, N.A.G.		66
1994	EISENPENTACARBONYL	0,037	663
2334	ALLYLAMIN		663
2337	PHENYLMERCAPTAN	0,33	663
2382	DIMETHYLHYDRAZIN, SYMMETRISCH		663
2558	EPIBROMHYDRIN		663
2606	METHYLORTHOSILICAT		663
2810	GIFTIGER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.		66
3017	ORGANOPHOSPHOR-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber		663
3018	ORGANOPHOSPHOR-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG		66
3079	METHACRYLNITRIL, STABILISIERT		663
Gefahrklasse 8 „Ätzende Stoffe“			
1052	FLUORWASSERSTOFF, WASSERFREI.	12	886
1739	BENZYLCHLORFORMIAT	0,63	88
1744	BROM oder BROM, LÖSUNG	0,13	886
1777	FLUORSULFONSÄURE		88
1790	FLUORWASSERSTOFF-SÄURE mit mehr als 60 % Fluorwasserstoff, aber höchstens 85 % Fluorwasserstoff		886
1790	FLUORWASSERSTOFF-SÄURE mit mehr als 85 % Fluorwasserstoff		886
1829	SCHWEFELTRIOXID, STABILISIERT		X88
2699	TRIFLUORESSIGSÄURE		88

* Erläuterung der Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr:

X323	entzündbarer flüssiger Stoff, der mit Wasser gefährlich reagiert und entzündbare Gase bildet – Wasser darf nur im Einverständnis mit Sachverständigen verwendet werden
X333	pyrophorer flüssiger Stoff, der mit Wasser gefährlich reagiert – Wasser darf nur im Einverständnis mit Sachverständigen verwendet werden
336	leicht entzündbarer flüssiger Stoff, giftig
558	stark oxidierender (brandfördernder) Stoff, ätzend
559	stark oxidierender (brandfördernder) Stoff, der spontan zu einer heftigen Reaktion führen kann
568	oxidierender (brandfördernder) Stoff, giftig, ätzend
66	sehr giftiger Stoff
663	sehr giftiger Stoff, entzündbar (Flammpunkt nicht über 60 °C)
668	sehr giftiger Stoff, ätzend
88	stark ätzender Stoff
X88	stark ätzender Stoff, der mit Wasser gefährlich reagiert – Wasser darf nur im Einverständnis mit Sachverständigen verwendet werden
886	stark ätzender Stoff, giftig

Zusätzlich zu den in den Tabellen B2.3 und B2.4 aufgelisteten Stoffen sind entsprechend §35, Absatz (4), Nr.1 der GGVSEB weitere Stoffe bei einer Beförderungsmenge größer als 1.000 kg nicht für einen Transport auf der Straße zugelassen. Diese gehören nahezu ausschließlich der Gefahrklasse 1 an (Explosive Stoffe und Gegenstände mit Explosivstoff). Die in den Tabellen B2.3 und B2.4 genannten Stoffe werden später in dieser Arbeit exemplarisch herangezogen, um verschiedene Aspekte für die Auswahl von Messtechnik für die Detektion von freigesetzten Gefahrgütern zu diskutieren. Die Begründung für diese Entscheidung liegt darin, dass sie die Gefahrklassen repräsentieren, auf die der größte Anteil des Gesamtgütertransports bei der Eisenbahn entfällt.

B2.4 Statistische Daten zu Unfällen mit Beteiligung von Gefahrgut im Eisenbahntransport

Daten zu Unfällen im Zusammenhang mit der Beförderung von Gefahrgut liefern mit unterschiedlichen Erfassungskriterien verschiedene Quellen:

- *Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG) [UStatG 2006]:*
 - § 9 *Erhebungen der Unfälle beim Umgang mit und bei der Beförderung von sowie der Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen*
 - (2) *Die Erhebung erfasst bei den nach Landesrecht für die Entgegennahme der Anzeigen über Unfälle bei der Beförderung wassergefährdender Stoffe und für die Beseitigung von Unfallfolgen zuständigen Behörden jährlich, beginnend mit Berichtsjahr 2006, die Erhebungsmerkmale*
 - *Art des Beförderungsmittels und der Umschließung,*
 - *Ort und Datum des Unfalls, hilfsweise Datum der Feststellung,*
 - *Ursache des Unfalls,*
 - *Art, Menge und maßgebende Wassergefährdungsklasse des beförderten, ausgetretenen und wiedergewonnenen Stoffes, unterteilt in Ladegut und Betriebsstoff des eingesetzten Fahrzeugs,*
 - *Unfallfolgen*
 - *Maßnahmen der Schadensbeseitigung.*
 - (3) *Als Unfall im Sinne der Absätze 1 und 2 gilt das Austreten einer im Hinblick auf den Schutz der Gewässer nicht unerheblichen Menge wassergefährdender Stoffe.*

- *Ereignisberichte gemäß Abschnitt 1.8.5 ADR/RID*

Ereignet sich bei der Beförderung gefährlicher Güter ein schwerer Unfall oder Zwischenfall, muss der Beförderer gem. § 4 Abs. 2 GGVSEB [GGVSEB 2015] sicherstellen, dass der zuständigen Behörde ein Bericht vorgelegt wird. Ein meldepflichtiges Ereignis liegt vor, wenn

 - *gefährliches Gut ausgetreten ist oder die unmittelbare Gefahr des Austretens bestand,*
 - *ein Personen-, Sach- oder Umweltschaden eingetreten ist oder Behörden beteiligt waren.*

Entsprechend Unterabschnitt 1.8.5.3 des ADR/RID [RID/ADR/ADN 2011] liegt ein Produktaustritt vor, „wenn gefährliche Güter

 - *der Beförderungskategorie 0 oder 1 ab 50 kg oder Liter,*
 - *der Beförderungskategorie 2 ab 333 kg oder Liter*

o der Beförderungskategorie 3 oder 4 ab 1000 kg oder Liter ausgetreten ist. Das Kriterium des Produktaustritts liegt auch vor, wenn die unmittelbare Gefahr eines Produktaustritts in der vorgenannten Menge bestand. In der Regel ist dies anzunehmen, wenn das Behältnis aufgrund von strukturellen Schäden für die nachfolgende Beförderung nicht mehr geeignet ist oder aus anderen Gründen keine ausreichende Sicherheit gewährleistet ist (z. B. durch Verformung von Tanks oder Containern, Umkippen eines Tanks oder Brand in unmittelbarer Nähe).“

- **Gefahrgutunfälle nach Verkehrsstatistikgesetz (Schiene)**

§ 21 des Verkehrsstatistikgesetzes (VerkStatG) [VerkStatG 2004] fordert unter anderem die jährliche Erhebung der „Verkehrsunfälle auf Schienenstrecken des öffentlichen Verkehrs, an denen mindestens ein bewegtes – beim Zusammenprall auch haltendes – Schienenfahrzeug im Fahrbetrieb beteiligt war“ mit folgenden Erhebungsmerkmalen:

„1. Zahl der Unfälle mit Personen- oder Sachschaden und Zahl der Verunglückten nach Art des Schienenverkehrsmittels und nach der Unfallart; Zahl der Verunglückten auch nach der Verletzungsschwere und mit Todesfolge (Getötete); nach dem Personenkreis und nach der Art der Verkehrsbeteiligung.

2. Zahl der Unfälle beim Transport gefährlicher Güter nach Unfällen mit Personen- oder Sachschaden; Zahl der Unfälle mit Gefahrgutaustritt auch nach der Unfallart.

Zusätzlich wird die Zahl der Unfälle erfasst, die durch Brand ausgelöst wurden (wie z.B. durch Selbstentzündung) und keine Verkehrsunfälle darstellen.“

Gefahrgutunfälle nach Umweltstatistikgesetz (UStatG)

Im Rahmen der vorliegenden Betrachtungen werden als Datenbasis für Gefahrgutunfälle im Eisenbahntransport die Erhebungen nach dem Umweltstatistikgesetz herangezogen, da hier im Vergleich zu den anderen genannten Quellen die detailreichsten Informationen angeboten werden. Weiterhin können nur Angaben bis zum Jahr 2011 ausgewertet werden, da Daten zu den Folgejahren bisher nicht recherchierbar sind.

Tabelle B2.5 stellt die Erhebung der Gefahrgutunfälle nach UStatG für die Jahre 1999 bis 2011 in Abhängigkeit vom Verkehrsträger zusammen [BAM 2014]. Die Tabelle B2.6 vergleicht die sich in den Jahren 2010 und 2011 ereigneten Gefahrgutunfälle mit den dabei freigesetzten Gefahrgutmengen für die Verkehrsträger Straße, Schien und Schiff [BAM 2014].

Tabelle B2.5: Erhebung der Gefahrgutunfälle nach UStatG für die Jahre 1999 bis 2011 in Abhängigkeit vom Verkehrsträger [BAM 2014]

Jahr	Gefahrgutunfälle												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Insgesamt	85	86	79	74	57	57	68	69	91	46	39	39	74
Straße	77	75	73	67	51	47	62	64	70	37	30	32	60
Schiene	2	1	1	4	1	3	-	-	9	3	1	3	9
Schiff	5	9	5	3	5	7	6	5	12	6	8	4	5

Tabelle B2.6: Vergleich der Anzahl der Gefahrgutunfälle und die freigesetzten Gefahrgutmengen für die Jahre 2010 und 2011 [BAM 2014]

	Anzahl der Gefahrgutunfälle		Freisetzungsmenge [m ³]	
	2010	2011	2010	2011
Insgesamt	39	74	24,7	1.168,2
Straße	32	60	23,8	111,1
Schiene	3	9	0,4	100,8
Schiff	4	5	0,5	956,3

In 2010 handelte es sich bei den erfassten Beförderungsunfällen (ohne Rohrfernleitungen) in 39 Fällen um eindeutig identifizierte Gefahrgutunfälle. Das entspricht ca. 2,4 % aller Beförderungsunfälle. Im Jahr 2011 machten die 74 identifizierten Gefahrgutunfälle einen Anteil von ca. 5 % an allen Beförderungsunfällen aus.

Bei den Gefahrgutunfällen wurden im Jahr 2010 24,7 m³ Gefahrgut freigesetzt, was 5,3 % der freigesetzten Gesamtmenge aller Beförderungsunfälle entspricht. Es handelt sich in 2010 um die geringste erfasste Freisetzungsmenge an Gefahrgütern seit 1998.

Für das Jahr 2011 wurde mit 1.168,2 m³ und damit 49 % Anteil an der gesamten freigesetzten Menge die größte Freisetzungsmenge an Gefahrgütern seit 1998 verzeichnet.

Hinsichtlich der Verteilung der freigesetzten Gefahrgutmengen ist aus Tabelle B2.6 zu erkennen, dass sich im Jahr 2010 82 % und im Jahr 2011 81 % aller Gefahrgutunfälle auf der Straße ereigneten. Im Jahr 2010 traten dort 96 % der bei Gefahrgutunfällen freigesetzten Stoffmengen aus, während der sehr geringe Anteil von 4 % auf Schiffs- und Eisenbahnunfälle entfiel.

Die Ereignisse des Jahres 2011 geben hinsichtlich der Auswirkungen von Gefahrunfällen bei den verschiedenen Verkehrsträgern Anlass zu einer wesentlichen Schlussfolgerung: Bei 2 der insgesamt 9 Gefahrgutunfälle im Schienenverkehr sind 100,7 m³ der Gefahrklasse 3 ausgetreten. Damit ist allein bei diesen 2 Unfällen die gleiche Größenordnung an freigesetzter Stoffmenge zu verzeichnen wie bei den 60 Unfällen, die auf der Straße ausgelöst wurden (vgl. Tabelle B2.6). Noch signifikanter trifft dieser Aspekt auf den Schiffsverkehr zu. Hier sind im Jahr 2011 bei einem Schiffsunfall 950 m³ Gefahrgut der Klasse 8 ausgetreten und damit ca. 81 % der insgesamt bei Gefahrgutunfällen in diesem Jahr freigesetzten Stoffmenge. Der Fakt, dass im Eisenbahn- und Schiffsverkehr bei einem Gefahrgutunfall im Vergleich zum Gefahrgutunfall auf der Straße wesentlich größere Stoffmengen austreten können, liegt in den größeren Beförderungseinheiten je Transport bei diesen beiden Verkehrsträgern begründet.

Abgesehen von „Ausreißern“, die durch größere Unfälle verursacht werden, liegt die Freisetzungsrates bezogen auf die jeweils beförderte Gesamtgefahrgutmenge bei Eisenbahn- und Schiffsverkehr sonst generell niedriger als beim Straßentransport.

Die Analyse der registrierten Gefahrgutunfälle unter dem Aspekt der Zugehörigkeit der freigesetzten Stoffe zu Gefahrklassen kann nicht für die einzelnen Verkehrsträger differenziert werden, da dieses Datenmaterial nicht für alle Gefahrklassen in der notwendigen Detailtiefe zur Verfügung steht. Die Tabelle B2.7 zeigt die in Jahren 2010 und 2011 freigesetzten Gefahrgüter in ihrer Verteilung auf die Gefahrklassen.

Tabelle B2.7: Verteilung der in den Jahren 2010 und 2011 freigesetzten Gefahrgüter auf die Gefahrklassen [BAM 2014]

Gefahrklasse	Anzahl der Gefahrgutunfälle		Freisetzungsmenge (m ³)	
	2010	2011	2010	2011
1 (explosive Stoffe und Gegenstände mit Explosivstoff)	2	-	0,0 (0 %)	-
2 (Gase und Druckgaspackungen)	1	5	1,0 (4 %)	1,1 (< 0,1 %)
3 (entzündbare, flüssige Stoffe)	29	49	7,1 (29 %)	191,2 (16,4 %)
4.1 (entzündbare feste Stoffe, selbstentzündliche Stoffe und desensibilisierte explosive Stoffe)	1	2	2,5 (10 %)	0,3 (< 0,03 %)
4.2 (selbstentzündliche Stoffe)	-	1	-	9,2 (0,8 %)
5.1 (entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe)	-	1	-	0,1 (< 0,01 %)
6.1 (giftige Stoffe)	-	2	-	11,5 (1 %)
8 (ätzende Stoffe)	4	8	7,2 (29 %)	951,0 (81,4 %)
9 (verschiedene Stoffe und Gegenstände)	2	6	7,0 (28 %)	3,8 (0,3 %)
Gesamt	39	74	24,7 (100 %)	1.168,2 (100 %)

* Prozentangaben sind teilweise stark gerundet

Ungeachtet der bereits oben geschilderten Auffälligkeiten für das Jahr 2011 bringen die Angaben aus der Tabelle B2.7 zum Ausdruck, dass die meisten Unfälle unter Beteiligung von Gefahrgut den Gefahrklassen 3 (Entzündbare, flüssige Stoffe) und 8 (Ätzende Stoffe) zuzuordnen sind.

B3 RECHTLICHE REGELUNGEN FÜR DIE GEWÄHRLEISTUNG DER SICHERHEIT IM SCHIENENVERKEHR

B3.1 Allgemeines

Die gesetzlichen Sicherheitsanforderungen für den Schienenverkehr sind im „Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG)“ geregelt. § 4 (1) des AEG lautet [AEG 1993]:

„Die Eisenbahnen sind verpflichtet, ihren Betrieb sicher zu führen und die Eisenbahninfrastruktur, Fahrzeuge und Zubehör sicher zu bauen und im betriebssicheren Zustand zu halten. Sie sind verpflichtet, an Maßnahmen des Brandschutzes und der Technischen Hilfeleistung mitzuwirken.“

Von Seiten der DB AG wird der gesetzliche Auftrag zur Mitwirkungspflicht durch die Etablierung eines Notfallmanagementsystems umgesetzt [DB AG 2012]. Auf die Aufgaben dieses Notfallmanagementsystems im Rahmen von Gefahrguteinsätzen wird im folgenden Kapitel B3.2 eingegangen.

In einer im Jahr 1998 geschlossenen Vereinbarung zwischen allen Bundesländern und der DB AG als größtem Eisenbahnunternehmen und größte Eisenbahn des Bundes wurden Grundsatzpositionen zu der aus § 4 (1) des AEG resultierenden Mitwirkungspflicht und zu der Zusammenarbeit festgeschrieben (sogenannte „Ländervereinbarung“) [Ländervereinbarung 1998].

Mit Einzelfragen zu dieser Vereinbarung hat sich eine AK V- bzw. AFKzV-Länderarbeitsgruppe befasst. In ihrem Abschlussbericht aus dem Jahr 2002 formuliert die Arbeitsgruppe im Hinblick auf das im Rahmen der Vereinbarung entwickelte Sicherheitskonzept folgende Klarstellung [Länderarbeitsgruppe 2002]:

„Das Sicherheitskonzept gemäß Nr.3.4 der „Ländervereinbarung“ dient der Gefahrenabwehr und legt die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Menschenrettung, Brandbekämpfung und Technische Hilfeleistung fest. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Einrichtungen und Einheiten des Brand- und Katastrophenschutzes im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit zur Verfügung stehen – das heißt: unter Berücksichtigung der jeweiligen Einsatzmöglichkeiten, insbesondere jedoch unter Berücksichtigung der jeweiligen Einsatzgrenzen der Feuerwehr!“

In der „Ländervereinbarung“ hatten die Länder sich darüber verständigt, dass die Deutsche Bahn AG und die zuständigen Landes- und Kommunaleinrichtungen eine Gefährdungsanalyse des Schienenverkehrs der Deutschen Bahn AG erarbeiten. Die AK V- bzw. AFKzV-Länderarbeitsgruppe gibt die Empfehlung, in grob-qualitativem Herangehen bei Eisenbahnunfällen drei Schadens- und Ereignisszenarien in Betracht zu ziehen:

- Brände mit und ohne Menschenrettung beim Reise- und Güterverkehr auf der freien Strecke und in Tunnelanlagen

- Technische Hilfeleistungen mit und ohne Menschenrettung beim Reise- und Güterverkehr auf der freien Strecke und in Tunnelanlagen
- Transportunfälle mit und ohne Gefahrgüter, mit und ohne Menschenrettung auf der freien Strecke und in Tunnelanlagen.

Das Referat 5 „Brandbekämpfung“ der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) wurde beauftragt, Ereignis- und Brandszenarien speziell für Neubautunnelanlagen detailliert zu entwickeln und Überlegungen zum Einsatzkonzept abzuleiten. Die Arbeiten wurden unter dem Titel „Empfehlungen zur Schadensbekämpfung bei Brand- und Kollision von Reisezügen in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG durch öffentliche Feuerwehren“ (Stand: Dezember 2000) im Jahr 2001 in der vfdb-Zeitschrift veröffentlicht [vfdb 2001]. Aus dem Titel ist bereits zu entnehmen, dass sich die aufbereiteten Szenarien auf Ereignisse beschränken, die im Zusammenhang mit Reisezügen stehen. Ereignisse, in denen ausschließlich Güterzüge beteiligt sind, und Unfälle von Güterzügen, die Gefahrgüter transportieren, wurden diskutiert, jedoch nicht tiefer gehend verfolgt. Es wird argumentiert, dass sich in diesen Fällen die Rettung von Personen in der Regel nur auf den Lokführer beziehen muss und daher mit dem vorhandenen Rettungskonzept für den Schienenverkehr abgedeckt ist. In dieser Studie wird die Meinung vertreten, dass aufwändige Lagen der technischen Hilfeleistung über den Personenschutz hinaus (z.B. Bergung entgleister Züge) oder der Gefahrguteinsatz im Tunnel nur durch Zusammenwirken aller Fachdienste zu bewältigen sind.

Die AK V- bzw. AFKzV-Länderarbeitsgruppe bewertet ebenfalls die „Schematisierung des Einsatzes durch Schadens- und Ereignisszenarien zur Einsatzvorbereitung bei Gefahrgutunfällen im Gleisbereich wegen der Vielzahl von denkbaren Einsatzfällen und unterschiedlichen Rahmenbedingungen als nicht zweckdienlich. Sie schränkt vielmehr auch die dynamische Entschlusskraft und Entscheidungsfreudigkeit des Einsatzleiters und der Einheitsführer ein.“ Die Länderarbeitsgruppe verweist auf die grundsätzlich bei Gefahrgutunfällen üblichen anerkannten Regeln der Einsatztaktik bei Berücksichtigung der für Eisenbahnunfälle zutreffenden Sonderfälle

- der großen Mengen von Gefahrstoffen und
- der Zugänglichkeit zum Schadensort.

Der Aspekt der Zugänglichkeit zum Schadensort stellt bei Gefahrguteisätzen in Tunnelanlagen insbesondere bereits in der Phase der Erkundung ein erhebliches Erschwernis dar.

Das Referat 5 der vfdb hat ein Merkblatt zur „Gefahrenabwehr im Bereich von öffentlichen Eisenbahnen – insbesondere Gefahrguteinsätze“ herausgegeben [vfdb 2004]. Den Schwerpunkt legt dieses Merkblatt auf die Gewinnung von Informationen zu dem beförderten Gefahrgut bei Unfällen im Eisenbahntransport.

B3.2 Aufgaben des Notfallmanagementsystems der Deutschen Bahn AG bei Ereignissen im Schienenverkehr unter Beteiligung von Gefahrgut

Die Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an Planung, Bau und Betrieb von Schienenwegen nach AEG“ (sogenannte „EBA-Richtlinie“) verpflichtet die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)¹ zum Aufbau eines Notfallmanagementsystems [EBA 2012]. Die DB Netz AG als Eisenbahninfrastrukturunternehmen der DB AG betreibt bundesweit sieben Notfallleitstellen als zentrale Melde- und Alarmierungsstelle. Die Notfallleitstellen sind rund um die Uhr Ansprechpartner für die kommunalen Leitstellen, Notrufabfragestellen oder Einsatzzentralen. **Über die Notfallleitstelle lassen sich im Ereignisfall alle relevanten Daten zu Gefahrgut in einem Zug abfordern.** Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)¹ sind grundsätzlich nicht verpflichtet, diese Daten dem EIU vorab zur Verfügung zu stellen. Diese Unternehmen müssen dann jedoch gewährleisten, dass diese Informationen während der Beförderung schnell und uneingeschränkt zur Verfügung gestellt werden können. Hierfür muss das EVU mindestens über eine durchgehend besetzte Leitstelle und ein EDV-System verfügen, aus dem die Informationen jederzeit abgerufen werden können [DB AG 2012].

Diese Verpflichtung gilt sowohl für den innerstaatlichen als auch den inngemeinschaftlichen und den grenzüberschreitenden Verkehr. Der Umfang der Daten, auf die Zugriff bestehen muss, ist im Unterabschnitt 1.4.3.6 der „Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID) zusammengestellt [RID 2015]:

- *Zusammensetzung des Zuges durch Angabe der Nummer jedes einzelnen Wagens und der Wagengattung, sofern diese nicht bereits in der Wagenummer enthalten ist.*

¹ Gemäß § 2 (2) AEG umfasst das Betreiben einer Eisenbahninfrastruktur den Bau und die Unterhaltung von Schienenwegen sowie die Führung von Betriebsleit- und Sicherheitssystemen.

Gemäß § 2 (2) AEG erbringen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) Eisenbahnverkehrsleistungen in Form von Personenbeförderung oder Gütertransport auf einer Eisenbahninfrastruktur.

Mit dem „Eisenbahnneuordnungsgesetz (ENeuOG)“ vom 27.12.1993 wurde die Deutsche Bundesbahn als Einrichtung des Bundes zum 01.01.1994 als Deutsche Bahn AG (DB AG) privatisiert. Die DB AG betreibt einerseits eine Eisenbahninfrastruktur und erbringt andererseits auch Eisenbahnverkehrsleistungen.

- *UN-Nummern der in oder auf jedem einzelnen beförderten gefährlichen Güter, sofern diese im Beförderungspapier angegeben werden müssen, oder, wenn nur in begrenzten Mengen verpackte Güter gemäß Kapitel 3.4 befördert werden und eine Kennzeichnung des Wagens oder Großcontainers gemäß Kapitel 3.4 vorgeschrieben ist, die Angabe, dass solche Güter vorhanden sind.*
- *Position jedes einzelnen Wagens im Zug (Wagenreihung).*
- *Diese Angaben dürfen nur denjenigen Stellen zur Verfügung gestellt werden, die diese für Sicherheits-, Sicherungs- und Notfalleinsatzzwecke benötigen.*

Die Möglichkeit, im Eisenbahnverkehr ständig und uneingeschränkt Zugriff auf die relevanten Informationen zum Gefahrgut zu erhalten, stellt gegenüber der Beförderung von Gefahrgütern im Straßengüterverkehr eine Besonderheit dar.

In Analogie zum Straßengüterverkehr muss auch im Eisenbahnverkehr zu jedem Versandstück ein Beförderungspapier existieren, das u. a. Angaben zum Versender, zum Empfänger, zur Menge und zur Art des Gefahrgutes enthält. Hier sind auch die Nummer zur Kennzeichnung der Gefahr sowie die Stoffnummer eingetragen sowie die offizielle (technische) Stoffbezeichnung sowie die Art und Anzahl der Versandstücke. Die Beförderungspapiere befinden sich in der Regel auf dem Triebfahrzeug.

B4 SICHERHEITSKONZEPTE IN EISENBAHNTUNNELN

B4.1 Charakteristika des Eisenbahnverkehrs im Vergleich zum Straßenverkehr

Die beiden Verkehrsträger Straße und Eisenbahn weisen sehr verschiedene Betriebssysteme auf. So steht dem „Fahren auf Sicht“ im Straßenverkehr das Fahren im Raumabstand bei der Eisenbahn gegenüber. Ein weiteres Merkmal des Straßenverkehrs ist das subjektive Verhalten einer Vielzahl von Einzelpersonen. Als Charakteristika für die Eisenbahn sind die Spurführung und eine Leit- und Sicherungstechnik zu nennen. Die stark unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den beiden Bereichen bedingen auch eine verschiedene Gewichtung der Ursachen für Unfälle. Für Transportunfälle ist statistisch belegt, dass im Straßenverkehr die Unfallursache „Verhalten“ als Hauptunfallursache auftritt, während im Schienenverkehr die Ursachenkategorie „Material“ dominiert [BAM 2014].

Die spezifischen Merkmale des Verkehrsträgers Eisenbahn tragen ebenfalls dazu bei, dass im Vergleich zu einem Straßentunnel die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls in einem Eisenbahntunnel erheblich geringer ist.

Auslöser möglicher Ereignisse in einem Eisenbahntunnel können Entgleisungen, Zusammenstöße und Brände sein.

Entgleisungen werden in den überwiegenden Fällen in Weichen initiiert [DB AG 2003]. Aus diesem Grund wird der Einbau von Weichen innerhalb von Tunneln weitestgehend vermieden.

Zusammenstöße sind auf Grund des Fahrens im Raumabstand nahezu ausgeschlossen: In einem definierten und durch Signale abgedeckten Abschnitt kann sich jeweils nur ein Zug aufhalten. Technische Abhängigkeiten stellen sicher, dass ein Signal erst dann in Fahrtstellung gebracht werden kann, wenn der folgende Abschnitt frei ist [DB AG 2003].

Brände brechen nahezu ausschließlich nicht in einer Tunnelanlage, sondern in einem Zug aus. Um diese Gefahr zu reduzieren, entsprechen moderne Reisezugwagen den Brandschutzstufen gemäß DIN 5510, d.h. sie sind aus Werkstoffen hergestellt, die nicht brennbar oder schwer entflammbar sind [DB AG 2003].

Die das Betriebssystem der Eisenbahn charakterisierenden Merkmale gestatten es, innerhalb des Sicherheitskonzepts der DB AG für Tunnelanlagen den Schwerpunkt auf Maßnahmen zu legen, die eine Ereigniswahrscheinlichkeit soweit wie möglich reduzieren bzw. ein eingetretenes Ereignis begrenzen. Neben diesen präventiven und ereignismindernden Maßnahmen zählen die Maßnahmen zur Selbst- und Fremddrettung zum Sicherheitskonzept.

Nachfolgend werden aus dem Bereich der präventiven und ereignismindernden Maßnahmen diejenigen vorgestellt, die unmittelbar mit dem Transport von Gefahrgut in Verbindung stehen.

B4.2 Präventive Maßnahmen

Als wesentliche präventive Maßnahme ist das Bestreben zu werten, Begegnungen zwischen Reise- und Güterzügen innerhalb eines Tunnels weitestgehend auszuschließen. Das Ziel kann einerseits durch ein absolutes Begegnungsverbot erreicht werden. Dieses wird bei neuen Tunneln mit einer Länge von mehr als 1000 m mit dem Bau von zwei eingleisigen Röhren umgesetzt, wenn das Betriebsprogramm einen uneingeschränkten Mischbetrieb von

Reise- und Güterzügen vorsieht [EBA 2008]. Die Beschränkung dieser Vorgabe auf Tunnel länger als 1000 m basiert darauf, dass in Tunneln bis 1000 m die Wahrscheinlichkeit der Begegnung geringer ist. Weiterhin sind die Bedingungen für Selbst- und Fremdrettung in Tunneln mit mehr als 1000 m Länge wesentlich schwieriger.

Bei zweigleisigen Tunneln gilt das Prinzip der Trennung der Verkehrsarten [EBA 2008]. Es schreibt vor, dass fahrplanmäßige Begegnungen zwischen Reise- und Güterzügen nicht vorgesehen werden dürfen. Als vorrangige Gefährdung, die durch diese Regelung unterbunden werden soll, werden Unfälle auf Grund von verschobener Ladung eingeschätzt. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit, dass Teile der Ladung, z. B. eines Flachwagens in das Nachbargleis ragen und damit entgegenkommende Züge gefährden. Demgegenüber sind Unfälle durch Gefahrgutaustritt nicht als schwerpunktmäßige Gefahrenquelle einzustufen. Gefahrgutfreisetzungen treten in der Regel als Leckagen kleineren Ausmaßes auf, z. B. in Folge von Undichtigkeiten von Armaturen. Das Freiwerden größerer Mengen von Gefahrgut setzt eine erhebliche mechanische Beschädigung des Behälters voraus, wie sie z.B. bei einem Zusammenstoß eintreten kann [DB AG 2003]. Wie jedoch oben bereits dargestellt wurde, sind derartige Szenarien in einem Tunnel sehr unwahrscheinlich.

Bei der Neubaustrecke Ebensfeld – Erfurt sind Tunnel in zweigleisiger Bauweise ausgeführt. Daher ist hier die Trennung der Verkehrsarten zu praktizieren. In einem Beschluss des Rechnungsprüfungsausschusses des Deutschen Bundestages vom 27. März 2015 wird hierzu festgelegt [Deutscher Bundestag 2015]:

„Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur bewilligte 54 Mio. Euro für neuartige Signaltechnik ohne erforderliches Betriebsprogramm

- 1. Der Ausschuss nimmt die Bemerkung zustimmend zur Kenntnis.*
- 2. Er fordert das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur auf, bei der Neubaustrecke Nürnberg–Erfurt sicherzustellen, dass*
 - das Begegnungsverbot in den zweigleisigen Eisenbahntunneln signaltechnisch abgesichert wird,*
 - die erforderliche Leistungsfähigkeit ermittelt wird,*
 - die DB Netz AG diese Leistungsfähigkeit zur Grundlage für die signaltechnische Ausrüstung der Strecke mit der neuartigen europaweit einheitlichen Signaltechnik macht.“*

B4.3 Ereignismindernde Maßnahmen

Falls ein Zug innerhalb eines Tunnels zum Halten kommt und nicht in der Lage ist aus eigener Kraft den Tunnel zu verlassen, da z. B. die Oberleitung des Streckenabschnitts ohne Spannung ist, muss die Möglichkeit bestehen, dass er durch Überwindung des Rollwiderstandes aus dem Tunnel herausrollen kann. Daher sollen alle Neubautunnel eine einseitig gerichtete Längsneigung aufweisen, die mindestens 2 ‰ betragen soll, aber 40 ‰ nicht überschreiten darf [DB AG 2003].

B5 MESSTECHNIK FÜR DEN NACHWEIS VON FREIGESETZTEM GEFÄHRGUT

B5.1 Messtechnik der Feuerwehr für Gefahrguteinsätze

Der Deutsche Feuerwehrverband legte ein vierstufiges Konzept für die Bewältigung von Gefahrstoffeinsätzen durch die Feuerwehr vor, das mit dem Teil 2 der vfdb-Richtlinie 10-05 in Verbindung mit der FwDV 500 verbindlich eingeführt wurde [Rönnfeld und König 2010]. Das Konzept beschreibt die Bereiche Gefahrstoffnachweis, Informationsbeschaffung, Ausbreitungsprognose und Qualifikation der Einsatzkräfte. In der Tabelle B5.1 werden die verschiedenen Bereiche mit weiteren Details untersetzt.

Tabelle B5.1: Vierstufiges Konzept des Deutschen Feuerwehrverbandes zur Bewältigung von Gefahrstoffeinsätzen [Rönnfeld und König 2010]

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
	Erstmaßnahmen	Abschätzen	Eingrenzen	Berechnen
Geräteauswahl	Ohne Nachweisgeräte	Spürgeräte	Messgeräte	Analysengeräte
Informationsstand	Sofortinformation	Kurzinformation	Detailinformation	Experteninformation
Sicherheitsabstand	50 m Distanz (FwDV)	KEULE	MET	Programme
Ausbildungsstand	Alle Einsatzkräfte	ABC I-II	ABC I-II	Fachberater

In der Tabelle B5.2 sind für den Bereich „Geräteauswahl“ weiterführende Informationen für die einzelnen Phasen eines Gefahrstoffeinsatzes zusammengestellt.

Tabelle B5.2: Gefahrstoffnachweis im Rahmen des Vierstufigen Konzeptes des Deutschen Feuerwehrverbandes [Rönnfeld und König 2010]

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Ohne Nachweisgeräte	Spürgeräte nach vfdb-Richtlinie 10-05	Messgeräte nach vfdb-Richtlinie 10-05	Analysegeräte nach vfdb-Richtlinie 10-05
Die Erstmaßnahmen können auf der Grundlage der sensorischen Fähigkeiten der Einsatzkräfte in Verbindung mit deren Einsatzerfahrung festgelegt werden.	Einfache Nachweisverfahren, die mit geringem Aufwand eine Abschätzung ermöglichen, ob Gefahrstoffe vorhanden sind, wie zum Beispiel pH-Test, Spürpulver, Ölttestpapier, Lecksuchspray	Nachweisverfahren, mit denen Punktmessungen und kontinuierliche Messungen möglich sind. Der gerätetechnische Aufwand ist größer als bei Spürgeräten. Beispiele hierfür sind Explosionswarngeräte, Prüfröhrchen, elektrochemische Sensoren, Photoionisationsdetektor	Komplexe, aufwändige Geräte, die nur an wenigen Standorten vorhanden sind und besondere Anforderungen an das Bedienpersonal stellen (Ausstattung der Analytischen Task Force) Gaschromatograph/Massenspektrometer, ATR-FTIR-Spektrometer, Ramanspektrometer, Röntgenfluoreszenzanalytik

B5.2 Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut bei Ereignissen in Eisenbahntunneln

Für die Auswahl geeigneter Messtechnik für den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut bei Ereignissen in Tunnelanlagen der Eisenbahn kann auf das im vorhergehenden Kapitel vorgestellte vierstufige Konzept zur Bewältigung von Gefahrstofflagen durch die Feuerwehr zurückgegriffen werden. Der Unterschied in den Begriffen „Gefahrstoff“ und „Gefahrgut“ resultiert lediglich daraus, dass Gefahrstoffe immer dann, wenn sie transportiert werden, als Gefahrgüter bezeichnet werden.

Die Überlegungen zur vorliegenden Thematik müssen dennoch in den Rahmen einiger grundlegender Aspekte gestellt werden:

- Wie bereits oben erwähnt wurde (s. Kapitel B3.2), muss der Betreiber der Eisenbahninfrastruktur – im Fall der ICE-Strecke Ebensfeld nach Erfurt ist dies die DB Bahn Netz AG – garantieren, dass im Ereignisfall ständig und uneingeschränkt alle notwendigen Daten zu befördertem Gefahrgut zur Verfügung stehen. Es kann dann bei Kenntnis der Beladung eines Zuges in Einsatzlagen, die den Nachweis von freigesetztem Gefahrgut erfordern, die erforderliche Messtechnik spezifisch auf die zu detektierenden Stoffe ausgerichtet und damit eingegrenzt werden. Diesem Fakt steht jedoch gegenüber, dass Feuerwehren, in deren Verantwortungsbereich ein Eisenbahntunnel sich befindet, in die Bedarfsplanung ein breiteres Spektrum an Messtechnik aufnehmen müssen. Diese Forderung begründet sich darin, dass sie sich auf alle nach RID für die Beförderung durch die Eisenbahn zugelassenen Stoffe vorbereiten müssen. Für eine Detektion der Stoffe müssen auf Grund der vielfältigen physikalisch-chemischen Eigenschaften verschiedenartige Messgeräte verwendet werden.
- Wie im Kapitel B2.2 aufgezeigt wurde, umfasst die Palette der im Eisenbahnverkehr beförderten Gefahrgüter eine breite Vielfalt an Stoffen, die sehr unterschiedlichen Stoffgruppen angehören. Es ist jedoch auch zu verzeichnen, dass die Gefahrklassen 2 (Gase), 3 (Entzündliche flüssige Stoffe), 8 (Ätzende Stoffe) und 9 (Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände) den größten Anteil an den insgesamt im Eisenbahnverkehr transportierten Gefahrgütern einnehmen. Auf diese Gefahrklassen entfällt auch ein Großteil der Stoffe, die entsprechend der Regelung des §35 GGVSEB bei Überschreitung einer dort angegebenen Beförderungsmenge von der Straße auf andere Verkehrsträger zu verlagern sind, d.h. auch auf den Schienentransport (siehe hierzu die Tabellen B2.3 und B2.4). Die beiden genannten Aspekte begründen die Entscheidung, die nachfolgenden Betrachtungen auf die in den Tabellen B2.3 und B2.4 aufgeführten Stoffe exemplarisch zu beschränken.
- Ein weiteres Argument für die vorgenannte Einschränkung beruht auf der Einschätzung, dass Gefahrgüter mit gasförmigem oder flüssigem Aggregatzustand ein wesentlich größeres Gefahrenpotential in sich bergen als diejenigen in festem Zustand. Dieser Zusammenhang wird mit Tabelle B5.3 näher erläutert [Feuerwehr Koordination Schweiz 2013].

Tabelle B5.2: Abhängigkeit des Gefahrenpotentials von Gefahrstoffen und Gefahrgütern für Einsatzkräfte, Bevölkerung und Umwelt, Darstellung in Anlehnung an [Feuerwehr Koordination Schweiz 2013]

Gefahr für	Aggregatzustand		
	fest	flüssig	gasförmig
Einsatzkräfte	gering	groß	sehr groß
Bevölkerung	gering	mittel	sehr groß
Umwelt	mittel	groß	mittel

- Insbesondere werden die Vertreter der Gefahrklasse 1 (Explosive Stoffe oder Gegenstände mit Explosivstoff), 6.2 (Ansteckungsgefährliche Stoffe) und 7 (Radioaktive Stoffe) nicht Gegenstand der folgenden Ausführungen sein, da einerseits ihr Anteil am Gefahrguttransport auf dem Schienenweg sehr gering ist und andererseits für ihren Nachweis auf Grund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften eine völlig andere Messtechnik erforderlich ist im Vergleich zu den im Weiteren diskutierten Messgeräten. Eine detaillierte Untersuchung zu einer messtechnischen Ausstattung für den Nachweis für Stoffe dieser Gefahrklassen erfordert eine gesonderte Arbeit.

Detektionsmöglichkeiten für ausgewählte Stoffklassen

Für die Detektion der exemplarisch betrachteten Stoffe der Tabellen B2.3 und B2.4 müssen mindestens Messgeräte der Stufe 3 des bei ABC-Einsätzen anzuwendenden vierstufigen Konzepts herangezogen werden. Im Einzelnen sind zu benennen:

- Explosionswarngeräte,
- Photoionisationsdetektor
- Prüfröhrchen,
- elektrochemische Sensoren.

In den Tabellen B5.3 und B5.4 werden die Möglichkeiten, die ausgewählten Stoffe mit diesen Techniken zu detektieren, veranschaulicht. Die in der Tabelle grün hinterlegten Felder symbolisieren, dass der entsprechende Stoff mit diesem Nachweisverfahren erfasst werden kann.

Tabelle B5.3: Detektionsmöglichkeiten für Stoffe der Gefahrklasse 2 (Stoffe, die entsprechend § 35, Absatz (4), Nr.1 der GGVSEB bei einer Beförderungsmenge ab 1.000 kg auf der Schiene zu transportieren sind)

UN-Nummer	Bezeichnung*	Messgerät				
		Explosionswarngerät (UEG (Vol-%))* ¹	Photoionisationsdetektor (IE (eV))* ²	Prüfröhrchen	Elektrochemischer Sensor	Halbleitersensor
Gefahrklasse 2 „Gase“						
1005	AMMONIAK, WASSERFREI	15	10,07	+		
1010	BUTADIENE, STABILISIERT oder BUTADIENE UND KOHLENWASSERSTOFF, GEMISCH, STABILISIERT, das bei 70 °C einen Dampfdruck von nicht mehr als 1,1 MPa (11 bar) hat und dessen Dichte bei 50 °C den Wert von 0,525 kg/l nicht unterschreitet					
1017	CHLOR		11,48	+	+	
1030	1,1-DIFLUORETHAN (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 152a)	4	11,87			+
1032	DIMETHYLAMIN, WASSERFREI	2,8	8,24	+	+	
1033	DIMETHYLETHER	2,7	10,03			
1035	ETHAN	2,7	11,4			+
1036	ETHYLAMIN	3,5	8,7	+	+	+
1037	ETHYLCHLORID	3,15	10,98	+		+
1038	ETHYLEN, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG	2,3	10,5	+	+	+
1040	ETHYLENOXID	3	10,56	+	+	+
1040	ETHYLENOXID MIT STICKSTOFF bis zu einem Gesamtdruck von 1 MPa(10 bar) bei 50 °C					
1041	ETHYLENOXID UND KOHLENDIOXID, GEMISCH mit mehr als 9 %, aber höchstens 87 % Ethylenoxid					
1045	FLUOR, VERDICHET		15,7	+		
1048	BROMWASSERSTOFF, WASSERFREI		11,68			
1050	CHLORWASSERSTOFF, WASSERFREI		12,74	+	+	
1053	SCHWEFELWASSERSTOFF	4,3	10,56	+	+	+
1060	METHYLACETYLEN UND PROPADIEN, GEMISCH, STABILISIERT (Gemisch P 1) (Gemisch P 2)					
1061	METHYLAMIN, WASSERFREI	4,9	8,9	+	+	+
1062	METHYLBROMID mit höchstens 2 % Chlorpikrin					
1063	METHYLCHLORID (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 40)	7	11,2			+
1064	METHYLMERCAPTAN	3,9	9,4	+	+	+
1067	DISTICKSTOFFTETROXID (STICKSTOFFDIOXID)		9,59	+	+	
1076	PHOGEN		11,2	+	+	
1079	SCHWEFELDIOXID		12,35	+	+	
1082	CHLORTRIFLUORETHYLEN, STABILISIERT	8,4				
1083	TRIMETHYLAMIN, WASSERFREI	2	7,8	+	+	+
1085	VINYLBROMID, STABILISIERT	5,6	9,82			
1086	VINYLCHLORID, STABILISIERT	3,8	9,99	+		+
1087	VINYLMETHYLETHER, STABILISIERT	2				
1581	CHLORPIKRIN UND METHYLBROMID, GEMISCH mit mehr als 2 % Chlorpikrin					

Fortsetzung Tabelle B5.3

		Explosionswarngerät	Photoionisationsdetektor	Prüfröhrchen	Elektrochemischer Sensor	Halbleitersensor
1582	CHLORPIKRIN UND METHYLCHLORID, GEMISCH					
1741	BORTRICHLORID		11,6			
1860	VINYLFUORID, STABILISIERT	2,6	10,36			+
1912	METHYLCHLORID UND DICHLORMETHAN, GEMISCH					
1959	1,1-DIFLUORETHYLEN (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 1132a)	5,5	10,29			+
1961	ETHAN, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG	2,7	11,4		+	
1962	ETHYLEN	2,7	9,9	+	+	+
1966	WASSERSTOFF, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG	4	15,52	+		
1972	METHAN, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG oder ERDGAS, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG, mit hohem Methangehalt	5		+		+
2517	1-CHLOR-1,1-DIFLUORETHAN (GAS ALS KÄLTEMITTEL R 142b)	6,2	11,98			
3138	ETHYLEN, ACETYLEN UND PROPYLEN, GEMISCH, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG, mit mindestens 71,5 % Ethylen, höchstens 22,5 % Acetylen und höchstens 6 % Propylen					
3160	VERFLÜSSIGTES GAS, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G.					
3300	ETHYLENOXID UND KOHLENDIOXID, GEMISCH mit mehr als 87 % Ethylenoxid					
3312	GAS, TIEFGEKÜHLT, FLÜSSIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G.					

* Die blau hervorgehobenen Namen bzw. Felder sind Namen für Stoffklassen oder Gemische. Daher können keine stoffspezifischen Angaben eingetragen werden.

*¹ UEG: Untere Explosionsgrenze

*² IE: Ionisierungsenergie; Es werden nur die Stoffe als detektierbar eingestuft, deren Ionisierungsenergie kleiner als 10,6 eV ist, da die Mehrzahl der handelsüblichen Photoionisationsdetektoren Stoffe mit einer größeren Ionisierungsenergie nicht erfassen können.

Tabelle B5.4: Detektionsmöglichkeiten für Stoffe der Gefahrklassen 3, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1 und 8 (Stoffe, die entsprechend § 35, Absatz (4), Nr.1 der GGVSEB bei einer Beförderungsmenge ab 1.000 kg auf der Schiene zu transportieren sind, sofern diese Stoffe in festverbundenen Tanks oder Aufsetztanks oder Tankcontainern oder ortsbeweglichen Tanks mit einem Einzelfassungsraum von mehr als 3.000 Liter befördert werden)

UN- Nummer	Bezeichnung	Messgerät				
		Explosions- warngerät UEG (Vol-%)* ¹	Photo- ionisations detektor IE (eV)* ²	Prüfröhr- chen	Elektro- chemi- scher Sensor	Halbleiter- sensor
Gefahrklasse 3 „Entzündbare flüssige Stoffe“						
1093	ACRYLNITRIL, STABILISIERT	2,8	10,91	+	+	+
1099	ALLYLBROMID	4,3	9,96			
1100	ALLYLCHLORID	2,9	10,04	+		
1131	KOHLSTOFFDISULFID	1	10,07	+	+	+
1921	PROPYLENIMIN, STABILISIERT		9			
Gefahrklasse 4.2 „Selbstentzündliche Stoffe“						
3394	PYROPHORER METALLORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, MIT WASSER REAGIEREND					
Gefahrklasse 4.3 „Stoffe, die mit Wasser entzündliche Gase bilden“						
1928	METHYLMAGNESIUM-BROMID IN ETHYLETHER					
3399	MIT WASSER REAGIERENDER METALLORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, ENTZÜNDBAR					
Gefahrklasse 5.1 „Entzündbare feste Stoffe, selbstzersetzliche Stoffe und desensibilisierte explosive Stoffe“						
1745	BROMPENTAFLUORID		13,17			
1746	BROMTRIFLUORID		12,45		+	+
1873	PERCHLORSÄURE mit mehr als 50 Masse-%, aber höchstens 72 Masse-% Säure					
2015	WASSERSTOFFPEROXID, WÄSSERIGE LÖSUNG, STABILISIERT, mit mehr als 60 %, aber höchstens 70 % Wasserstoffperoxid					
2015	WASSERSTOFFPEROXID, WÄSSERIGE LÖSUNG, STABILISIERT, mit mehr als 70 % Wasserstoffperoxid					
Gefahrklasse 6.1 „Organische Peroxide“						
1092	ACROLEIN, STABILISIERT	2,8	10,11	+		+
1098	ALLYLALKOHOL	2,5	9,7	+		
1135	ETHYLENCHLORHYDRIN	4,9	10,5			
1182	ETHYLCHLORFORMIAT	3,2		+		
1185	ETHYLENIMIN, STABILISIERT					
1238	METHYLCHLORFORMIAT	7,5	11,24	+		
1259	NICKELTETRACARBONYL	0,9	8,27	+		
1510	TETRANITROMETHAN		12,55			
1541	ACETONCYANHYDRIN, STABILISIERT	2,2	11,09			
1553	ARSENSÄURE, FLÜSSIG					
1556	ARSENVERBINDUNG, FLÜSSIG, N.A.G., anorganisch, einschliesslich Arsenate, n.a.g., Arsenite, n.a.g. und Arsensulfide, n.a.g.					
1560	ARSENTRICHLORID		10,55		+	+
1580	CHLORPIKRIN					

Fortsetzung Tabelle B5.3

		Explosionswarngerät	Photoionisationsdetektor	Prüfröhrchen	Elektrochemischer Sensor	Halbleitersensor
1595	DIMETHYLSULFAT	3,6		+		
1613	CYANWASSERSTOFF, WÄSSERIGE LÖSUNG (CYANWASSERSTOFF-SÄURE, WÄSSERIGE LÖSUNG) mit höchstens 20 % Cyanwasserstoff			+	+	+
1649	ANTIKLOPFMISCHUNG FÜR MOTORKRAFTSTOFF					
1670	PERCHLORMETHYL-MERCAPTAN					
1672	PHENYLCARBYLAMIN-CHLORID					
1694	PHENYLCARBYLAMIN-CHLORID					
1722	ALLYLCHLORFORMIAT			+		
1935	CYANID, LÖSUNG, N.A.G.			+		
1994	EISENPENTACARBONYL	3,7	8			
2334	ALLYLAMIN	2,2	8,76	+		
2337	PHENYLMERCAPTAN		8,32	+		
2382	DIMETHYLHYDRAZIN, SYMMETRISCH	2,4				
2558	EPIBROMHYDRIN		10,46			
2606	METHYLORTHOSILICAT	0,88				
2810	GIFTIGER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.					
3017	ORGANOPHOSPHOR-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber					
3018	ORGANOPHOSPHOR-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG					
Gefahrklasse 8 „Ätzende Stoffe“						
3079	METHACRYLNITRIL, STABILISIERT	1,7	10,34			
1052	FLUORWASSERSTOFF, WASSERFREI.		16,04	+	+	
1739	BENZYLCHLORFORMIAT			+		
1744	BROM oder BROM, LÖSUNG		10,52	+		
1777	FLUORSULFONSÄURE					
1790	FLUORWASSERSTOFF-SÄURE mit mehr als 60 % Fluorwasserstoff, aber höchstens 85 % Fluorwasserstoff					
1790	FLUORWASSERSTOFF-SÄURE mit mehr als 85 % Fluorwasserstoff					
1829	SCHWEFELTRIOXID, STABILISIERT		12,8	+		
2699	TRIFLUORESSIGSÄURE		11,46			

* Die blau hervorgehobenen Namen bzw. Felder sind Namen für Stoffklassen oder Gemische. Daher können keine stoffspezifischen Angaben eingetragen werden.

*¹ UEG: Untere Explosionsgrenze

*² IE: Ionisierungsenergie; Es werden nur die Stoffe als detektierbar eingestuft, deren Ionisierungsenergie kleiner als 10,6 eV ist, da die Mehrzahl der handelsüblichen Photoionisationsdetektoren Stoffe mit einer größeren Ionisierungsenergie nicht erfassen können.

Aus den Tabellen B5.3 und B5.4 ist sehr eindeutig zu entnehmen, dass der Aufgabenstellung, eine große Vielfalt an potentiell möglichen Gefahrgütern im Einsatzfall detektieren zu können, nur durch Bereitstellung von mehreren Messgeräten entsprochen werden kann. Die Begründung hierfür liegt in den unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften der Gefahrgüter. Daher muss für die Detektion eines Stoffes das Messgerät ausgewählt werden, dessen Messprinzip den Stoff erfassen kann. Der Nachweis der als exemplarisch ausgewählten Stoffe der Tabellen B5.3 und B5.4 erfordert mindestens den parallelen Einsatz eines Explosionswarn- und eines Mehrgasmessgerätes. Verschiedene handelsübliche Mehrgasmessgeräte sind mit einem Photoionisationsdetektor und unterschiedlichen elektrochemischen Messzellen ausgestattet. Die Anwendung von Gasprüfröhrchen bringt im Hinblick auf den Einsatz in der Erkundungsphase Nachteile mit sich. Einerseits stellt das Messen mit Prüfröhrchen kein kontinuierliches Verfahren dar und andererseits wird das Messergebnis als Farbumschlag der sich im Gasprüfröhrchen befindenden Substanz dokumentiert. Die Bewertung kann damit unter gegebenenfalls ungünstigen Lichtverhältnissen in Tunnelanlagen beeinträchtigt werden.

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Mehrgasmessgeräten bei Einsatzkräften aus den Reihen der Freiwilligen Feuerwehren müssen unbedingt auf die nachfolgenden Themen angesprochen werden.

Unabhängig vom Hersteller des Mehrgasmessgerätes muss berücksichtigt werden, dass es sich bei diesen Geräten um prüfpflichtige Geräte handelt, deren Betrieb erhebliche Folgekosten verursacht. Diese Kosten umfassen die Aufwendungen für die regelmäßig durchzuführenden Wartungs- und Kalibrierarbeiten, wobei bei letzteren noch die Kosten für die einzusetzenden Kalibriergase eingehen. Die Kalibrierungen sind in Abhängigkeit von den ausgewählten Sensoren mindestens 1x jährlich durchzuführen. Zusätzlich ist darauf hinzuweisen, dass sowohl Wartungsarbeiten (z.B. Funktionskontrollen) als auch Kalibrierungen Personal erfordern, das über die entsprechende Qualifikation und ausreichende Zeitressourcen verfügt. Eine für diese Tätigkeiten ausreichende Qualifikation muss auch damit begründet, dass die anzuwendenden Prüfgase in der Regel selbst Gefahrstoffe darstellen. Diese Bedingungen können bei ehrenamtlichen Einsatzkräften Probleme verursachen. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Wartungs- und insbesondere die Kalibrierungen beim Hersteller ausführen zu lassen, was die Unterhaltskosten erhöht. Auch muss dann gegebenenfalls mit Ausfallzeiten gerechnet werden.

Das Erfordernis für die Durchführung der regelmäßigen Geräteprüfungen resultiert aus folgenden Aspekten.

- Bei den kommerziellen Geräten kann keine strikte Unterscheidung in Gaswarn- oder Gasmessgeräte vorgenommen werden, insbesondere bei Mehrgasgeräten. Das Funktionsprinzip basiert darauf, dass eine akustische und/oder optische Warnung dann ausgegeben wird, wenn ein gespeicherter Konzentrationswert für einen oder mehrere Stoffe überschritten wird, bzw. im Fall von Sauerstoff unterschritten wird. Das heißt, dass immer ein Messvorgang stattfindet, der eine Gerätejustierung und – kalibrierung voraussetzt.
- Eine regelmäßige Beaufschlagung der Sensoren mit Gas muss weiterhin auf Grund der Erfahrung von Anwendern von Gaswarn- bzw. Gasmessgeräten deshalb vorgenommen werden, dass bei langen Ruhephasen der Geräte einige Sensortypen dazu neigen „einzuschlafen“. Das heißt, dass sie bei Kontakt fehlerhaft lange Ansprechzeiten aufweisen.
- Die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (Arbeitskreis „Mess- und Warngeräte für gefährliche Gaskonzentrationen“, Fachausschuss „Chemie“ der deutschen Gesetzlichen Unfallversicherungen – DVGU) hat im Jahr 2012 die Merkblätter T 021 und T 023 für den Umgang mit Gaswarngeräten vorgelegt. Dieser Arbeitskreis hat in Abstimmung mit dem Sachgebiet „Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen“ der DVGU eine Modifizierung der in den Merkblättern dokumentierten Vorgehensweise festgeschrieben. So muss vor der direkten Verwendung lediglich eine Sichtkontrolle und nicht zwingend ein Anzeigetest vorgenommen werden. Dennoch ist nach der Verwendung eine Funktionskontrolle gemäß den Merkblättern T 021 und T 023 erforderlich mit Beaufschlagung von Prüfgas. Alle vier Wochen sind Sichtkontrollen und Anzeigetests mit Beaufschlagung von Prüfgas sowie einmal jährlich eine Systemkontrolle einschließlich Kalibrierung durchzuführen. Obwohl diese Vorgaben nicht den Charakter eines Gesetzes haben, kann die Einhaltung gegebenenfalls bei Versicherungsfällen relevant sein.

Eine weitere Ursache für anfallende Kosten resultiert aus der begrenzten Lebensdauer der elektrochemischen Sensoren (maximale Lebensdauer 5 Jahre).

Der hohe Wartungs- und Kalibrieraufwand für die Messgeräte wirft die Frage auf, ob die Einsatzkräfte aus den Reihen der Freiwilligen Feuerwehren diese Anforderungen erfüllen können. Es muss auch nochmals darauf hingewiesen werden, dass die diskutierten Messgeräte nur die Minimalanforderung an die einzusetzende Messtechnik verkörpert.

Bei Berücksichtigung der Tatsache, dass das Risiko für das Entstehen von Einsatzlagen im Tunnel sehr minimal ist, sollte als Alternative diskutiert werden, bei der Bedarfsplanung

davon auszugehen, bei derartigen Einsatzlagen von Beginn an mit überörtlichen Kräften zusammenzuarbeiten.

B6 ZUSAMMENFASSUNG/SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der durch die Eisenbahn erbrachte Gefahrguttransport weist eine breite Vielfalt hinsichtlich der Gefahrklassen auf.

Die Detektion dieser Stoffe mit sehr unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften erfordert verschiedenartige Analysetechniken. Die den Feuerwehren zur Verfügung stehende Messtechnik kann diese Anforderung nicht erfüllen.

Es wird empfohlen, bei Einsatzlagen in Tunneln, an denen Gefahrgut beteiligt ist, bereits in der Erkundungsphase überörtliche Kräfte einzubinden.

Für die Vorgehensweise bei Ereignissen in Tunneln, die durch Güterzüge verursacht werden, wird vorgeschlagen:

- bei der Lageerkundung Informationen zum Verbleib des Triebfahrzeugführers einzuholen,
- falls erforderlich, Maßnahmen zur Rettung des Triebwagenführers durchzuführen (unter Beachtung des Eigenschutzes),
- über die zuständige Notfalleitstelle der DB Netz AG umfassend die Daten zu Gefahrgut abzufordern, das auf dem verunfallten Zug transportiert wird (die Notfalleitstelle muss ständig und vollständig diese Informationen zur Verfügung stellen können),
- wenn der Nachweis des Gefahrgutes mit der zur Basisausstattung gehörenden Messtechnik, wie zum Beispiel ein Explosionswarngerät, nicht gewährleistet werden kann, überörtliche Hilfe anzufordern und
- bis zum Eintreffen der überörtlichen Hilfe entsprechend der GAMS-Regel zu verfahren.

B7 LITERATURVERZEICHNIS

- [AEG 1993] Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27.12.1993, (BGBl I, S. 2378 (2396) (1994, 2439)), in der aktuellen Fassung
- [AFKzV 2012] Feuerwehr-Dienstvorschrift FwDV 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“, Ausgabe 01.2012, Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV), 30.Sitzung, 2012
- [BAM 2014] Untersuchung der Statistik „Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen“ des Statistischen Bundesamtes aus den Jahren 2010 und 2011 im Vergleich zu den Vorjahren, Bericht der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, November 2014
- [DB AG 2003] Deutsche Bahn AG Notfallmanagement: Brandschutz, Brand- und Katastrophenschutz in Eisenbahntunneln, August 2003
- [DB AG 2012] Deutsche Bahn AG Betriebssicherheit, Notfallmanagement; Frankfurt: Hilfeleistungseinsätze im Gleisbereich der DB AG, Bearbeitungsstand: März 2012
- [DESTATIS 2014] DESTATIS 2014, Fachserie 8, Reihe 1.4, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2014, Artikelnummer 2080140127004
- [Deutscher Bundestag 2015] Deutscher Bundestag, Rechnungsprüfungsausschuss, Beschlüsse der 14. Sitzung vom 27. März 2015, TOP 12 c)
- [EBA 2008] Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln“, Stand: 01.07.2008, www.eba.bund.de
- [EBA 2012] Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an Planung, Bau und Betrieb von Schienenwegen nach AEG“, Einführung beim EBA: 07.12.2012, www.eba.bund.de

- [Feuerwehr Koordination Schweiz 2013] Handbuch für ABC-Einsätze, Version V1.2013, Feuerwehr Koordination Schweiz FKS, 2013
- [GGBefG 2009] § 2 Absatz 1 des Gesetzes über die Beförderung gefährlicher Güter (Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBefG) vom 6. August 1975 in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. Juli 2009 (BGBl. I Seite 1774, 3975)
- [GGVSEB 2015] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB), neugefasst durch B. v. 30.03.2015 BGBl. I S. 366
- [Rönnfeld und König 2010] Jens Rönnfeld, Mario König: Messtechnik im Feuerwehreinsatz, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag W. Kohlhammer, 2010
- [Länderarbeitsgruppe 2002] Abschlußbericht der AK V- bzw. AFKzV-Länderarbeitsgruppe mit der Deutschen Bahn AG, 26. März 2002
- [Ländervereinbarung 1998] Vereinbarung zwischen den Innenministern/-senatoren für Inneres der Länder und der Deutschen Bahn AG vom 07.08.1998
- [RID 2015] Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF), Anhang C – Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID), Fassung gültig ab 1. Januar 2015
- [RID/ADR/ADN 2011] INF. 19, 1. März 2011, RID/ADR/ADN_Gemeinsame Tagung des RID-Fachausschusses und der Arbeitsgruppe für die Beförderung gefährlicher Güter, (Bern, 21. bis 25. März 2011) Internationale Umfrage zur Umsetzung des Kapitels 1.9 RID/ADR/ADN bei Anwendern von Risikobewertungsverfahren im Bereich der Gefahrgutbeförderung (Vorschlag Deutschlands)
- [UStatG 2006] Umweltstatistikgesetz vom 16. August 2005 (BGBl. I S. 2446),

geändert durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)

[VerkStatG 2004] Gesetz über die Statistik der See- und Binnenschifffahrt, des Güterkraftverkehrs, des Luftverkehrs sowie des Schienenverkehrs und des gewerblichen Straßen-Personenverkehrs (VerkStatG), Verkehrsstatistikgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Februar 2004 (BGBl. I S. 318, zuletzt geändert durch Art. 2 G v.6.11.2008 I 2162)

[vfdb 2001] Technischer Bericht der vfdb: Empfehlungen zur Schadensbekämpfung bei Brand und Kollision von Reiszügen in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG durch öffentliche Feuerwehren, VFDB 3/2001 (145-149)

[vfdb 2004] Merkblatt zur Gefahrenabwehr im Bereich von öffentlichen Eisenbahnen -insbesondere Gefahrguteinsätze-, vfdb Referat 5, Oktober 2004

C KRÄFTEANSATZ FÜR DEN TRANSPORT MITTELS ROLLPALETTEN

C1 EINLEITUNG

In diesem Teil des Berichtes soll der Kräfteansatz für den Transport mittels Rollpaletten bei Einsatzaufgaben der Feuerwehren in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG diskutiert werden. Konkret soll hierbei die ICE-Neubaustrecke zwischen Erfurt und Ebensfeld des „Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr. 8.1 (VDE 8.1)“ betrachtet werden, auf der 22 Tunnelbauwerke und 30 Brücken mit zum Teil deutlich differierenden Längen errichtet wurden [Bautechnik 2009]. Die Konstellation (Länge und Art der baulichen Ausführung) der Rettungsschächte und –stollen in den einzelnen Tunneln ist sehr unterschiedlich, was letztlich auch die Strategie der Rettungsmaßnahmen bei einer Schadenslage beeinflusst. Aus diesem Grund beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auf den Bleßbergtunnel, den längsten Tunnel der ICE-Neubaustrecke VDE 8.1. Die potentiellen Einsatzszenarien und die sich daraus ergebenden taktischen Maßnahmen sind dennoch sehr vielfältig, weshalb in den folgenden Kapiteln ein maßgebliches Szenario definiert wird, das die Grundlage zur Bemessung des Kräfteansatzes darstellt.

C2 TECHNISCHE BAUWERKSDATEN DES BLEßBERGTUNNELS

Der in Einröhren-Bauweise errichtete zweigleisige Bleßbergtunnel ist mit einer Länge von 8314 m einer der längsten Eisenbahntunnel Deutschlands und unterquert den 865 m hohen Bleßberg im Thüringer Schiefergebirge. Der Tunnel wurde in zweischaliger Bauweise errichtet. Im Anschluss an den etappenweisen bergmännischen Ausbruch wurde der Tunnelhohlraum mit Hilfe von Stahlgitterbögen, Ankern, Spießsen und schnell abbindendem Spritzbeton gesichert. Die 35 cm dicke Innenschale wird in Segmenten von 12,5 m mittels Schalwagen errichtet [Bautechnik 2009].

Der Bau des Tunnels erfolgte in zwei Abschnitten. Für den Bau des ca. 4643 m langen Südabschnittes wurde in der Nähe der Ortschaft Stelzen ein 965 m langer Zwischenangriffstollen in den Berg getrieben, der heute als Notausgang NA 2 dient (s. Bild C3.1, S. 94). Von dort aus erfolgte der Vortrieb sowohl zum Südportal als auch in Richtung Norden. Für den etwa 3671 m langen Nordabschnitt musste zur Realisierung eines umweltverträglichen Zugangs zum Nordportal der an den Bleßbergtunnel angrenzende Goldbergtunnel inklusive zweiter

Talbrücken errichtet werden [VDE8 2015]. Weitere technische Bauwerkdetails zeigt die folgende Tabelle C2.1.

Tabelle C2.1: Technische Bauwerksdaten des Bleißbergtunnels [VDE8 2015] [Brill 2013]

Bauwerkslänge:	8314 m
Lichte Höhe:	8,23 m
Lichte Weite:	13,64 m
Minimale Überdeckung:	6 m
Maximale Überdeckung:	330 m
Notausgänge:	8 (siehe auch Bild C3.1)
Ausbruchsquerschnitt Haupttunnelröhre:	ca. 130 m ²
lichter Querschnitt nach Einbau Innenschale über Schienenoberkante:	92 m ²
Bauweise:	bergmännisch
Höhe des Südportals:	502,4 m über NN
Höhe des Nordportals:	593,2 m über NN
Steigung:	bis zu 1,0916 %
Entwurfsgeschwindigkeit:	300 km/h

C3 SICHERE BEREICHE, NOTAUSGÄNGE UND RETTUNGSPLÄTZE

Gemäß der Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“ (EBA-RL) muss in Tunnelbauwerken im Einröhren-Prinzip von jeder Stelle des Fahrtunnels ein sicherer Bereich nach höchstens 500 m erreichbar sein [EBA 2008]. Sichere Bereiche sind z.B.:

- Tunnelportale,
- Rettungsstollen,
- Rettungsschächte und
- Schleusen oder Verbindungsbauwerke, die zu Rettungsschächten, Rettungsstollen, benachbarten Fahrtunneln führen, die in anderer Höhenlage verlaufen [EBA 2008].

Daher wurden im Bleißbergtunnel im Abstand von etwa 1000 m 8 Notausgänge errichtet. Eine Übersicht der Notausgänge (NA 1 bis NA8) zeigt das Bild C3.1 (S. 94). Die bauliche Ausführung der einzelnen Notausgänge (NA) und der errichteten Rettungsplätze (RTP) zeigt die nachfolgend dargestellte Tabelle C3.1 [Rettungskonzept 2015]. Hinzugefügt werden

muss, dass alle Notausgänge durch eine 12 m lange Schleuse in den Fahrtunnel einmünden. Zusätzlich sind bei allen einspurig befahrbaren Stollen im Abstand von ca. 200 m Ausweichstellen eingerichtet [Rettungskonzept 2015].

Tabelle C3.1: *Bauliche Details der Notausgänge (NA) und der Rettungsplätze (RTP) des Bleißbergtunnels [Rettungskonzept 2015]*

Lfd. Nr.:	Bauliche Ausführung	Rettungsplatz (RTP)
NA 1	- einspurig befahrbarer Stollen - Distanz zum RTP 7: 410 m	- Fläche RTP 7: ca. 1560 m ² - Zufahrt über Kreisstraße K11 - Länge der Zufahrt: 180 m
NA 2	- zweispurig befahrbarer Stollen (Zwischenangriffstollen in der Bauphase des Tunnels) - Distanz zum RTP 8: 965 m	- Fläche RTP 8: ca. 1560 m ² - Zufahrt über Kreisstraße K11 - Länge der Zufahrt: 660 m
NA 3	- einspurig befahrbarer Stollen zwischen NA 3 und NA 2 - Distanz NA 3 - NA 2: 814 m - Distanz NA 3 – RTP 8: 1779 m	- siehe NA 2
NA 4	- begehrbarer Querschlag zum Rettungsschacht - Höhe des Rettungsschachtes: 40 m (mit 25 Treppenläufen zu je 10 Stufen sowie einem Aufzug (s. Tabelle C3.2, S. 95))	- RTP 9 besteht aus 2 Teilflächen - Teilfläche 1: ca. 620 m ² - Teilfläche 2: ca. 620 m ² - Teilflächen sind getrennt durch einen Bach
NA 5	- einspurig befahrbarer Stollen zwischen NA 5 und NA 8 - Distanz NA 5 - NA 6: 825 m - Distanz NA 5 – RTP 10: 2809 m	- siehe NA 8
NA 6	- einspurig befahrbarer Stollen zwischen NA 6 und NA 8 - Distanz NA 6-NA 7: 825 m - Distanz NA 6 – RTP 10: 1984 m	- siehe NA 8
NA 7	- einspurig befahrbarer Stollen zwischen NA 7 und NA 8 - Distanz NA 7-NA 8: 850 m - Distanz NA 7 – RTP 10: 1159 m	- siehe NA 8
NA 8	- zweispurig befahrbarer Stollen - Distanz zum RTP 10: 309 m - Distanz zum Nordportal: 1000 m	- RTP 10 besteht aus 2 Teilflächen - Teilfläche 1: ca. 240 m ² - Teilfläche 2: ca. 1300 m ²
Nord- / Südportal		- RTP 11 am Nordportal: ca. 700 m ² - RTP 6 am Südportal: ca. 1550 m ²

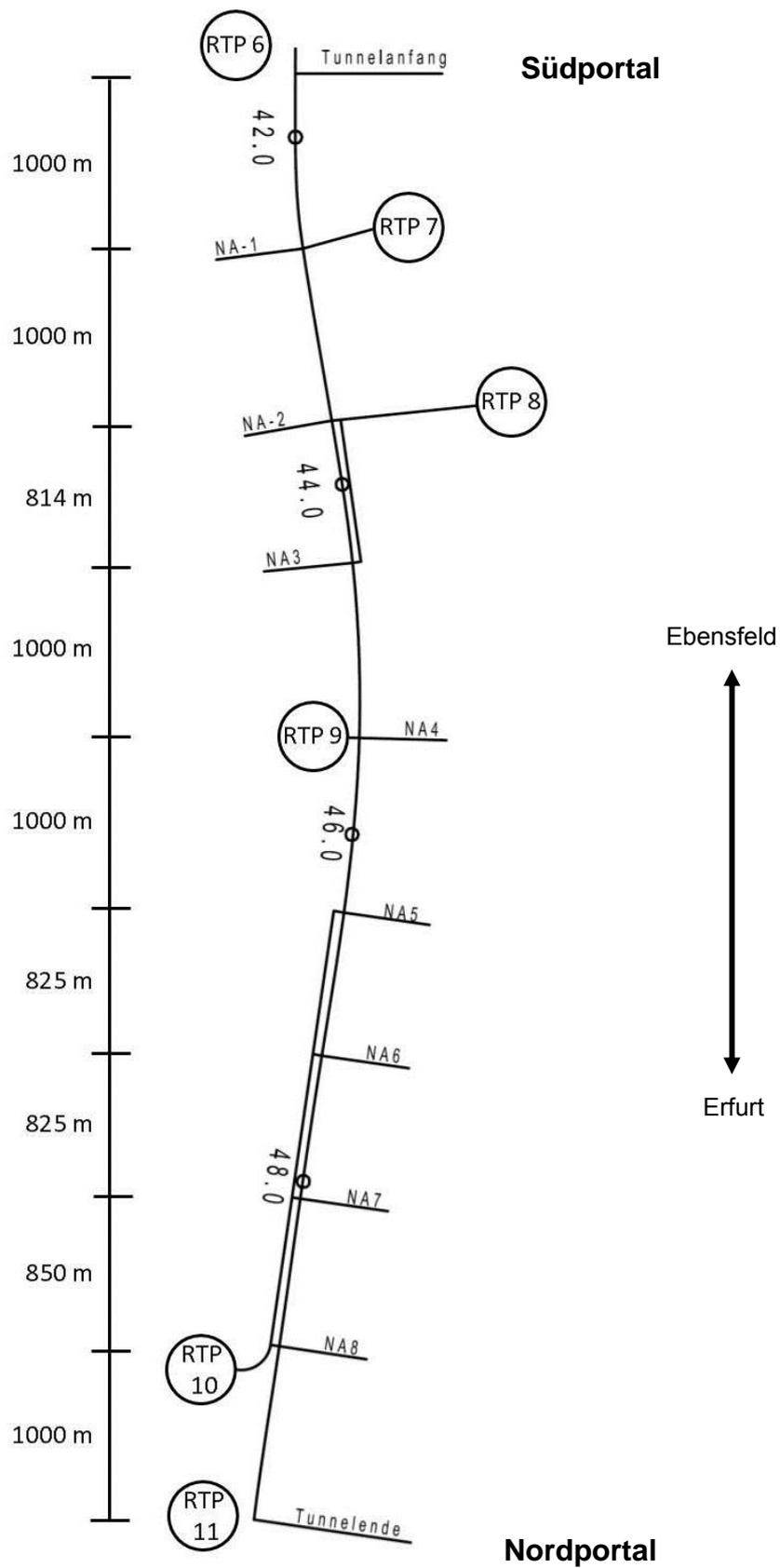


Bild C3.1: Schematische Darstellung der Notausgänge und Rettungsplätze des Tunnels Bleiberg sowie die Abstände zwischen den Notausgängen; Grundlage der Grafik war eine Abbildung aus [Bleiberg 2011]

Zur Überwindung der Höhendifferenz im Rettungsschacht des Notausgangs 4 ist zusätzlich zur Treppe ein Aufzug installiert. Wesentliche technische Daten zeigt die Tabelle C3.2.

Tabelle C3.2: Technische Daten des Aufzuges im Notausgang 4 des Bleißbergtunnels
[Rettungskonzept 2015]

Tragfähigkeit:	1000 kg
Haltestellen:	4 (die 2 in der Mitte der Höhendifferenz befindlichen Haltestellen sind ausschließlich Nothaltestellen)
Förderhöhe:	40,75 m
Türmaße:	0,9 m / 2,1 m (B / H)
Kabinenabmessungen:	1,1 m x 2,1 x 2,2 m (B / T / H)
Maximale Fahrten je Stunde:	40

C4 LÖSCHWASSERVERSORGUNG

Zur Sicherstellung der Löschwasserversorgung sind in der Nähe beider Tunnelportale, der Portale an den Notausgängen und am Schachtkopfgebäude des Notausgangs 4 Löschwasserzisternen mit je ca. 100 m³ angebracht. Das Löschwasser wird aus diesen Behältern mittels Pumpen zur Einspeisestelle und anschließend über in der Sohle der Bauwerke installierte Trockenleitungen in den entsprechenden Rettungsschacht bis zu einer im Notausgang vorhandenen Schleuse gefördert. Mit Hilfe von Absperreinrichtungen kann das Löschwasser in die einseitig in der Sohle der Tunnelröhre verlegten Trockenleitungen geleitet werden. Um die Löschwasserleitung abschnittsweise betreiben zu können, sind im Abstand von ≤ 125 m Löschwasserentnahmestellen und Absperreinrichtungen installiert. Die gesamte Löschwasserversorgung ist so ausgelegt, dass an jeder Stelle des Tunnels mindestens 800 l/min Löschwasser bei einem statischen Druck von 8 bar über einen Zeitraum von 2 h entnommen werden können [Rettungskonzept 2015].

C5 TRANSPORTHILFEN/ROLLPALETTEN

Sowohl an den Notausgängen des Fahrtunnels als auch an den Tunnelportalen sind je 2 schienenfahrbare Rollpaletten verfügbar. Sie werden zum Transport von feuerwehrtechnischer Ausrüstung sowie zum Verletztentransport verwendet. Sie sind mit selbsttätigen Bremsen ausgestattet, sodass die Rollpalette erst nach Entriegelung durch die Feuerwehreinsetzungskraft bewegt werden kann. Die technischen Details zeigt die Tabelle C5.1. Im Tunnel sind diese im Übergang zu den Schleusen senkrecht an den Wänden des Fahrtunnels befestigt, ohne dass es zu Behinderungen bei der Benutzung der Fluchtwege kommt. Daher befinden sie sich hinter dem im Fluchtweg befestigten Handlauf (siehe Bild C5.1) [Rettungskonzept 2015]. Im Bedarfsfall kann der Handlauf mit Hilfe einer Klappeinrichtung geöffnet werden. Wie im Bild C5.1 beispielhaft zu sehen ist, kann die Entriegelung der Rollpalette durch zwei Feuerwehreinsetzungskräfte bewerkstelligt werden. Im Fall, dass der Handlauf nicht klappbar ausgeführt ist, sollten, wie in den Bildern C5.2 und C5.3 zu erkennen ist, zum Heben der Rollpalette über den Handlauf, 4 Feuerwehreinsetzungskräfte kalkuliert werden. Hingegen kann das Aufsetzen der Rollpalette auf die Schienen offensichtlich durch 2 Feuerwehreinsetzungskräfte bewerkstelligt werden (siehe Bild C5.4). Wie viele Einsatzkräfte für diese Einsatzaufgaben unter den örtlichen und organisatorischen Bedingungen der Thüringer Tunnelkette notwendig sind, kann jedoch nur im Rahmen von Übungen geklärt werden. Zu berücksichtigen ist hierbei die Fragestellung, ob diese Tätigkeiten unter Atemschutz durchgeführt werden müssen (siehe Einsatzszenario im Kapitel C7).

An den Tunnelportalen sind die Rollpaletten in verschließbaren Häusern untergebracht. Unter der Bedingung, dass das potentielle Brandereignis in der Tunnelröhre auftritt, kann damit gerechnet werden, dass die Einsatzkräfte, die mit den Vorbereitungen bezüglich der Rollpaletten an den Tunnelportalen betraut sind, nicht unter Atemschutz arbeiten müssen.

Da an jedem NA und jedem Tunnelportal je zwei Rollpaletten angebracht sind, kann im Bleißbergtunnel auf 20 Rollpaletten zurückgegriffen werden. Technische Daten der Rollpaletten zeigt die Tabelle C5.1.

Tabelle C5.1: Technische Daten der Rollpaletten [Rettungskonzept 2015]

Mindestgröße:	1,65 m x 2,2 m
Zulässige Ladung:	1000 kg
Maximales Eigengewicht:	85 kg



Bild C5.1: Abnehmen der Rollpalette von der Tunnelwand [Innsbruck 2012]



Bild C5.2: Abnehmen der Rollpalette von der Tunnelwand (1) [Innsbruck 2012]

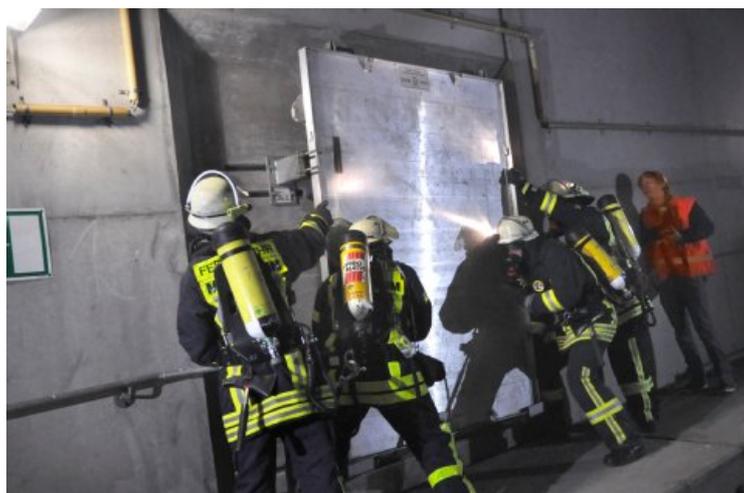


Bild C5.3: Abnehmen der Rollpalette von der Tunnelwand (2) [Wandersmnn 2010]



Bild C5.4: Aufsetzen der Rollpalette auf die Schienen [Innsbruck 2012]

C6 PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Feuerwehren stehen zur Bewältigung ihrer Einsatzaufgaben eine ganze Reihe verschiedener Ausrüstungsbestandteile zur Verfügung. Zum Schutz der Einsatzkraft vor den Gefahren des Feuerwehrdienstes (z.B. Erkundung in nicht wärmeexponierten Bereichen oder technische Hilfeleistung) sind gemäß der Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren grundsätzlich mindestens die in Tabelle C6.1 aufgeführten PSA-Komponenten zu tragen [GUV-V C 53 2003].

Tabelle C6.1: PSA-Komponenten zum Schutz vor den Gefahren des Feuerwehrdienstes [Neske 2015]

Lfd. Nr.:	PSA-Komponente
1	Feuerwehrsutzhleidung *
2	Feuerwehrhelm mit Nackenschutz
3	Feuerwehrsutzhandschuhe
4	Feuerwehrsutzhuhwerk

* z.B. HuPF Teile 3 (Feuerwehrjacke) und 2 (Feuerwehrohse)

Ist im Einsatzgeschehen mit besonderen Gefahren zu rechnen, sind spezielle PSA-Komponenten zu tragen [GUV-V C 53 2003]. Eine Auswahl hierzu zeigt die Tabelle C6.2.

Tabelle C6.2: PSA-Komponenten zum Schutz vor den Gefahren des Feuerwehrdienstes (1)
[Neske 2015]

Lfd. Nr.:	PSA-Komponente
1	Feuerwehrsutzbekleidung gegen erhöhte thermische Einwirkungen *
2	Feuerwehrhaltegurt (DIN 14 927)
3	Atemschutzgeräte (vfdb-Richtlinie 0802)
4	Feuerschutzhaube (DIN EN 13 911)
5	Feuerwehrleine (DIN 14 920)

* z.B. HuPF Teile 1 (Feuerwehrüberjacke) und 4b (Feuerwehrüberhose)

Die Richtlinie 0805 der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V. zur „Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung für Einsätze bei deutschen Feuerwehren“ konkretisiert diese Ausführungen [vfdb 2007]. Damit wird den Verantwortlichen ein Hilfsmittel zur Auswahl von PSA-Komponenten für diverse Einsatzaufgaben der Feuerwehr zur Hand gegeben, da für diese Szenarien Mustergefährungsanalysen durchgeführt wurden. Weichen die im tatsächlichen Einsatzgeschehen auftretenden Gefahren von denen ab, die in den genannten Mustergefährungsanalysen zugrunde gelegt wurden, muss von den vorgestellten Empfehlungen für PSA-Komponenten abgewichen werden.

Die im Innenangriff mindestens zu tragenden PSA-Komponenten zeigt das Bild C6.1 [Neske 2015].



Bild C6.1: Im Innenangriff zu tragende PSA-Komponenten, Grundlage der Grafik war eine Abbildung aus [Neske 2015]

Die zitierte Richtlinie 0805 macht allerdings keine Angaben zu PSA-Komponenten, die bei der Brandbekämpfung in Tunnelanlagen zu tragen sind. Aus diesem Grunde werden für einzelne wesentliche Einsatzaufgaben der Tunnelbrandbekämpfung im Kapitel C8 PSA-Komponenten vorgeschlagen.

Die am häufigsten bei Feuerwehren für die Brandbekämpfung eingesetzten Atemschutzgeräte (Isoliergeräte) sind Pressluftatmer. Diese können in Anhängigkeit von der prognostizierten Einsatzdauer mit 1 oder 2 Druckbehältern ausgestattet sein, wobei auch die Behältergröße variieren kann. Eine Übersicht zu den technischen Daten der gängigen Druckbehälter dreier Hersteller zeigt die Tabelle C6.3. Zur Berechnung des entnehmbaren Luftvolumens wurde der Realgasfaktor Z berücksichtigt [Neske 2015].

Die Tabelle C6.3 zeigt, dass sich in Abhängigkeit vom Druckbehältervolumen Unterschiede hinsichtlich des Luftvolumens ergeben, das aus den Druckbehältern entnommen werden kann.

Tabelle C6.3: Technische Daten zu Druckbehältern mit einem Nennfülldruck von 300 bar
(Volumina, Material und Masse) [Neske 2015] [GFD 2014]

	Dräger		Interspiro			MSA Auer		
Druckbehälter-Volumen V_{DB}	6 l	6,8 l	6 l	6,7 l	6,8 l	6 l	6,8 l	6,9 l
Material	Stahl	CFK**	Stahl	CFK*	CFK**	Stahl	CFK*	CFK**
Masse (mit Luft gefüllt, inkl. Ventil)	ca. 9,7 kg	ca. 6,9 kg	ca. 9,4 kg	ca. 7,5 kg	ca. 7,7 kg	ca. 9,9 kg	ca. 7,3 kg	ca. 6,7 kg
entnehmbares Luftvolumen V_0	1630,2 l	1847,5 l	1630,2 l	1792,4 l	1847,5 l	1630,2 l	1847,5 l	1874,7 l

* Kunststoff-Liner

** Aluminium-Liner

Zur Berechnung der Zeitdauer, bis der Atemluftvorrat erschöpft ist, können für verschiedene Einsatz Tätigkeiten arbeitsmedizinische Werte zu Atemluftverbrauchsraten herangezogen werden (siehe Tabelle C6.4) [NDS 2012]. Es ist aber als realistisch anzusehen, dass als durchschnittlicher Atemluftverbrauch im Einsatzgeschehen mit wärmeisolierender PSA im Regelfall $\dot{V} = 50 \text{ l/min}$ angesetzt werden können [NDS 2013].

Tabelle C6.4: Atemluftverbrauchsdaten für verschiedene Schweregrade der Arbeit [Neske 2015] [NDS 2012] [Grabski et al. 2010]

Schwere der Arbeit	Atemluftverbrauchsrate \dot{V} in l / min
mittelschwere Arbeit	40
schwere Arbeit / mittlere Arbeit mit wärmeisolierender PSA	50
kurzzeitige Schwerstarbeit	60

Für die Tunnelbrandbekämpfung der ICE-Neubaustrecke Erfurt-Ebensfeld werden überwiegend Langzeitpressluftatmer (LP) verwendet, in denen 2 Druckbehälter in carbonfaserverstärkter Kunststoff-Bauweise (CFK) eingesetzt sind. Die Masse eines solchen betriebsfertigen Gerätes variiert in Abhängigkeit vom Hersteller, wobei das Grundgerät (Tragegestell inkl. Lungenautomat) bei etwa 4 kg liegt [GFD 2015]. Werden 2 CFK-Druckbehälter mit einem Füllvolumen von 6,8 l und einer Masse von je etwa 7 kg eingesetzt, kann die Masse eines gesamten LP mit etwa 18 kg angesetzt werden.

Um die theoretische Einsatzzeit unter Atemschutz berechnet werden, wird im Folgenden mit verschiedenen Annahmen gearbeitet. Es wird angenommen, dass im Pressluftatmer 2 CFK-Druckbehälter mit einem Füllvolumen von 6,8 l eingesetzt sind. Zur Berechnung der Einsatzzeit wird eine konservative Herangehensweise bevorzugt. Da es zulässig ist, dass der Druck im Druckbehälter bei Einsatzbeginn 90 % des der Nennfülldruckes beträgt, wird für die folgende Rechnung in beiden Druckbehältern ein Fülldruck von 270 bar angenommen [FwDV 7 2002] [Neske 2015]. Es ergibt sich folgender Zusammenhang

$$V_{0,min} = 0,9 \cdot (2 \cdot 1847,5 \text{ l}) = 3325,5 \text{ l} . \quad (1)$$

Da beim Ansprechen der Restdruckwarneinrichtung ($p_{rest} = 55 \text{ bar}$) der Einsatz beendet sein soll, wird angenommen, dass diese dadurch im Druckbehälter resultierende Restluftmenge für Einsatzhandlungen nicht zur Verfügung steht [Neske 2015]. Die unter Restdruck in den Druckbehältern verbleibende Atemluftmenge ergibt sich gemäß (2)

$$V_{rest} = \frac{p_{rest} \cdot 2 \cdot V_{DB}}{p_{amb}} = \frac{55 \text{ bar} \cdot 2 \cdot 6,8 \text{ l}}{1,013 \text{ bar}} \approx 738 \text{ l} \quad (2)$$

mit

$$p_{amb} = \text{Umgebungsdruck } 1,013 \text{ bar} .$$

Gemäß der FwDV 7 ist vor Einsatzbeginn eine Einsatzkurz- und eine Dichtprüfung vorgeschrieben. Hierfür kann in Anlehnung an [Grabski et al. 2010] eine Zeitdauer von 1,5 min bei

einer Veratmungsrate von $\dot{V} = 40 \text{ l/min}$ ein Atemluftverbrauch von $V_{ED} = 60 \text{ l}$ angenommen werden. Diese Atemluftmenge steht demnach für Einsatzhandlungen nicht zur Verfügung.

Mit Hilfe dieser Annahmen kann für Einsatzhandlungen nutzbare Atemluftvolumen V_{nutz} berechnet werden.

$$V_{nutz} = V_{0,min} - V_{rest} - V_{ED} = 2527,5 \text{ l} \quad (3)$$

Nimmt man ferner an, dass die Einsatzkraft Atemluft mit einer Verbrauchsrate von $\dot{V} = 50 \text{ l/min}$ veratmet, ergibt sich eine Einsatzzeit von $t_{Einsatz} = 50,6 \text{ min}$. Für die weiteren einsatztaktischen Planungen in den Feuerwehren sollte berücksichtigt werden, dass gemäß der FwDV 7 bei taktisch richtiger Vorgehensweise für den Rückweg die doppelte Atemluftmenge wie für den Hinweg einzukalkulieren ist [FwDV 2002].

Ein Beispiel verdeutlicht die soeben vorgestellte Verfahrensweise. Es wird angenommen, dass ein Angriffstrupp eine Distanz zur Brandstelle von 1000 m zurückzulegen hat. Wird angenommen, dass der Trupp den Hinweg mit angelegtem Langzeitpressluftatmer und einer Geschwindigkeit von $v = 4 \text{ km/h}$ absolviert, wird die Strecke (z.B. Abstand zwischen zwei Notausgängen) innerhalb von 15 min zurückgelegt. Legt man zu Grunde, dass diese Einsatzkräfte je Minute 50 l Atemluft aus ihren Atemschutzgeräten entnehmen, verbraucht jedes der Truppmitglieder auf dem Hinweg bereits 750 l Atemluft. Berücksichtigt man nun die o.g. Vorgabe der FwDV 7, sind für den Rückweg 1500 l Atemluft zu kalkulieren. Damit sind insgesamt 2250 l Atemluft verbraucht bzw. verplant. Für Einsatzhandlungen stehen in diesem konstruierten Fall, unter Berücksichtigung des für Einsatzhandlungen nutzbaren Atemluftvolumens V_{nutz} aus (3), nur $277,5 \text{ l}$ zur Verfügung. Berücksichtigt man nun, dass es sich bei Löscharbeiten um „kurzzeitige Schwerstarbeit“ (siehe Tabelle C6.4) handelt, kann hierfür eine Atemluftverbrauchsrate von 60 l/min angesetzt werden. Mit diesen Eingangsdaten kann die maximal mögliche Zeitdauer für Löscharbeiten mit $t_{lösch} = 4,6 \text{ min}$ angegeben werden.

C7 MAßGEBLICHES SZENARIO ZUR KALKULATION DES KRÄFTEANSATZES FÜR DIE BENUTZUNG VON ROLLPALETTEN

Der Kräfteansatz für die Benutzung von Rollpaletten muss bei differierenden Einsatzaufgaben sehr unterschiedlich bewertet werden. Der Definition eines maßgeblichen Einsatzszenarios kommt daher eine übergeordnete Rolle zu. Hinweise zur Konfiguration eines maßgebli-

chen Brandszenarios gibt z.B. der „Technische Bericht der vfdb - Empfehlungen zur Schadensbekämpfung bei Brand und Kollision von Reisezügen in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG durch öffentliche Feuerwehren“ [vfdb 2001]. Die darin enthaltenen wesentlichen Eckpunkte sind:

- Ein etwa 400 m langer Reisezug bleibt mittig in einem 1000 m langen Eisenbahntunnel stehen.
- In einem etwa 26 m langen Wagen in der Mitte des Zuges kommt es zu einem Entstehungsbrand. Die Löschversuche des Zugpersonals bleiben jedoch erfolglos.
- Zum Zeitpunkt des Eintreffens der Feuerwehr muss damit gerechnet werden, dass sich der betroffene Wagon im Vollbrand befindet.
- Der Fahrtunnel ist verraucht.
- Es befinden sich etwa 300 Personen im Zug.
- 270 Personen können sich selbst oder mit Hilfe des Zugpersonals in sichere Bereiche retten.
- 30 Personen müssen durch Einsatzkräfte der Feuerwehr gerettet werden. Es wird angenommen, dass jeweils 15 Personen zu benachbarten Notausgängen (in unterschiedliche Richtungen im Tunnel) gebracht werden. 5 Personen je Richtung werden als nicht gefährlich betrachtet.
- Alle 30 zu rettenden Personen müssen aufgrund der Verrauchung gegen Atemgifte geschützt werden.

Damit die Feuerwehr adäquate Einsatzmaßnahmen ergreifen kann müssen vom Tunnelbetreiber an die zuständige Leitstelle der Feuerwehr Angaben zum Schadensort übermittelt werden. Anschließend muss durch den Tunnelbetreiber der Fahrstrom abgeschaltet und die Leitung geerdet werden [vfdb 2001].

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird eine modifizierte Variante des oben vorgestellten Szenarios verwendet. Konkret soll daher der Brand (rote Markierung im Bild C7.1) in einem ICE-Zug betrachtet werden, der sich exakt in der Mitte zwischen den NA4 und NA5 im Bleißberg-tunnel befindet (siehe Bild C7.1). Zudem wird erschwerend gegenüber dem Szenario nach [vfdb 2001] angenommen, dass der genaue Standort des Zuges bei Einsatzbeginn nicht bekannt ist. Das Szenario wurde so konstruiert, dass zur exakten Bestimmung der Position des Zuges Erkundungsmaßnahmen erforderlich sind.

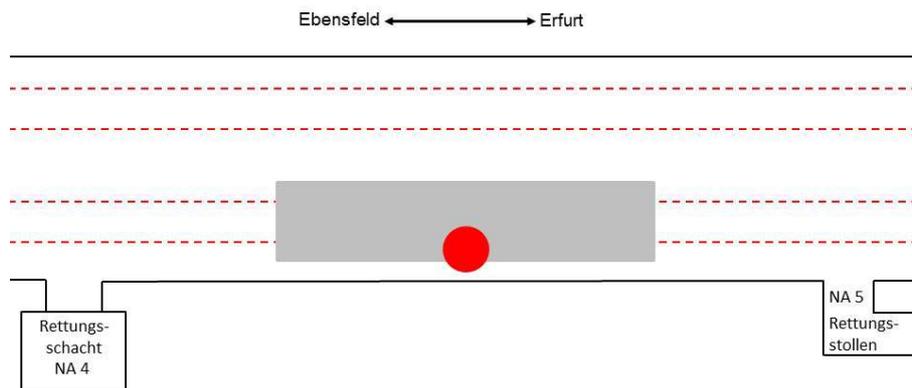


Bild C7.1: Schematische Darstellung des zugrunde gelegten Szenarios zur Brandbekämpfung im Bleißbergtunnel; die rote Markierung symbolisiert die Brandstelle im Zug

C8 MÖGLICHE EINSATZTAKTISCHE VORGEHENSWEISE

Zur Bewältigung der Einsatzaufgabe wird angenommen, dass jeder Rettungsplatz, dem nur ein Notausgang zugeordnet ist, durch eine Tunnelbasiseinheit (TBE) besetzt wird. RTP, denen mehrere Notausgänge zugeordnet sind (siehe RTP 8 und 10 im Bild C3.1 auf S. 94), werden durch mehrere TBE besetzt. In der Erkundungsphase zu Beginn des Einsatzes können prinzipiell eine ganze Reihe von einsatztaktischen Vorgehensweisen angewandt werden, um den Standort des Zuges zu ermitteln. Dies sind z.B.:

1. die Erkundungsmaßnahmen erfolgen ausschließlich über die Tunnelportale oder
2. die Erkundungsmaßnahmen erfolgen zeitgleich über die Tunnelportale und die Notausgänge im Fahrtunnel.

Beide Herangehensweisen unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich des zu kalkulierenden Zeit- und Personalaufwandes. Oberstes Ziel muss es in der Anfangsphase des Einsatzes sein, schnellstmöglich Angaben zum Standort des Zuges zu erhalten.

Die Erkundung nach der 2. Vorgehensweise ist die zeiteffektivste einsatztaktische Maßnahme zur Erkundung des Standortes des Zuges, da die Erkundungstrupps (ETr) im Vergleich zur 1. Vorgehensweise deutlich kürzere Wegstrecken im Fahrtunnel zu erkunden haben. Allerdings ist die Vorgehensweise 2 auch personalintensiver als die 1. Vorgehensweise. Dennoch überwiegt deutlich der Vorteil, dass der Standort des Zuges bei der Anwendung der Vorgehensweise 2 deutlich schneller ermittelt wird als bei der Vorgehensweise 1.

Aus diesem Grund wird sich in den folgenden Ausführungen darauf beschränkt, den Kräfteansatz für die Benutzung von Rollpaletten bei der Vorgehensweise 2 zu eruieren.

C8.1 Ersteintreffende Einheiten an den Rettungsplätzen

Da sich gemäß des zugrunde gelegten Szenarios 270 Personen selbst oder mit Hilfe des Zugpersonals in sichere Bereiche flüchten können, ist davon auszugehen, dass insbesondere aus den Notausgängen/Tunnelportalen, die dem liegengebliebenen Zug am nächsten sind, Personen ins Freie zu den RTP laufen. Einheiten, die sich zu diesem Zeitpunkt an den Rettungsplätzen aufhalten, übernehmen daher erste wesentliche Einsatzaufgaben. Die mit der Gefahrenabwehr an der Thüringer Tunnelkette VDE 8.1 betrauten Feuerwehren legten daher fest, dass die ersteintreffenden Einheiten unter Berücksichtigung der örtlichen und organisatorischen Bedingungen z.B. folgende Aufgaben zu erledigen haben:

- Meldung an die Einsatzleitung, dass Personen aus den entsprechenden NA flüchten,
- den Flüchtenden ist die Fluchtrichtung zu zeigen,
- Befragung der Flüchtenden, z.B. zum Standort des Zuges; diese Informationen sind umgehend an die Einsatzleitung weiterzugeben und
- wenn möglich Aufbau der Löschwasserversorgung.

C8.2 Tunnelbasiseinheiten (TBE)

Die Zusammensetzung und technische Ausrüstung von TBE können z.B. bei [TBE 2014] eingesehen werden. Jede TBE besteht im Wesentlichen aus 2 Mannschaftstransportwagen (MTW), 2 Löschfahrzeugen (LF) und einem Rüstwagen (RW). Die Fahrzeuge und die Besatzungen werden durch örtliche Feuerwehren bereitgestellt, deren Standorte in der Nähe der entsprechenden RTP liegen. Die mit der Gefahrenabwehr an der Thüringer Tunnelkette VDE 8.1 betrauten Feuerwehren formulierten den Grundsatz, dass Einsatzkräfte der TBE erst in die Rettungsstollen einfahren, wenn die Löschwasserversorgung aufgebaut wurde [Merkblatt 2013].

C8.3 Vorbetrachtungen

Der wesentliche Unterschied zwischen einem Einsatz im offenen Gelände oder in Gebäuden bzw. einem Tunnel ist u.a. die Tatsache, dass die zur Bewältigung der Einsatzlage notwendige feuerwehrtechnische Ausrüstung über die Rettungstunnel/ -schächte bzw. über die Tunnelportale zur Einsatzstelle transportiert werden muss. Zu Beginn des Einsatzes ist es jedoch aus organisatorischen Gründen und bedingt durch die unklare Einsatzlage in der Regel nicht zu verantworten, dass Kraftfahrzeuge in den Fahrtunnel einfahren, um die zur Bewältigung des Einsatzes notwendige Feuerwehrtechnik zur Einsatzstelle zu befördern. Aus diesem Grund werden in dieser Phase des Einsatzes zum Transport von Feuerwehrtechnik schienenfahrbare Rollpaletten eingesetzt.

Wie im Bild C3.1 (S. 94) zu sehen ist, sind die Abstände zwischen den Schleusen und den Rettungsplätzen im hier betrachteten Bleißberg-Tunnel sehr unterschiedlich. Als ungünstigster Fall wurde im zugrunde gelegten Szenario die Wegstrecke zwischen dem NA5 und dem RTP identifiziert. Die zurückzulegende Strecke beträgt in diesem Fall 2809 m. Es ist daher unumgänglich, dass für das konstruierte Szenario im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen zum Standort des Zuges, zur Überwindung solcher langer Wegstrecken, Kraftfahrzeuge eingesetzt werden, um die Einsatzkräfte an die Schleusen zu befördern. Denkbar ist hierfür die Verwendung von Mannschaftstransportwagen (MTW) mit dessen Hilfe auch Bestandteile der zur Bewältigung der Einsatzlage notwendige Feuerwehrtechnik an die Schleuse transportiert werden kann.

Der Weitertransport der Feuerwehrtechnik von der Schleuse zur Einsatzstelle erfolgt dann mittels schienenfahrbarer Rollpaletten. Bedingt durch die kleinen Abmessungen der Rollpaletten, ist die Ladekapazität begrenzt. Bundeseinheitliche Vorgaben zur Bestückung der Rollpaletten mit feuerwehrtechnischer Ausstattung existieren nicht. Deshalb wurden durch die mit der Brandbekämpfung in der Thüringer Tunnelkette VDE 8.1 betrauten Feuerwehren einheitliche Vorgaben und Vorschläge für die Erstbestückung der Rollpaletten erarbeitet, die die örtlichen und organisatorischen Gegebenheiten berücksichtigten. In anderen Bundesländern, wie in Hessen, haben die mit der Brandbekämpfung in ICE-Tunneln betrauten Feuerwehren andere Vorgaben getroffen (siehe auch [Geis 2010]).

Zu Beginn des Einsatzes muss davon ausgegangen werden, dass der Standort des Zuges nicht bekannt ist. Aus diesem Grund muss jede der an den RTP befindlichen TBE über die notwendige feuerwehrtechnische Ausrüstung zur Bestückung der Rollpalette für die Brand-

bekämpfung verfügen. Vorgesehen ist, dass die in der Tabelle C8.1 aufgeführten Ausrüstungsbestandteile an die Einsatzstelle befördert werden.

Tabelle C8.1: Feuerwehrtechnische Ausrüstung der Rollpaletten für die Brandbekämpfung
[Merkblatt 2015]

Anzahl	Feuerwehrtechnik
7	Feuerwehrschauch (Länge 20 m) mit Storz-B-Kupplung
6	Feuerwehrschauch (Länge 15 m) mit Storz-C-Kupplung
2	Strahlrohr mit Storz-C-Kupplung
1	Verteiler
2	Steckleiter Teil „A“
10	Brandfluchthauben *
2	Feuerwehraxt

* Unter der Voraussetzung, dass 30 Passagiere des Zuges gegen toxische Rauchgase geschützt werden müssen, wäre es sinnvoll, wenn je Rollpalette 15 Brandfluchthauben verlastet werden. Im vorliegenden Szenario erreichen die ETr von den NA4 und NA5 etwa zeitgleich den Zug (siehe Abschnitt C8.1), sodass für jeden der Passagiere eine Brandfluchthauben zur Verfügung steht.

Mit der Brandbekämpfung in ICE Tunneln betraute Feuerwehren in anderen Bundesländern legen fest, dass zusätzlich zur beladenen Rollpalette, eine unbeladene mitgeführt wird, die anschließend zum Transport von verletzten Personen verwendet wird [Geis 2010]. Das Bild C8.1 zeigt, dass das Schieben einer leeren Rollpalette durch eine einzelne Einsatzkraft möglich ist. Die Bilder C8.2 und C8.3 zeigen jedoch, dass es erforderlich ist, dass eine beladene Rollpalette von zwei Einsatzkräften bewegt werden muss. Für den gleichzeitigen Transport von einer beladenen und einer unbeladenen Rollpalette müssen also drei Einsatzkräfte kalkuliert werden.

Theoretisch denkbar wäre es, dass die beiden Rollpaletten im aneinander gekoppelten Zustand gemeinsam von zwei Einsatzkräften geschoben werden. Dies ist jedoch in der Realität nicht möglich, da durch die Einsatzkräfte während des Schiebens der Rollpaletten permanent die Feststellbremsen beider Rollpaletten entriegelt werden müssen.



Bild C8.1: Schieben einer unbeladenen Rollpalette [Innsbruck 2012]



Bild C8.2: Schieben einer mit verletzten Personen beladenen Rollpalette [Innsbruck 2012]



Bild C8.3: Schieben einer mit verletzten Personen beladenen Rollpalette [Wandersmann 2010]

Wie weit die Rollpalette im Fahrtunnel bewegt werden müssen, um an die Einsatzstelle zu gelangen, ist vom Einsatzszenario und der -taktik abhängig. Aus diesem Grunde wird im Folgenden die zu Beginn des Kapitels C8 vorgestellte Vorgehensweise 2 diskutiert.

Zu einem späteren Zeitpunkt des Einsatzes ist es essentiell, dass weitere Feuerwehrtechnik auf Rollpaletten zur Einsatzstelle befördert wird, die im Wesentlichen zum Transport von Verletzten eingesetzt wird. Hinweise zur konkreten Bestückung der Rollpaletten können z.B. [Geis 2010] entnommen werden (siehe auch Tabelle C8.2).

Tabelle C8.2: Feuerwehrtechnische Ausrüstung der Rollpaletten für die Rettung von Verletzten
[Geis 2010]

Anzahl	Feuerwehrtechnik
5	Schleifkorbtragen
15	Brandfluchthauben
15	Rettungstücher
1	Wärmebildkamera

C8.4 Erkundungsmaßnahmen zum Standort des Zuges

Sind alle RTP mit einer oder mehreren TBE besetzt und die Löschwasserversorgung aufgebaut, empfiehlt es sich, dass je Schleuse und Tunnelportal 1 Erkundungstrupp (ETr) und 1 Sicherheitstrupp (SiTr) kalkuliert werden, die von einem Fahrzeugführer unterstützt werden. Für das zugrunde gelegte Brandszenario sind demnach an 8 Notausgängen und 2 Tunnelportalen mindestens 50 Einsatzkräfte mit Erkundungs-, Sicherungs- und Unterstützungsaufgaben betraut.

Die Aufgabe der einzelnen ETr ist es im ersten Schritt, Informationen z.B. zum genauen Standort des Zuges, zur etwaigen Verrauchung im Fahrtunnel sowie zu flüchtenden Personen zu sammeln und diese weiter zugeben. Jeder ETr wird durch einen SiTr und den Fahrzeugführer des MTW unterstützt, die jedoch an der ihnen zugewiesenen Schleuse im sicheren Bereich verbleiben. Da in diesem Stadium des Einsatzes keine Angaben zum Standort des Zuges vorliegen, müssen die Einsatzkräfte im vorliegenden Szenario an jeder Schleuse dazu in der Lage sein, das Equipment zur Ausstattung der Rollpalette (siehe Tabelle C8.1) zusammenstellen zu können. Durch die an den Schleusen befindlichen Einsatzkräfte (z.B. SiTr, Fahrzeugführer MTW) wird darüber hinaus Sorge getragen, dass dort die beiden Schieber der Trockenlöschwasserleitung umgelegt werden. Damit wird sichergestellt, dass im Fahr-

tunnel Löschwasser abgenommen werden kann, wenn Löschwasser von den Einspeisestellen in die Trockenlöschwasserleitung der Rettungsstollen gefördert wird.

Denkbar ist, dass sich alle aus den Schleusen und den Portalen in den Fahrtunnel eindringenden ETr in Richtung der Tunnelmitte bewegen, sodass jedem Trupp eine zu erkundende Tunnelstrecke bis zur nächsten Schleuse obliegt. Im ungünstigsten Fall beträgt diese Distanz 1000 m (siehe Abstände zwischen den NA im Bild C3.1 auf S. 94).

Unter Berücksichtigung des im Kapitel C7 vorgestellten Szenarios befindet sich die Brandstelle in der Mitte des Zuges. Die Mitte des Zuges befindet sich gemäß dem Szenario wiederum exakt mittig zwischen den NA4 und NA5. Der Abstand des südlichen Endes des 400 m langen Zuges zum NA4 beträgt demnach 300 m. Die Distanz vom nördlichen Ende des Zuges zum NA5 beträgt ebenfalls 300 m. Demnach haben die ETr, die von diesen NA die Erkundung zur Tunnelmitte durchführen, einen Anmarschweg von je 300 m bis zum Erreichen des Zuges. Unter der Voraussetzung, dass alle im Fahrtunnel mit Erkundungsaufgaben betrauten ETr mit der gleichen Laufgeschwindigkeit vorgehen, wird von den ETr, die ausgehend von den Notausgängen NA4 und NA5 erkunden, der Standort des Zuges schneller ermittelt als die übrigen ETr den nächsten NA erreichen. Es ist sinnvoll, dass obwohl der Standort des Zuges ermittelt wurde, die zuletzt genannten ETr ihre beabsichtigte Erkundungsaufgabe bis zum nächsten NA fortsetzen. So kann sichergestellt werden, dass der gesamte Fahrtunnel bereits in der Anfangsphase des Einsatzes z.B. nach flüchtenden Personen und etwaigen Beschädigungen des Tunnelbauwerks abgesucht wird.

Während der Erkundungsphase können die an den Schleusen befindlichen Fahrzeugführer die zur Beladung der Rollpalette notwendige Feuerwehrtechnik bereit legen. Das Aufsetzen der Rollpalette auf die Schiene und die Bestückung mit der vorgegebenen Feuerwehrtechnik muss zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht erfolgen, da der exakte Standort des Zuges zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt ist. Der SiTr kann mit der Unterstützung des ETr ggf. jedoch bereits in dieser Phase Maßnahmen ergreifen, um die an den Tunnelwänden/ -portalen befestigten Rollpaletten aus ihrer Befestigung zu lösen.

Wie bereits erwähnt, sind im Fahrtunnel die Handläufe, die die Rollpaletten umschließen, klappbar ausgestattet [Rettungskonzept 2015]. Das spätere Aufsetzen der zweiten Rollpalette (Transport der in der Tabelle C8.1 aufgeführten Feuerwehrtechnik) auf die Schienen könnte daher alleinig durch den SiTr oder andere zwischenzeitlich hinzugezogene Einsatzkräfte erfolgen (siehe Bild C5.4 auf S. 98).

Die Mitnahme einer aufgesetzten leeren Rollpalette durch den ETr bereits in der Erkundungsphase ist sinnvoll. Da die Masse eines Langzeitpressluftatmers mindestens 18 kg beträgt, ist das Tragen über längere Distanzen sehr kraftaufwändig. Außerdem wird in dieser Zeit Atemluft verbraucht, die für Einsatzhandlungen nicht mehr zu Verfügung steht. Denkbar wäre deshalb, dass der ETr die Atemschutzgeräte auf Befehl der Einsatzleitung auf der Rollpalette mitführt. Zur Kalkulation des zur Verfügung stehenden Atemluftvorrats wird auf die Ausführungen im Kapitel C6 verwiesen.

Im Bedarfsfall können diese bei auftretender Verrauchung angelegt werden. Es erscheint darüber hinaus sinnvoll, dass bereits in dieser Erkundungsphase auf der Rollpalette jene Brandfluchthauben mitgeführt werden, die eigentlich erst später auf der Rollpalette (siehe Tabelle C8.1) an die Einsatzstelle transportiert worden wären, sodass etwaig im Zug verbliebene bzw. flüchtende Passagiere gegen Atemgifte geschützt werden können. Allerdings ist das Betreten des Zuges in dieser Phase des Einsatzes, in der keine Informationen zu etwaigen Brandherden vorliegen, ohne dass Löschwasser am Strahlrohr anliegt, zu untersagen. Abhilfe könnten z.B. mobile tragbare Hochdrucklöschsysteme schaffen, die in der Erkundungsphase auf den Rollpaletten mitgeführt werden. Mit Hilfe eines dieser Systeme kann der ETr, nachdem die Erkundungsmaßnahmen außerhalb des Zuges beendet wurden, in ihn eindringen, um die Erkundung innen fortsetzen zu können. Auf den in diesem Absatz genannten Rollpaletten könnten zudem bereits in dieser Phase des Einsatzes Schleifkorbtragen mitgeführt werden (siehe Tabelle 8.2).

Wegen des symmetrischen Aufbaus des zugrunde gelegten Szenarios, müssten etwa zeitgleich die ETr, die ausgehend von den NA4 und NA5 in den Fahrtunnel vorgingen, den Standort des Zuges erreichen. Unter der Voraussetzung, dass die ETr Rollpaletten mitnahmen, auf denen je 15 Brandfluchthauben verlastet waren, steht für jeden der zu rettenden 30 Passagiere je eine Brandfluchthaube zur Verfügung. Wurden auf jeder der beiden Rollpaletten zudem und 5 Schleifkorbtragen an die Einsatzstelle transportiert, steht für jeden der 10 verletzten und nicht gehfähigen Personen daher eine Transportmöglichkeit zur Verfügung.

Nachdem einer der ETr den Standort des Zuges ermittelt und dieses Ereignis an die Einsatzleitung übermittelt hat, können die an nächsten gelegenen Schleuse befindlichen Einsatzkräfte (z.B. SiTr und Fahrzeugführer MTW) die Rollpalette mit feuerwehrtechnischer Ausrüstung zur Brandbekämpfung bestücken. Der Transport der Rollpalette kann dann durch den SiTr oder durch andere hinzugezogene Einsatzkräfte erfolgen. Berücksichtigt werden sollte immer auch das Gefälle des Tunnels. Denkbar wäre in diesem Szenario, dass die mit Feuerwehertechnik beladene Rollpalette vom NA5, also mit dem Gefälle zum Zug transportiert

wird. Nach dem Abladen kann diese Rollpalette dann zum Verletztentransport verwendet werden.

Da die Löschwasserversorgung bereits vor dem Befahren des Rettungstollen sichergestellt war, übernehmen die SiTr (oder andere hinzugezogene Einsatzkräfte), die den Transport der Rollpaletten zum Zug realisieren auch die Aufgabe, die vor und nach den Löschwasserentnahmestellen im Fahrtunnel installierten Absperrvorrichtungen zu öffnen. In Analogie zum ETr sollte die Option in Betracht gezogen werden, dass die mit der Beförderung der beladenen Rollpalette betrauten Einsatzkräfte ihre LP auf der Rollpalette mitführen, ohne diese anzulegen. Im Falle, dass Brandrauch wahrgenommen wird, kann der LP angelegt werden.

Wie im Bild C8.3 zu sehen ist, können mit Hilfe einer Rollpalette 3 verletzte Personen transportiert werden. Daher sind zum Abtransport der 10 nicht gehfähigen Verletzten (siehe Kapitel C7) 4 Rollpaletten erforderlich. Zu diesem Zeitpunkt des Einsatzes wurden durch die von den NA4 und NA5 zur Erkundung vorgehenden ETr je eine Rollpalette zur Einsatzstelle transportiert. Zusätzlich wurde eine mit Feuerwehertechnik beladene Rollpalette vom NA5 an die Einsatzstelle befördert. Daher steht am NA5 keine Rollpalette mehr zur Verfügung. Die vierte zum Verletztentransport notwendige Rollpalette kann durch den am NA4 befindlichen SiTr oder durch andere hinzugezogene Einsatzkräfte zur Einsatzstelle gebracht werden.

Zum Abtransport der verletzten, nicht gehfähigen 10 Personen sind 8 Einsatzkräfte notwendig. Denkbar ist, dass die zwei ETr, die ausgehend von den NA 4 und NA5 die Erkundungsaufgaben wahrnahmen, zwei Rollpalette mit je 3 verletzten Personen befördern. Die beiden ebenfalls für den Transport der verbleibenden 4 verletzten Personen notwendigen Rollpaletten könnten durch die zwei am Zug befindlichen SiTr (oder durch andere hinzugezogene Einsatzkräfte) in sichere Bereiche geschoben werden. Der Verletztentransport sollte ebenfalls mit dem Gefälle, also zum NA 4, geschehen. Für Szenarien, bei denen der Zug außermittig zwischen den NA steht, muss abgewogen werden, ob die eben beschriebene Vorgehensweise angewandt wird.

Da die von den NA4 und NA5 vorgegangenen ETr und SiTr mit dem Verletztentransport betraut sind, müssen die zur Brandbekämpfung hinzugezogenen Angriffstrupps (AnTr) durch neu hinzugezogene SiTr unterstützt werden.

C8.5 Vorschlag für zu tragende PSA bei verschiedenen Einsatzaufgaben zur Tunnelbrandbekämpfung

Erkundungstrupp (ETr)

Der ETr ist überwiegend mit Aufgaben betraut, die nicht in wärmeexponierten Bereichen des Tunnels/Zuges stattfinden. Dennoch ist insbesondere bei Erkundungsarbeiten in der Nähe des Zuges damit zu rechnen, dass z.B. infolge von berstenden Fenstern, Flammen aus dem Zuginneren nach außen gelangen. Aus diesem Grund müssen mindestens die im Bild C6.1 (auf Seite 99) aufgeführten PSA-Komponenten getragen werden. Unter der Bedingung, dass das Arbeiten des ETr in wärme- und brandrauchexponierten Bereiche ausgeschlossen werden kann, können die Einsatzkräfte die in der Tabelle C6.1 (S. 98) aufgeführten PSA-Komponenten tragen.

Sicherheitstrupp (SiTr)

Da es die Aufgabe eines SiTr ist, im Falle eines Atemschutznotfalls eingreifen zu können, sollten die Mitglieder mindestens die im Bild C6.1 (S. 99) dargestellten PSA-Komponenten tragen.

Angriffstrupp (AnTr)

Da sich der AnTr in wärmeexponierten Bereichen aufhält, müssen die Mitglieder mindestens die im Bild C6.1 (S. 99) aufgeführten PSA-Komponenten getragen werden.

Fahrzeugführer MTW (FF-MTW) und Einsatzkräfte für den Patienten- und Ausrüstungstransport in nicht wärme- und brandrauchexponierten Bereichen

Da sich die Einsatzkräfte nicht in wärme- und brandrauchexponierten Bereichen aufhalten, müssen sie mindestens die in der Tabelle C6.1 (S. 98) aufgeführten PSA-Komponenten tragen.

Grundsatz:

Da bei Einsatzlagen in Eisenbahntunneln durch die Einsatzkräfte zum Teil sehr lange Wegstrecken zurückgelegt werden müssen, werden hohe Anforderungen an die arbeitsmedizinische Verfassung der Personen gestellt. Aus diesem Grunde sollten die Einsatzkräfte aus Gewichtsgründen grundsätzlich nur die PSA-Komponenten tragen, die zur Ausführung der Tätigkeit unbedingt notwendig sind.

C9 ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Teilbericht sollte der Kräfteansatz für den Transport mittels Rollpaletten bei unterschiedlichen Einsatzaufgaben der Feuerwehren in Tunnelanlagen der ICE Neubaustrecke zwischen Erfurt und Ebensfeld des „Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr. 8.1 (VDE 8.1)“ betrachtet werden. Zur Kalkulation der Einsatzkräfte wurde ein von der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V. erarbeitetes allgemeines Brandszenario verwendet. Um die örtlichen Gegebenheiten der Thüringer Tunnelkette adäquat berücksichtigen zu können, wurde dieses Szenario angepasst. Konkret wurde daher der Brand eines ICE-Wagens im Bleißbergtunnel, dem längsten Tunnelbauwerk der ICE Neubaustrecke VDE 8.1, angenommen.

Als erste Teilaufgabe sollte der Frage nach dem Kräfteansatz für die Benutzung von schienenfahrbaren Rollpaletten nachgegangen werden. Im Rahmen von Literaturrecherchen wurde festgestellt, dass verschiedene Arbeitsschritte notwendig sind, um die an den Tunnelwänden und –portalen verfügbaren Rollpaletten für den Einsatz benutzen zu können, wobei der Personalaufwand für diese einzelnen Schritte unterschiedlich zu bewerten ist. Die Recherchen zeigten, dass die Entriegelung der an der Wand befestigten Rollpalette durch zwei Einsatzkräfte bewerkstelligt werden kann. Gezeigt wurde zudem, dass für das Abnehmen von der Wand vier Einsatzkräfte und für das Aufsetzen auf die Schienen zwei Einsatzkräfte kalkuliert werden sollten.

Für verschiedene Einsatzaufgaben bei der Brandbekämpfung in Eisenbahntunneln müssen mit Hilfe von Rollpaletten Ausrüstungsgegenstände zur Einsatzstelle befördert werden. Bundesweit einheitliche Vorgaben hierzu existieren nicht. Die mit der Brandbekämpfung in der Thüringer Tunnelkette VDE 8.1 betrauten Feuerwehren haben deshalb entsprechende Bestückungslisten für diese Rollpaletten erarbeitet, die auf die vorgesehene Einsatztaktik abgestimmt wurden. In anderen Bundesländern wurden von den mit der Brandbekämpfung in diesen Eisenbahntunneln betrauten Feuerwehren geringfügig andere Festlegungen getroffen. Deshalb wurden im Ergebnis der hierfür durchgeführten Untersuchungen alle recherchierten Bestückungslisten diskutiert, um Optimierungspotentiale herausarbeiten zu können. Beispielsweise zeigte sich, dass es bereits im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen zum Standort des Zuges im Fahrtunnel sinnvoll ist, eine Rollpalette mitzuführen, auf der Brandfluchthauben und Schleifkorbtragen verlastet sind. So können die möglicherweise aus dem Fahrtunnel flüchtenden Personen bereits in der Anfangsphase des Einsatzes gegen Atemgifte geschützt und ggf. verletzte und nicht gehfähige Personen in sichere Bereiche befördert werden.

Im nächsten Schritt wurde hinterfragt, wie viele Einsatzkräfte kalkuliert werden müssen, um verschiedene Lasten auf Rollpaletten transportieren zu können. Bei den Recherchen zeigte sich, dass das Schieben einer leeren Rollpalette durch eine einzelne Einsatzkraft realistisch ist. Der Transport von Feuerwehrausrüstung bzw. verletzten Personen auf Rollpaletten muss jedoch durch zwei Einsatzkräfte erfolgen. Berücksichtigt werden muss hierbei jedoch stets das Gefälle des Fahrtunnels und die zurückzulegende Strecke. Daher wurde vorgeschlagen, dass, unter Zugrundelegung der vorgeschlagenen einsatztaktischen Maßnahmen, beladene Rollpaletten möglichst mit dem Gefälle zur Einsatzstelle befördert werden sollten.

Ebenfalls wurde die Frage nach der zu tragenden persönlichen Schutzausrüstung (PSA) diskutiert. Im Ergebnis wurden für differierende Einsatzaufgaben Vorschläge erarbeitet und zur Umsetzung empfohlen. Grundsätzlich sollte in diesem Kontext jedoch berücksichtigt werden, dass aufgrund der zum Teil sehr langen Anmarschwege und der damit verbundenen körperlichen Beanspruchung, möglichst nur die PSA-Komponenten getragen werden sollten, die zur Ausführung der Tätigkeit unbedingt notwendig sind.

C10 LITERATURVERZEICHNIS

- [Bautechnik 2008] Bleißbergtunnel – Befestigungssysteme in einem Rekordbauwerk; Bautechnik - Zeitschrift für den gesamten Ingenierbau; Heft 8; 2009
- [Bleißberg 2011] Tunnel Bleißberg Los 2; Planung Trockenlöschwasserleitung Bleißberg; hydraulische Berechnung Löschwasserleitung - Teil 1 im Auftrag der DB Netz AG; März 2011
- [Brill 2013] Brill, Lothar; Eisenbahntunnel-Portal; <http://eisenbahntunnelportal.de/lb/inhalt/tunnelportale/5919-bleissberg.html>; Stand 02.07.2015
- [EBA 2008] Eisenbahn-Bundesamt; Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“; Stand 01. Juli 2008
- [FwDV 2002] Feuerwehr-Dienstvorschrift 7 „Atemschutz“, Projektgruppe Feuerwehr-Dienstvorschriften, Stand: 2002 mit Änderungen von 2005
- [Geis 2010] Geis, Roland; „ICE Tunnel Wandersmann – Das Atemschutzteam; Powerpoint-Präsentation; April 2010
- [GFD 2015] Feuerwehrkatalog 2012 – 2015 der Einkaufsgemeinschaft „Gemeinschaft Feuerwehrfachhandel Deutschland“, 2015
- [Grabski et al. 2010] Grabski, R., Brein, D., Kunkelmann, J., Neske, M., Pasch, U.; „Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA) - Teilschritt 1 - “; Bericht Nr.: 161 des IMK-Brandschutzforschungs-programms; Heyrothsberge/Karlsruhe; 2010
- [GUV-V C 53 2003] Gesetzliche Unfallversicherung; Unfallverhütungsvorschrift „Feuerwehren“ vom Mai 1989, in der Fassung vom Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen vom Juli 2003

- [Innsbruck 2012] Inbetriebnahme der Unterinntaltrasse; Bezirksfeuerwehverband Innsbruck; URL: <http://www.bfv-ibk-land.at/system/web/news.aspx?bezirkonr=0&menuonr=50395753&detailonr=50408209>; 18.03.2012; Stand 02.07.2015
- [Merkblatt 2013] Arbeitsgruppe Gefahrenabwehr Neubaustrecke ICE Ebensfeld – Erfurt; Taktische Vorgehensweise der TBE bei einem Ereignis im Tunnel NBS VDE 8.1 in TH und BY; Phase 1: Erkundung; Stand 23.10.2013
- [Merkblatt 2015] Arbeitsgruppe Gefahrenabwehr Neubaustrecke ICE Ebensfeld – Erfurt; Merkblätter für die taktische Vorgehensweise bei einem Ereignis im Tunnel VDE 8.1; 1. Phase: Erkundung; Fahrzeugführer/Maschinist/Sicherheitstrupp
- [NDS 2012] Niedersächsische Akademie für Brand- und Katastrophenschutz; Unterrichtsmaterial zum Lehrgang "Atemschutzgerätewart", Stand Dezember 2012
- [NDS 2013] Niedersächsische Akademie für Brand- und Katastrophenschutz; Unterrichtsmaterial zum Lehrgang "Atemschutzgeräteträger", Stand April 2013
- [Neske 2015] Neske, Michael; „Experimentelle Untersuchungen und theoretische Modellierung zu den Auswirkungen von Wärmeexposition auf Pressluftatmer, Vollmasken und Lungenautomaten; Dissertation; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; März 2015
- [Rettungskonzept 2015] Spödlin; Roßteutscher: VDE 8.1, NBS Ebensfeld – Erfurt: Rettungskonzept Tunnel Bleißberg und Tunnel Goldberg Erläuterungsbericht; 2. Revision; 24.03.2015
- [TBE 2014] Merkblatt Brand- und Katastrophenschutz Nr. 33/2014; Rahmenalarmplan Schiene und Tunnelbasiseinheiten; Landkreis Saalfeld-Rudolstadt, SG Brand- und Katastrophenschutz; http://www.kfv-saale-schwarza.de/images/content/files/rl_0332014_rahmenalarmplan_schiene_und_tbe.pdf; Stand 03.08.2015

- [VDE8 2015] DB Netz AG; <http://www.vde8.de/de/vde-81-neubau/tunnel-blessberg>;
Stand 20.08.2015
- [vfdb 2001] Arbeitsgruppe „Tunnelbrandbekämpfung“ im Referat 5; Technischer Bericht der VFDB Empfehlungen zur Schadensbekämpfung bei Brand und Kollision von Reisezügen in Tunnelanlagen der Deutschen Bahn AG durch öffentliche Feuerwehren; vfdb-Zeitschrift; Ausgabe 3/2001; S. 145-149
- [vfdb 2007] vfdb-Richtlinie 0805; „Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung für Einsätze bei deutschen Feuerwehren, VdS Verlag Köln, November 2007
- [Wandersmann 2010] Fritz, Gesa; „Katastrophen-Szenario im ICE- Tunnel“; Frankfurter Rundschau, Rhein-Main; 01. November 2010; <http://www.fr-online.de/rhein-main/gross-uebung--katastrophen-szenario-im-ice--tunnel,1472796,4793662.html>; Stand 20.08.2015