



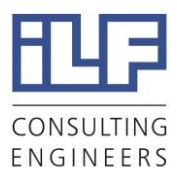
RVS-Arbeitsausschuss 09.03.11 TuRisMo

**Auswertung der ASFINAG-
Tunnelbrandstatistik 2006-2012**

14.10.2013

ILF BERATENDE INGENIEURE

Harrachstraße 26, A-4020 Linz
Tel: 0512-2412-4213 / Fax: 0512-2412-4263
E-Mail: info.linz@if.com



REVISIONSVERZEICHNIS

Rev.	Datum	Ausgabe, Art der Änderung	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
1	14.10.2013	Endgültige Fassung	A. Lentz	B. Kohl	B. Kohl
0	23.09.2013	Entwurf zur Kommentierung	A. Lentz	B. Kohl	B. Kohl

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Generelle Brandhäufigkeit	1
1.3	Brände nach Pannen und Unfällen	2
1.4	Gefährdungspotential von Bränden	4
1.5	Weitere Ergebnisse	4
1.6	Umsetzung der Ergebnisse in der RVS 09.03.11	5
2	AUFGABENSTELLUNG	1
3	DATEN	1
3.1	Branddaten	1
3.1.1	Basisversion	1
3.1.2	Anpassungen	1
3.2	Verkehrsdaten	1
3.3	Pannendaten	2
3.4	Unfalldaten	2
4	BRANDENTSTEHUNG	2
4.1	Generelle Brandhäufigkeit	2
4.2	Art der Brandentstehung	6
4.3	Brandwahrscheinlichkeit nach Pannen	8
4.4	Brandwahrscheinlichkeit nach Unfällen mit Personenschaden	9
4.5	Wahrscheinlichkeit eines Anhaltens im Tunnel	11
5	BRANDENTWICKLUNG	12
5.1	Entwicklungsgeschwindigkeit	12
5.2	Maximale Brandintensität	13
5.2.1	Maximale Brandintensität bei PKW	14
5.2.2	Maximale Brandintensität bei LKW und Bussen	15
5.3	Entstehungsgeschwindigkeit vs. maximale Intensität	18

5.4	Feuerwehr-Anfahrtsdauer vs. maximale Intensität bei LKW und Bussen	19
6	BRANDERKENNUNG	20
7	LÖSCHUNGSART	23
8	UMSETZUNG DER ERGEBNISSE IN DER RVS 09.03.11 (TURISMO)	24
8.1	Ereignisbaum Spalte E (Folgebrand)	24
8.2	Ereignisbaum Spalte G (Personengefährdung bei Brand infolge Panne)	25
8.3	Ereignisbaum Spalte H (Brandgröße)	25
8.4	Ereignisbaum Spalte I (Schadensszenario)	27
9	REFERENZEN	28

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1	Tunnelbrände, alle Fahrzeugtypen	2
Abbildung 4-1	Tunnelbrände, alle Fahrzeugtypen	4
Abbildung 4-2	Tunnelbrände mit mindestens einem brennenden PKW	5
Abbildung 4-3	Tunnelbrände mit mindestens einem brennenden LKW oder Bus	5
Abbildung 4-4	Tunnelbrände mit mindestens einem brennenden PKW nach Art der Brandentstehung	8
Abbildung 5-1	Maximale Intensität von LKW-Bränden 2006-2012, Ereignisbaum	17

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1	Häufigkeit von Bränden in österreichischen Autobahn- und Schnellstraßentunneln	1
Tabelle 1-2	Brände in österr. Autobahn- und Schnellstraßentunneln, 2006-2012	2
Tabelle 1-3	Selbstentzündungen pro 1.000 Pannen	3
Tabelle 1-4	Folgebrände pro 1.000 Unfälle mit Personenschaden	3
Tabelle 1-5	Maximale Intensität von LKW- und Busbränden 2006-2012, empfohlene Verteilung	4
Tabelle 4-1	Anzahl Brände in österr. Autobahn- und Schnellstraßentunneln 2006-2012	2
Tabelle 4-2	Häufigkeit von Bränden in österr. Autobahn- und Schnellstraßentunneln	3
Tabelle 4-3	Beitrag der verschiedenen Brandarten, alle Fahrzeuge	6
Tabelle 4-4	Beitrag der verschiedenen Brandarten, PKW	7
Tabelle 4-5	Beitrag der verschiedenen Brandarten, LKW und Busse	7
Tabelle 4-6	Brände pro 1.000 Pannen, 2006-2012	8
Tabelle 4-7	Unfallbedingte Brände nach Unfalltyp und Verkehrsführung (GV/RV), 2006-2012	9

Tabelle 4-8	Unfälle mit Personenschaden nach Unfalltyp und Verkehrsführung (GV/RV), hochgerechnet auf 2006-2012	10
Tabelle 4-9	Folgebrände pro 1.000 Unfälle mit Personenschaden, nach Unfalltyp und Verkehrsführung (GV/RV)	11
Tabelle 4-10	95 %-Konfidenzintervall der Folgebrandrate nach Unfällen mit Personenschaden	11
Tabelle 4-11	Wahrscheinlichkeit eines Anhaltens im Tunnel nach Selbstentzündung	12
Tabelle 5-1	Entwicklungsgeschwindigkeit von PKW-Bränden, Ereignisse 2006-2012	13
Tabelle 5-2	Entwicklungsgeschwindigkeit von LKW/Bus-Bränden, Ereignisse 2006-2012	13
Tabelle 5-3	Maximale Intensität von PKW-Bränden 2006-2012, absolut	14
Tabelle 5-4	Verteilung der maximalen Intensität von PKW-Bränden, relativ	15
Tabelle 5-5	Maximale Intensität von LKW- und Busbränden 2006-2012, absolut	16
Tabelle 5-6	Verteilung der maximalen Intensität von LKW- und Busbränden, relativ	16
Tabelle 5-7	Maximale Brandintensität bei gegebener Brandgeschwindigkeit (Spontanbrände von PKW)	18
Tabelle 5-8	Maximale Brandintensität bei gegebener Brandgeschwindigkeit (Spontanbrände von LKW und Bussen)	19
Tabelle 5-9	Feuerwehr-Anfahrtsdauer bei Selbstentzündungen von LKW und Bussen	19
Tabelle 6-1	Erkennung von PKW-Bränden 2006-2012, absolut	21
Tabelle 6-2	Erkennung von PKW-Bränden 2006-2012, relativ zur Anzahl gemeldeter Brände	21
Tabelle 6-3	Erkennung von LKW- und Busbränden 2006-2012	22
Tabelle 6-4	Erkennung von LKW- und Busbränden 2006-2012, relativ zur Anzahl gemeldeter Brände	22
Tabelle 7-1	Beitrag der verschiedenen Löschungsarten bei PKW-Bränden	23
Tabelle 7-2	Beitrag der verschiedenen Löschungsarten bei LKW- und Busbränden	24
Tabelle 8-1	Wahrscheinlichkeit eines Brandes in Zusammenhang mit einer Panne	24
Tabelle 8-2	Folgebrände nach Unfällen mit Personenschaden	25
Tabelle 8-3	Wahrscheinlichkeit einer personengefährdenden Brandentwicklung bei Brand infolge Panne	25
Tabelle 8-4	Brandgröße von LKW-Bränden nach Pannen	26
Tabelle 8-5	Modifikation der Wahrscheinlichkeit eines Vollbrandes des gesamten Fahrzeuges in Abhängigkeit von den Voraussetzungen für einen Feuerwehreinsatz	26
Tabelle 8-6	Brandgrößen bzw. Schadensausmaßwerte für Gefahrgutunfälle und relative Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit vom Ereignis	27

1 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

1.1 Einleitung

Im Zeitraum Mai 2006 bis Jänner 2013 (grob 2006-2012) kam es laut Statistik der Betreibergesellschaft ASFINAG zu 68 Fahrzeugbränden in Österreichs Autobahn- und Schnellstraßentunneln.

Der vorliegende Bericht wertet diese Ereignisse erstmals mit Hinblick auf verschiedene relevante Fragestellungen aus. Ziel ist es, die bei Risikoanalysen von Straßentunneln angewandten Raten und Teilwahrscheinlichkeiten auf den neuesten und genauesten Stand zu bringen.

1.2 Generelle Brandhäufigkeit

Obwohl LKW und Busse nur knapp 12 % zu den insgesamt in Tunneln zurückgelegten Fahrzeugkilometern beitragen, sind sie an ca. der Hälfte der Fahrzeugbrände beteiligt (Tabelle 1-1). Infolgedessen liegt die Brandrate pro zurückgelegten Kilometer in etwa siebenmal höher als bei PKW.

Tabelle 1-1 Häufigkeit von Bränden in österreichischen Autobahn- und Schnellstraßentunneln

Fahrzeugtyp	Anzahl Brände	In Tunneln zurückgelegte km (2006-2012)	Brände pro Milliarde km
Alle ¹	67	10,3 Mrd.	6,5
PKW	38	9,1 Mrd.	4,2
LKW/Bus	30	1,2 Mrd.	25,0

Die durchschnittliche Brandrate muss generell mit Vorsicht betrachtet werden, wie Abbildung 1-1 verdeutlicht: Betrachtet man Tunnel mit einer Verkehrsleistung von über 200 Fahrzeugkilometern (2006-2012 gesamt), zeigt sich eine deutliche Zweiteilung der Population in je eine Gruppe mit über- und unterdurchschnittlicher Brandrate. Die überdurchschnittliche Gruppe ist von alpinen Tunneln mit steilen Rampen dominiert, die typisch bei LKW und Bussen Überhitzungsbrände auslösen können. Zwar gibt es auch in dieser Gruppe einzelne im flachen Gelände gelegene Tunnel (Bindermichl, Rannersdorf), doch

¹ Eines der 74 Ereignisse betraf eine Arbeitsmaschine und wurde nicht gewertet. Bei einem der Ereignisse brannten sowohl ein PKW als auch ein LKW.

gehen die beobachteten Brände hier überwiegend auf PKW zurück.

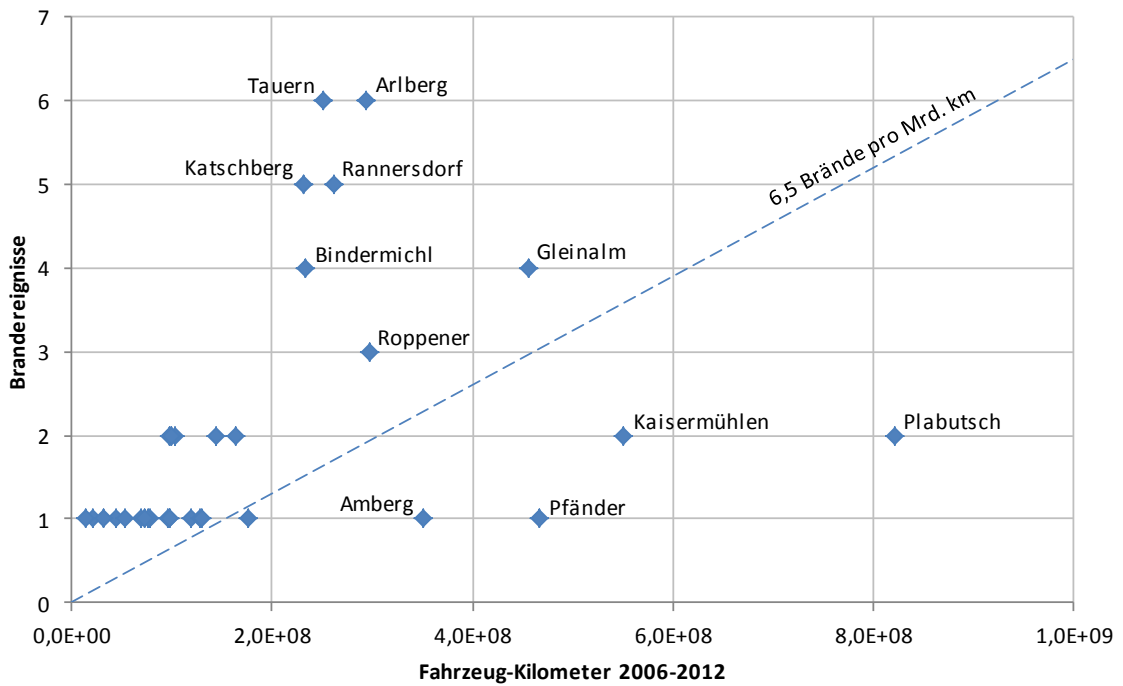


Abbildung 1-1 Tunnelbrände, alle Fahrzeugtypen

1.3 Brände nach Pannen und Unfällen

Bei Risikoanalysen von Straßentunneln ist oftmals die *bedingte* Brandwahrscheinlichkeit nach verschiedenen Primäreignissen von mindestens ebenso großem Interesse wie die Brandrate pro Kilometer.

Tabelle 1-2 Brände in österr. Autobahn- und Schnellstraßentunneln, 2006-2012

Brandart	PKW	LKW und Busse
Selbstentzündung	32	28
Folgebrand	5	1
- nach Alleinunfall	2	0
- nach Unfall in Fahrtrichtung	2	1
- nach Unfall mit Gegenverkehr	1	0
Unbekannt	1	1
Insgesamt	38	30

Generell handelt es sich bei den meisten Bränden um Selbstentzündungen, während die statistische Basis im Fall von Folgebränden relativ schmal ist (Tabelle 1-2). Nach Pannen liegt die Brandwahrscheinlichkeit von LKW und Bussen scheinbar mehr als einen Faktor 6 über der von PKW (Tabelle 1-3), was jedoch an der Pannenstatistik liegen kann, die im Gegensatz zur Brandstatistik nicht zwischen den Fahrzeugtypen unterscheidet. Bei Unfällen – wo eine nach Fahrzeugtyp unterscheidende Unfallstatistik vorliegt – zeigt sich bei Unfällen kein vergleichbarer Unterschied: Hier ist die bedingte Brandwahrscheinlichkeit nach PKW-Unfällen in Fahrtrichtung annähernd gleich groß wie nach entsprechenden LKW- und Busunfällen (Tabelle 1-4). Bei Alleinunfällen und Unfällen mit dem Gegenverkehr lässt sich dagegen kein direkter Vergleich ziehen, da es im Beobachtungszeitraum zu keinen entsprechenden LKW- oder Busunfällen kam.

Tabelle 1-3 Selbstentzündungen pro 1.000 Pannen

Fahrzeugtyp	Bedingte Brandwahrscheinlichkeit
Alle	2,5
PKW	1,5
LKW/Bus	9,9

Tabelle 1-4 Folgebrände pro 1.000 Unfälle mit Personenschaden

Unfalltyp	PKW	LKW und Busse
Alleinunfall	12,3	-
Unfall in Fahrtrichtung	6,4	5,8
Unfall mit Gegenverkehr	19,9	-
Insgesamt	9,6	4,1

Teilweise gelingt es den Fahrern, ein Anhalten des brennenden Fahrzeugs im Tunnel zu verhindern. Das Fahrzeug kann entweder vor der Tunneleinfahrt angehalten oder aus dem Tunnel herausgefahren werden. Bei LKW und Bussen gelingt dies in 25 % aller Selbstentzündungen, während es bei PKW nur auf 6 % der Fälle zutrifft.

1.4 Gefährdungspotential von Bränden

Ein gutes Drittel (37 %) aller Selbstentzündungen von PKW in Straßentunneln entwickelt sich zu Vollbränden. Bei LKW und Bussen entwickelt sich die Hälfte der Brände zu Vollbränden, von denen sich allerdings 80 % auf die Fahrerkabine beschränkt (repräsentative Brandlast 5 MW bzw. 30 MW). Die übrigen Vollbrände erfassen das gesamte Fahrzeug und lassen sich der repräsentativen Brandlast 30 MW bzw. 100 MW zuordnen. Da etwa 25 % aller brennende LKW und Busse entweder vor dem Portal anhalten oder selbständig aus dem Tunnel herausfahren, sind die Werte in Tabelle 1-5 entsprechend bereinigt. Bei PKW tritt dieses Phänomen deutlich seltener, weshalb praktisch alle brennenden Fahrzeuge im Tunnel zum Stehen kommen.

Tabelle 1-5 Maximale Intensität von LKW- und Busbränden 2006-2012, empfohlene Verteilung

Maximale Intensität	Wahrscheinlichkeit
Vollbrand 100 MW	1 %
Vollbrand 30 MW	14 %
Vollbrand 5 MW	23 %
Kein Vollbrand	37 %
Fahrzeug bleibt außerhalb des Tunnels stehen	25 %

Eine Gegenüberstellung von Feuerwehr-Anfahrtsdauer und Brandintensität zeigt, dass höhere Maximalwerte bei der Intensität mit längerer Anfahrtsdauer korrelieren. Offensichtlich beschränkt ein rechtzeitiges Eingreifen in vielen Fällen die maximale Brandintensität.

1.5 Weitere Ergebnisse

Weitere Untersuchungen betrafen die Branderkennung und die Art der Löschung.

Bei der Erkennung von PKW-Bränden dominieren automatische Meldungen (bei ca. 40 % aller Brände), gefolgt von Meldungen via fest installierten Notruftelefonen bzw. Meldungen durch das Betriebspersonal (jeweils ca. 30 %). Da Mehrfachnennungen möglich sind, ergibt sich gemeinsam mit den übrigen Erkennungsmethoden eine Summe von über 100 %.

Im Fall von LKW und Bussen zeigt sich eine ähnliche Verteilung. Allerdings liegt der Anteil Brände mit Meldungen via Notruftelefon oder durch das Betriebspersonal deutlich niedriger als bei PKW.

Der Anteil der Selbstlösungen durch den Fahrer liegt bei spontanen PKW-Bränden (Selbstentzündung) generell bei 30 %, bei Folgebränden nach Unfällen sogar nur bei 20 %. Die restlichen Brände wurden vom Betriebspersonal oder der Feuerwehr gelöscht. Bei spontanen LKW- und Busbränden liegt der Anteil der Selbstlösungen bei 40 %. Hier dürfte der LKW-typische hohe Anteil kleinerer Brände an Reifen, Bremsen und Turboladern eine Rolle spielen.

1.6 Umsetzung der Ergebnisse in der RVS 09.03.11

Einige der Ergebnisse dieses Berichts wurden von der Arbeitsgruppe zur RVS 09.03.11 behandelt [1] [2] [3] und fließen direkt in die Neufassung der RVS 09.03.11 ein. Das betrifft konkret die Ergebnisse zur bedingten Brandwahrscheinlichkeit und zur maximalen Brandintensität.

Eine genaue Beschreibung, wie die Ergebnisse in die RVS übernommen wurden, findet sich in Kapitel 8.

2 AUFGABENSTELLUNG

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der historischen Häufigkeit von Bränden in Straßentunneln und der Wahrscheinlichkeit verschiedener Folgeereignisse. Die dabei ermittelten Werte dienen als Eingangsparameter für Risikoanalysen von Straßentunneln.

3 DATEN

3.1 Branddaten

3.1.1 Basisversion

Die Untersuchung stützt sich auf eine Tunnelbranddatenbank des österreichischen Autobahn- und Schnellstraßenbetreibers ASFINAG. Die Datenbank umfasst den Zeitraum Mai 2006 bis Jänner 2013, d.h. grob 2006-2012. In diesem Zeitraum ereigneten sich im Zuständigkeitsbereich der ASFINAG 74 voneinander unabhängige Tunnelbrände.

Jeder Eintrag in der Datenbank enthält eine Vielzahl an Informationen zu Entstehung, Entdeckung und Bekämpfung des Brandes, zu den Brandfolgen sowie zu etlichen anderen Parametern.

3.1.2 Anpassungen

Die Datenbank wurde anschließend im direkten Dialog mit der ASFINAG bereinigt [3], wobei rückwirkend alle LKW-Brände entfernt wurden, die nach den aktuellen, seit zwei Jahren geltenden Kriterien nicht mehr als solche zählen würden. Dadurch verringerte sich die Anzahl Brände in den Jahren 2006-2012 von 74 auf 68.

3.2 Verkehrsdaten

Um die Brandhäufigkeit ermitteln zu können, benötigt man Daten zur durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) bzw. zur durchschnittlichen täglichen Lastverkehrsstärke (DTLV). DTLV umfasst alle KFZ mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen. DTLV ist in DTV enthalten.

Die oben beschriebene Tunnelbranddatenbank enthält nur in einzelnen Fällen Informationen zu DTV und DTLV. In allen anderen Fällen werden DTV und DTLV aus dem Abschnittsverzeichnis der Autobahnen und Schnellstraßen 2010 der ASFINAG entnommen.

3.3 Pannendaten

Das Merkblatt RVS 09.03.11 (*Tunnel-Risikomodell, Ausgabe 2008*) [4] enthält Angaben zur Pannenhäufigkeit pro in Tunneln zurückgelegter Kilometer.

3.4 Unfalldaten

Um die Wahrscheinlichkeit der Brandentstehung im Falle eines Unfalls zu bestimmen, benötigt man Daten zur Unfallhäufigkeit in Straßentunneln. Ein Entsprechender Datensatz der ASFINAG für die Jahre 2006-2009 wurde bereits in einer früheren ILF-internen Untersuchung analysiert [5] und dient auch hier als Grundlage.

4 BRANDENTSTEHUNG

4.1 Generelle Brandhäufigkeit

Im Zeitraum 2006-2012 kam es in österreichischen Autobahn- und Schnellstraßentunneln zu 68 Bränden (siehe Tabelle 4-1). Die überwiegende Anzahl der Brände geht auf brennende PKW und LKW zurück. Unter den zwei „sonstigen“ Bränden befinden ein Brand eines Wohnwagenanhängers und ein Brand einer Arbeitsmaschine.

Tabelle 4-1 Anzahl Brände in österr. Autobahn- und Schnellstraßentunneln 2006-2012

Brandtyp	Anzahl
PKW	37
LKW	26
Bus	4
Motorrad	0
Gefahrguttransport	0
Sonstige	2
Alle²	68

² 37 + 26 + 4 + 2 = 69 > 68 Brände. Der Unterschied kommt durch ein Ereignis zustande, bei dem sowohl ein PKW als auch ein LKW in Brand gerieten.

Die generelle Häufigkeit von Bränden in Straßentunneln ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl Brände und den zurückgelegten Fahrzeugkilometern im Beobachtungszeitraum. Dabei gelten folgende Grundsätze und Annahmen:

- Brand: Ein Brandereignis kann mehrere brennende Fahrzeuge und Fahrzeugklassen (PKW, LKW etc.) umfassen.
- Fahrzeugkilometer: Um die generelle Brandhäufigkeit zu bestimmen, müssen die zurückgelegten Fahrzeugkilometer aus allen Autobahn- und Schnellstraßentunneln herangezogen werden, d.h. auch von jenen, in denen keine Brände aufgetreten sind.
- Fahrzeugklassen: Da die zurückgelegten Fahrzeugkilometer nur für Fahrzeuge bis 3,5 t und Fahrzeuge über 3,5 t bekannt sind, werden die Brandereignisse in zwei Kategorien zusammengefasst, PKW und LKW/Bus. Wohnwagenanhänger zählen dabei als PKW, Arbeitsmaschinen werden im weiteren Bericht nicht berücksichtigt.
- Brände im Portal- und Vorportalbereich: Die Statistik enthält Brände an den Portalen sowie im Vorportalbereich (11 von 67 Ereignissen bzw. 16 %). Diese Brände werden grundsätzlich wie eigentliche Tunnelbrände behandelt; hätten die Fahrzeuglenker ihr brennendes Fahrzeug nicht bewusst im Portal- bzw. Vorportalbereich angehalten, wäre es in den meisten Fällen zu einem Brand im Tunnel gekommen.

Tabelle 4-2 Häufigkeit von Bränden in österr. Autobahn- und Schnellstraßentunneln

Fahrzeugtyp	Anzahl Brände	In Tunneln zurückgelegte km (2006-2012)	Brände pro Milliarde km
Alle ³	67	10,3 Mrd.	6,5
PKW	38	9,1 Mrd.	4,2
LKW/Bus	30	1,2 Mrd.	25,0

Tabelle 4-2 enthält die generelle Brandhäufigkeit, aufgliedert nach Fahrzeugtypen. Es zeigt sich generell, dass die Brandhäufigkeit pro gefahrenen Kilometer im Fall von LKW und Bussen beinahe eine Größenordnung über der von PKW liegt.

Es deutet allerdings einiges darauf hin, dass die Brandhäufigkeit pro Fahrzeugkilometer keine universelle, von den Tunneleigenschaften unabhängige Größe ist. Abbildung 4-1 zeigt, dass die betrachteten Tunnel mit Hinblick auf die Brandhäufigkeit in mindestens zwei deutlich abgegrenzte Populationen zerfällt:

- Im linken oberen Quadranten befinden sich überwiegend alpine Tunnel (abgesehen vom Bindermichtunnel und dem Rannersdorftunnel). Die Brandhäufigkeit liegt bei 9 bis 24 Bränden pro Milliarde Fahrzeugkilometer.

³ Ohne Arbeitsmaschinen, deshalb 67 Brände im Gegensatz zu den 68 Bränden in Tabelle 4-1.

- Im rechten unteren Quadranten befinden sich ausschließlich städtische bzw. stadtnahe Tunnel. Die Brandhäufigkeit liegt bei 2,2 bis 3,6 Bränden pro Milliarde Fahrzeugkilometer.

Schränkt man die Betrachtung auf PKW ein (Abbildung 4-2), verschwindet dieser Effekt im Wesentlichen. Zwar lassen sich immer noch zwei deutlich abgegrenzte Populationen erkennen, jedoch ohne eine erkennbare Übereinstimmung mit der Tunnellage (alpin bzw. städtisch/stadtnah). Möglicherweise spielt hier das jeweilige Verhältnis zwischen Spontan- und Folgeunfällen eine Rolle. Dieser Frage geht Abschnitt 4.2 nach.

Umgekehrt befinden sich Tunnel mit hoher LKW-Brandhäufigkeit pro gefahrener Kilometer ausschließlich in alpinem Gelände (Abbildung 4-3), was einen Zusammenhang mit der Längsneigung der Straße und damit mit der Gefahr spontanen Bränden durch Motorüberhitzung vermuten lässt.

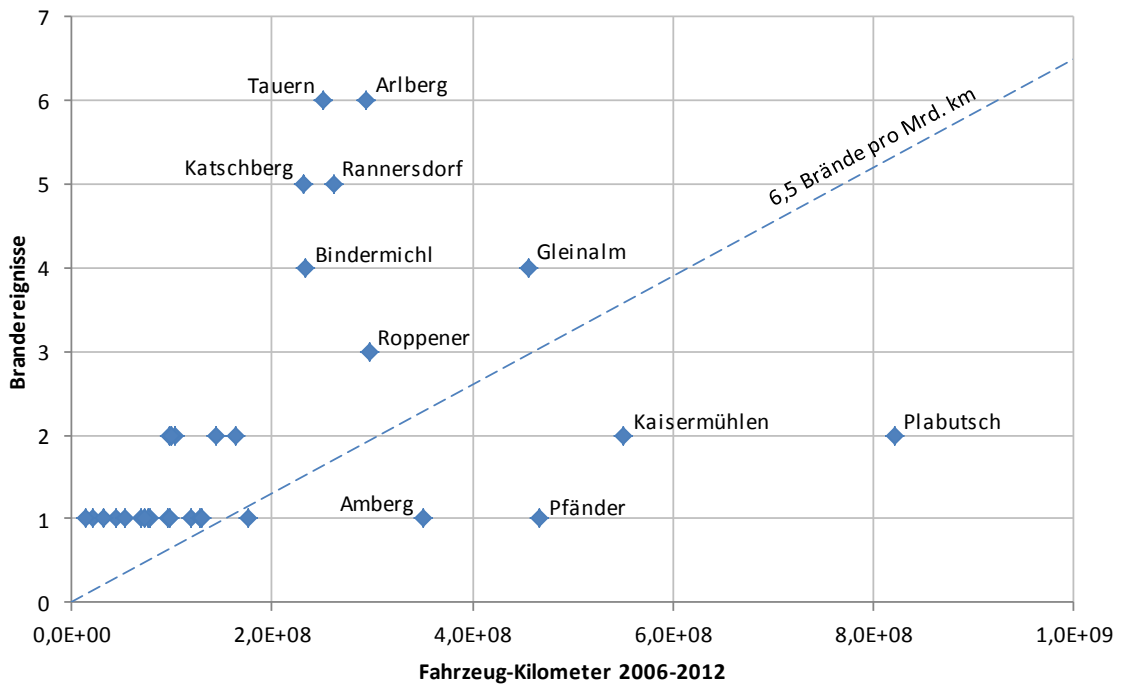


Abbildung 4-1 Tunnelbrände, alle Fahrzeugtypen

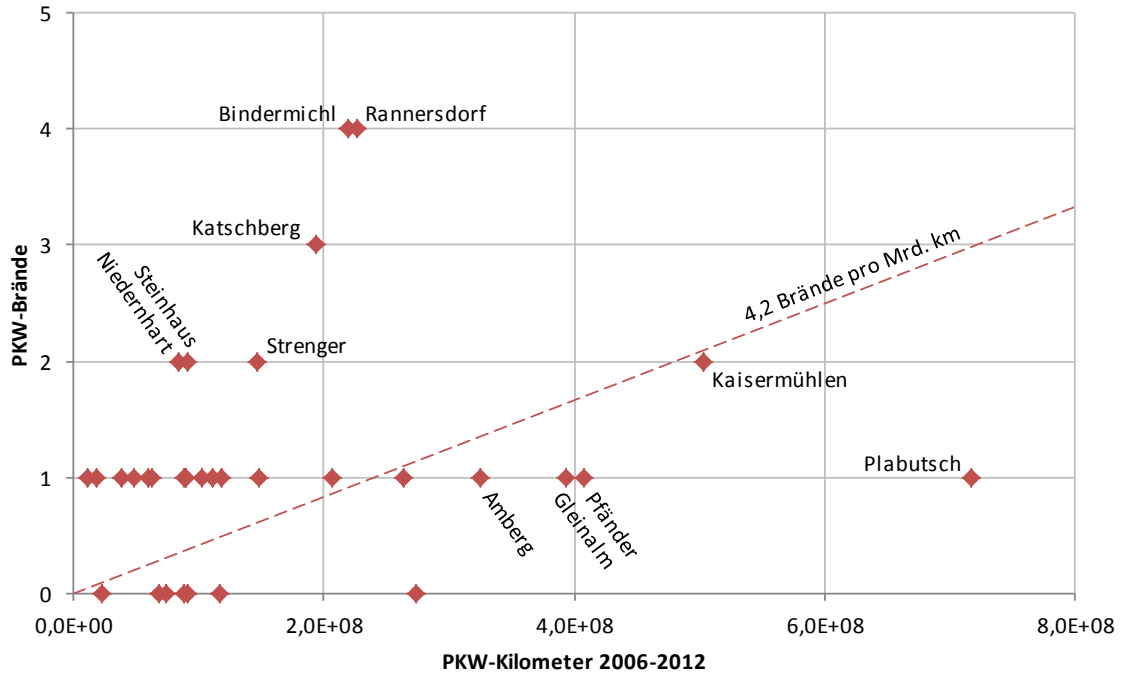


Abbildung 4-2 Tunnelbrände mit mindestens einem brennenden PKW

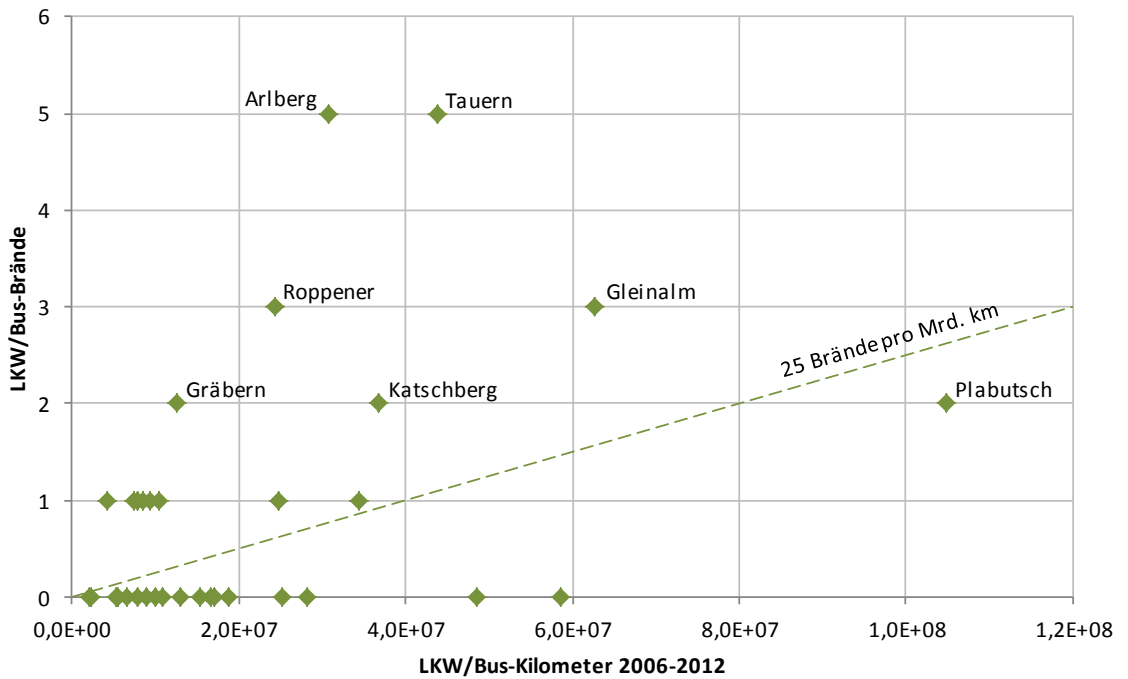


Abbildung 4-3 Tunnelbrände mit mindestens einem brennenden LKW oder Bus

4.2 Art der Brandentstehung

Der überwiegende Anteil aller Brände mit bekannter Ursache entsteht durch Selbstzündung, d.h. ohne vorhergehenden Unfall. Wie Tabelle 4-3 zeigt, trifft das auf 92 % aller Fahrzeugbrände in Tunneln zu⁴. Die übrigen 8 % verteilen sich in etwa hälftig auf Alleinunfälle und Kollisionen mit anderen Fahrzeugen.

Tabelle 4-3 Beitrag der verschiedenen Brandarten, alle Fahrzeuge

Brandart	Anzahl	Anteil
Selbstentzündung	60	92 %
Folgebrand	5	8 %
- nach <i>Alleineunfall</i>	2	3 %
- nach <i>Unfall in Fahrtrichtung</i>	2	3 %
- nach <i>Unfall mit Gegenverkehr</i>	1	2 %
Insgesamt (bekannt)	65	100 %
Unbekannt	2	-
Insgesamt	67	-

Unterscheidet man zwischen PKW (Tabelle 4-4) und LKW samt Bussen (Tabelle 4-5), zeigt sich, dass PKW-Brände zu einem deutlich höheren Anteil (14 %) durch Unfälle verursacht werden als LKW- und Busbrände (3 %).

De facto kam es im Beobachtungszeitraum nur zu einem einzigen Folgebrand eines LKW. Dieser wurde allerdings vom LKW selbst verursacht, als dieser im Plabutschunnel auf einen nach einer Panne liegengebliebenen PKW auffuhr, wodurch beide Fahrzeuge in Brand gerieten.

Bereits in Abschnitt 4.1 wurde festgehalten, dass die Anzahl PKW-Brände pro zurückgelegtem Kilometer in zwei Populationen zerfällt (Abbildung 4-2), ohne dass sich dieser Effekt wie bei LKW und Bussen mit der geographischen Lage (alpin vs. stadtnah) begründen ließe (vgl. Abbildung 4-2). Es bestand die Vermutung, dass diese Zweiteilung möglicherweise mit dem Unterscheid zwischen spontanen Bränden (Selbstentzündung) und Folgebränden nach Unfällen in Verbindung stehen könnte.

⁴ Die Brandstatistik weist vielfach Pannen (Selbstentzündung) als Alleinunfälle aus. Dieser Fehler wurde anhand des Beschreibungstextes der betroffenen Ereignisse identifiziert und händisch korrigiert.

Die nach Brandarten aufgeschlüsselte Abbildung 4-4 bestätigt diese Vermutung jedoch nicht unmittelbar. Zumindest zeigt sich aber, dass die Population mit hoher Brandrate (linker oberer Quadrant) ausschließlich aus spontanen Bränden besteht, während die Population mit niedriger Brandrate (rechter unterer Quadrant) durchmischt ist und sowohl aus spontanen als auch Folgebränden besteht.

Tabelle 4-4 Beitrag der verschiedenen Brandarten, PKW

Brandart	Anzahl	Anteil
Selbstentzündung	32	86 %
Folgebrand	5	14 %
- nach Alleinunfall	2	5 %
- nach Unfall in Fahrtrichtung	2	5 %
- nach Unfall mit Gegenverkehr	1	3 %
Insgesamt (bekannt)	37	100 %
Unbekannt	1	-
Insgesamt	38	-

Tabelle 4-5 Beitrag der verschiedenen Brandarten, LKW und Busse

Brandart	Anzahl	Anteil
Selbstentzündung	28	97 %
Folgebrand	1	3 %
- nach Alleinunfall	0	0 %
- nach Unfall in Fahrtrichtung	1	3 %
- nach Unfall mit Gegenverkehr	0	0 %
Insgesamt (bekannt)	29	100 %
Unbekannt	1	-
Insgesamt	30	-

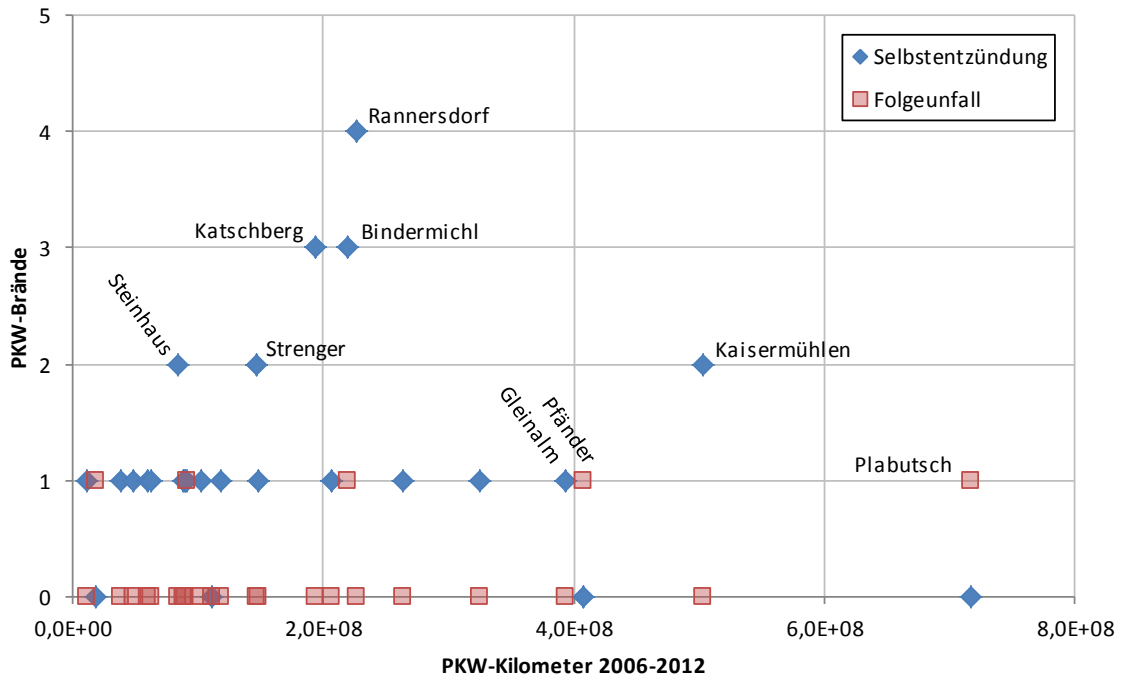


Abbildung 4-4 Tunnelbrände mit mindestens einem brennenden PKW nach Art der Brandentstehung

4.3 Brandwahrscheinlichkeit nach Pannen

Eine frühere Analyse von Pannen in österreichischen Tunneln ergab eine Pannenrate von 2,372 Pannen pro Million in zurückgelegten Kilometern bzw. 230 Pannen pro Million KFZ-Betriebsstunden [4]. Vergleicht man die erste Zahl mit der Selbstentzündungsrate, erhält man die erwartete Brandwahrscheinlichkeit im Fall einer Panne (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6 Brände pro 1.000 Pannen, 2006-2012

Fahrzeugtyp	Pannen pro Million in Tunneln zurückgelegte km	Selbstentzündungen pro Million in Tunneln zurückgelegte km	Brände pro 1.000 Pannen
Alle ⁵	2,372	0,0058	2,5
PKW		0,0035	1,5
LKW/Bus		0,0234	9,9

⁵ Ohne Arbeitsmaschinen. Bei einem der Ereignisse brannten sowohl ein PKW als auch ein LKW.

4.4 Brandwahrscheinlichkeit nach Unfällen mit Personenschaden

Generell kann man davon ausgehen, dass Unfälle mit Personenschaden mehr oder minder vollständig erfasst werden. Bei Unfällen ohne Personenschaden trifft das nicht im selben Grad zu. Deshalb ist die Brandwahrscheinlichkeit pro Unfall mit Personenschaden eine wichtige Kenngröße⁶.

Um die Brandwahrscheinlichkeit nach einem Unfall zu bestimmen, kann es von Interesse sein, zwischen Tunneln mit Gegenverkehrs- (GV) und Richtungsverkehrsbetrieb (RV) zu unterscheiden. In RV-Tunneln kann es grundsätzlich nur aufgrund von Geisterfahrten zu Unfällen mit dem Gegenverkehr kommen.

Tabelle 4-7 Unfallbedingte Brände nach Unfalltyp und Verkehrsführung (GV/RV), 2006-2012

Fahrzeugtyp	PKW			LKW/Bus		
	GV	RV	Insg.	GV	RV	Insg.
Alleinunfall		2	2			
Unfall in Fahrtrichtung		2	2		1	1
Unfall mit Gegenverkehr	1		1			
Insgesamt	1	4	5	0	1	1

Tabelle 4-7 schlüsselt die durch Unfälle ausgelösten Brände entsprechend auf. Im Fall von LKW und Bussen kam es nur zu einem einzigen unfallbedingten Brand, der sich in Fahrtrichtung in einem RV-Tunnel ereignete und ebenfalls einen brennenden PKW involvierte.

Um unfallbedingte Brände und Unfälle miteinander vergleichen zu können, muss die Anzahl Unfälle auf den Beobachtungszeitraum hochgerechnet werden. Die in [5] ausgewerteten Unfalldaten beziehen sich auf den Zeitraum 2006-2009, also 4 Jahre. Da die Daten für das Jahr 2006 eine unrealistisch niedrige Unfallzahl ausweisen, wurde bereits in [5] die Unfallrate für 3,5 statt für 4 Jahre berechnet. Dieser Ansatz wird auch hier übernommen. Die Daten aus der Unfalldatenbank wurden für die vorliegende Untersuchung teilweise neu analysiert, um die benötigten Zwischenresultate darstellen zu können. Tabelle 4-8 enthält die geschätzte Anzahl Unfälle für den Beobachtungszeitraum 2006-2012 (Mai

⁶ Es ist wichtig zu beachten, dass es sich *nicht* um das Verhältnis (Folgebrände *mit Personenschaden*) : (Unfälle mit Personenschaden) handelt. Es geht grundsätzlich darum, das Phänomen Folgebrand in Verhältnis zu einer verlässlichen Unfallzahl zu setzen. Deshalb wird bewusst das Verhältnis (Folgebrände) : (Unfälle mit Personenschaden) ermittelt.

2012-Jänner 2013), d.h. hochgerechnet mit einem Faktor $6,75 / 3,5 = 1,93$.

Tabelle 4-8 Unfälle mit Personenschaden nach Unfalltyp und Verkehrsführung (GV/RV), hochgerechnet auf 2006-2012

Fahrzeugtyp	PKW			LKW/Bus ⁷		
	GV	RV	Insg.	GV	RV	Insg.
Alleinunfall	19	143	162	14	21	35
Unfall in Fahrtrichtung	95	216	311	42	129	172
Unfall mit Gegenverkehr	48	2 ⁸	50	37	2 ⁸	39
Insgesamt	162	361	523	93	152	245

Teilt man die Anzahl Folgebrände durch die Anzahl Unfälle, erhält man einen Schätzwert für die Brandrate bei Unfällen. Die Ergebnisse in Tabelle 4-9 zeigen eine klare Tendenz zu niedrigeren Brandraten nach PKW-Unfällen in Fahrtrichtung (ca. 0,6 %), die um mehr als das Dreifache unter den Brandraten für Begegnungsunfälle liegen (ca. 2,0 %). Die Brandrate nach Alleinunfällen von PKW liegt zwischen diesen beiden Werten (ca. 1,2 %). Auch wenn diese Ergebnisse aufgrund der geringen Anzahl Ereignisse mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind (siehe Konfidenzintervalle in Tabelle 4-10), so stimmen sie andererseits überraschend gut mit den in der vorhergehenden Version der RVS 09.03.11 aus dem Jahr 2008 überein [4]: Zwar ist die Brandwahrscheinlichkeit nach Unfällen generell zurückgegangen ist, doch hat sich der relative Beitrag der drei Unfalltypen kaum verändert.

Betrachtet man alle Folgebrände gemeinsam (5 Ereignisse), ergibt sich ein etwas sicherer Schätzwert von 1,0 % für die Brandrate bei Unfällen mit Personenschaden. Bei LKW und Bussen kam es hingegen nur zu einem einzigen Folgebrand, was zu einem zentralen Schätzwert von 0,4 % führt (mit der in Tabelle 4-10 beschriebenen Ungenauigkeit).

⁷ Inkl. Unfällen von Gefahrguttransporten. Im Zeitraum 2006-2009 ereigneten sich 6 Unfälle mit Gefahrguttransporten. Im Zeitraum 2006-2012 kam es zu keinem einzigen Brand eines Gefahrguttransportes, weder durch Selbstentzündung noch als Unfallfolge.

⁸ Unfälle mit Geisterfahrern

Tabelle 4-9 Folgebrände pro 1.000 Unfälle mit Personenschaden, nach Unfalltyp und Verkehrsführung (GV/RV)

Fahrzeugtyp	PKW			LKW/Bus		
	GV	RV	Insg.	GV	RV	Insg.
Alleinunfall	-	14,0	12,3	-	-	-
Unfall in Fahrtrichtung	-	9,3	6,4	-	7,7	5,8
Unfall mit Gegenverkehr	20,7	-	19,9	-	-	-
Insgesamt	6,2	11,1	9,6	-	6,6	4,1

Tabelle 4-10 95 %-Konfidenzintervall der Folgebrandrate nach Unfällen mit Personenschaden

Fahrzeugtyp	PKW			LKW/Bus		
	UG	Erwartung	OG	UG	Erwartung	OG
Alleinunfall	3,8	12,3	44,6	-	-	-
Unfall in Fahrtrichtung	2,0	6,4	23,3	1,4	5,8	32,5
Unfall mit Gegenverkehr	4,8	19,9	111,1	-	-	-
Insgesamt	4,2	9,6	22,3	1,0	4,1	22,7

4.5 Wahrscheinlichkeit eines Anhaltens im Tunnel

Dank der Geistesgegenwärtigkeit der betroffenen Fahrer gelingt es in manchen Fällen, ein brennendes Fahrzeug vor der Tunneleinfahrt anzuhalten bzw. aus dem Tunnel herauszufahren. Dieses Verhalten ist allerdings nur bei Selbstentzündungen zu erwarten, während es bei Bränden infolge Unfällen aufgrund der Schäden am Fahrzeug unmöglich sein dürfte.

Zwar erfasst die Statistik auch zwei Fälle von PKW-Anprall mit Brandfolge am Portal bzw. dem Vorportalbereich, doch entziehen sich diese Unfälle auf Grund der geringen Datenmenge einer sinnvollen Auswertung und Interpretation.

Wie Tabelle 4-11 zeigt, gelingt es 25 % der LKW- und Busfahrer, ein Anhalten im Tunnel nach einer Selbstentzündung zu vermeiden. Bei PKW-Lenkern liegt die Erfolgsquote dagegen nur bei 6 % und ist damit vernachlässigbar.

Tabelle 4-11 Wahrscheinlichkeit eines Anhaltens im Tunnel nach Selbstentzündung

Im Tunnel angehalten?	Anzahl		Anteil	
	PKW	LKW/Bus	PKW	LKW/Bus
Ja	30	21	94 %	75 %
Nein	2	7	6 %	25 %
Insgesamt	32	28	100 %	100 %

Aufgrund der geringeren Möglichkeiten, ein brennendes Fahrzeug aus einem Tunnel herauszufahren kommt es in längeren Tunneln vermutlich häufiger zu einem Anhalten als in kürzeren. Aufgrund des zu geringen Datenumfanges lässt sich dieser Effekt anhand der vorhandenen Informationen allerdings nicht nachweisen, geschweige denn beziffern.

5 BRANDENTWICKLUNG

Brände in Straßentunneln unterscheiden sich ganz wesentlich mit Hinblick auf ihr Gefährdungspotential. Die Art der Brandentwicklung bietet einen Ansatzpunkt, um den Grad der Gefährdung menschlichen Lebens abzuschätzen. Das Augenmerk liegt dabei auf zwei Brandentwicklungsparametern:

- Der Entwicklungsgeschwindigkeit
- Der maximalen Brandintensität

5.1 Entwicklungsgeschwindigkeit

Die Tunnelbrandstatistik der ASFINAG unterscheidet bei Bränden zwischen zwei Entwicklungsgeschwindigkeiten:

- Langsam nach Rauch
- Explosiv (in der Statistik als „Explosion“ bezeichnet)

Bei PKW (Tabelle 5-1) zeigt verlaufen Folgebrände nach Unfällen deutlich häufiger explosiv als dies bei Spontanbränden (Selbstentzündung) der Fall ist.

Bei LKW und Bussen Tabelle 5-2 verlaufen Selbstentzündungen häufiger explosiv (20 %) als bei PKW (8 % explosiv). Über die Entwicklungsgeschwindigkeit von Folgebränden von LKW und Bussen lässt sich keine statistisch unterlegte Aussage treffen, da es im Beobachtungszeitraum nur zu einem einzigen Ereignis kam. Dieses eine Ereignis ist insofern bemerkenswert, als es sich um eine Kollision zwischen einem LKW und einem PKW handelte, bei der der PKW explosiv Feuer fing, welches offenbar erst in weiterer

Folge auf den LKW überschlug. Es stellt sich daher die Frage, ob es sich in Bezug auf den LKW überhaupt um einen explosiven Brand gehandelt hat.

Tabelle 5-1 Entwicklungsgeschwindigkeit von PKW-Bränden, Ereignisse 2006-2012

Brandentwicklung	Anzahl			Anteil		
	Selbstentzündung	Folgebrand	Insgesamt ⁹	Selbstentzündung	Folgebrand	Insgesamt
Langsam nach Rauch	23	2	25	92 %	50 %	86 %
Explosiv	2	2	4	8 %	50 %	14 %
Insgesamt (bekannt)	25	4	29	100 %	100 %	100 %
Unbekannt	7	1	8	-	-	-
Insgesamt	32	5	37	-	-	-

Tabelle 5-2 Entwicklungsgeschwindigkeit von LKW/Bus-Bränden, Ereignisse 2006-2012

Brandentwicklung	Anzahl			Anteil		
	Selbstentzündung	Folgebrand	Insgesamt ⁹	Selbstentzündung	Folgebrand	Insgesamt
Langsam nach Rauch	16	0	16	80 %	0 %	76 %
Explosiv	4	1	5	20 %	100 %	24 %
Insgesamt (bekannt)	20	1	21	100 %	100 %	100 %
Unbekannt	8	0	8	-	-	-
Insgesamt	28	1	29	-	-	-

5.2 Maximale Brandintensität

Die folgende Auswertung folgt bei PKW einerseits und LKW und Bussen andererseits einem unterschiedlichen Differenzierungsgrad:

⁹ Nur Brände mit bekannter Brandart (Selbstentzündung bzw. Folgebrand)

- Bei PKW unterscheidet die Auswertung zwischen Vollbränden und Nicht-Vollbränden
- LKW und Busse erfordern eine differenziertere Betrachtung, da zwischen einerseits Bränden der Fahrerkabine und andererseits Bränden der Last bzw. des gesamten Fahrzeugs unterschieden werden muss. Dazu kommen Unterscheide bei den Brandeigenschaften der Last.

5.2.1 Maximale Brandintensität bei PKW

Die Tunnelbrandstatistik der ASFINAG enthält in den meisten Fällen keine expliziten Daten zur Brandintensität. Oft lässt sich die Intensität jedoch grob aus anderen Angaben herleiten, meistens aus dem Beschreibungstext des jeweiligen Ereignisses.

Um die Abschätzung der Brandintensität zu erleichtern, werden die Ereignisse in zwei Intensitätsstufen bzw. Brände mit unbekannter Intensität aufgeteilt:

- *Vollbrände:*
 - Als solche erfasste Vollbrände
 - Brände mit Tunnelschäden zur Folge
 - Brände die mithilfe eines Hydranten und/oder vom Tunnelpersonal bzw. der Feuerwehr gelöscht wurden
- *Keine Vollbrände:*
 - Brände die auf eine kleinere Fahrzeugkomponente beschränkt blieben (Reifen, Bremse etc.)
 - Brände, die mit einem Feuerlöscher gelöscht wurden
 - Brände ohne genauere Beschreibung der Brand- oder Löschart mit dem generellen Vermerk „Selbstlöschung“
- *Unbekannt:*
 - Brände ohne genauere Beschreibung der Brand- oder Löschart mit dem generellen Vermerk „Fremdlöschung“

Tabelle 5-3 Maximale Intensität von PKW-Bränden 2006-2012, absolut

Maximale Intensität	Selbstentzündung	Folgebrand	Insgesamt ¹⁰
Vollbrand	12	2	14
Kein Vollbrand	13	2	15
Unbekannt	7	1	8
Insgesamt	32	5	37

¹⁰ Nur Brände mit bekannter Brandart (Selbstentzündung bzw. Folgebrand)

Tabelle 5-3 bietet eine Übersicht über die potenziell lebensbedrohlichen sowie nicht lebensbedrohlichen PKW-Brände im Beobachtungszeitraum. Um die relative Verteilung der beiden Intensitätsstufen abzuschätzen, bieten sich zwei mögliche Interpretationen an:

- *Interpretation 1:* Ereignisse mit unbekannter Brandintensität folgen derselben Verteilung wie Ereignisse mit bekannter Brandintensität.
- *Interpretation 2:* Vollbrände wurden wegen ihrer Relevanz grundsätzlich korrekt als solche erfasst. Ereignisse mit unbekannter Brandintensität werden deshalb als Nicht-Vollbrände eingestuft.

Interpretation 1 zufolge handelt es sich in etwa bei der Hälfte der Brände um Vollbrände, während dies laut Interpretation 2 nur auf ein gutes Drittel der Brände zutrifft (Tabelle 5-4). Der zweite Wert deckt sich mit der Einschätzung der Teilnehmer der Arbeitsgruppe zur RVS 09.03.11 [1].

Tabelle 5-4 Verteilung der maximalen Intensität von PKW-Bränden, relativ

Maximale Intensität	Selbstentzündung		Folgebrand		Insgesamt	
	Interpr. 1	Interpr. 2	Interpr. 1	Interpr. 2	Interpr. 1	Interpr. 2
Vollbrand	48 %	37 %	50 %	40 %	48 %	38 %
Kein Vollbrand	52 %	63 %	50 %	60 %	52 %	62 %

5.2.2 Maximale Brandintensität bei LKW und Bussen

Wegen des besonderen Gefährdungspotentials von LKW- und Busbränden wurde jedes einzelne Brandereignis mit der ASFINAG durchbesprochen und um zusätzliche Informationen aus anderen ASFINAG-Datenbanken ergänzt [3]. Dadurch ist es möglich, die erfassten Brände in drei Intensitätsklassen bzw. in Brände unbekannter Intensität einzuteilen:

- *Vollbrände des gesamten Fahrzeuges:*
 - Als solche in der (ergänzten) Statistik ausgewiesen
- *Vollbrände der Fahrerkabine:*
 - Als solche in der (ergänzten) Statistik ausgewiesen
- *Keine Vollbrände:*
 - Brände die auf eine kleinere Fahrzeugkomponente beschränkt blieben (Reifen, Bremse etc.)
 - Brände, die mit einem Feuerlöscher gelöscht wurden

- Brände ohne genauere Beschreibung der Brand- oder Löschart mit dem generellen Vermerk „Selbstlöschung“
- *Unbekannt:*
 - Brände ohne genauere Beschreibung der Brand- oder Löschart mit dem generellen Vermerk „Fremdlöschung“

Tabelle 5-5 Maximale Intensität von LKW- und Busbränden 2006-2012, absolut

Maximale Intensität	Selbstentz.	Folgebrand	Insgesamt ¹⁰
Vollbrand des gesamten Fahrzeuges	3	0	3
Vollbrand der Fahrerkabine	11	1	12
Kein Vollbrand	11	0	11
Unbekannt	3	0	3
Insgesamt	28	1	29

Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6 beschreiben die absolute und relative Verteilung der verschiedenen Brandintensitäten. Da bei LKW nur 3 Brände (ca. 10 %) mit unbekannter Intensität festgehalten sind, unterscheiden sich die Ergebnisse hinsichtlich der beiden möglichen Interpretationen nur marginal. Generell liegt der Schluss nahe, wie bei PKW auch hier Interpretation 2 den Vorzug zu geben, d.h. Brände unbekannter Intensität als Nicht-Vollbrände zu betrachten. Damit wäre sowohl der Forderung nach Einheitlichkeit als auch der naheliegenden Vermutung, dass Vollbrände tendenziell genauer beschrieben werden als Nicht-Vollbrände, genüge getan.

Nach dieser Interpretation handelt es sich bei ca. 50 % aller LKW- und Busbrände um Vollbrände, von denen wiederum ca. 20 % das gesamte Fahrzeug betreffen. Die übrigen 80 % der Vollbrände betreffen nur die Fahrerkabine.

Tabelle 5-6 Verteilung der maximalen Intensität von LKW- und Busbränden, relativ

Maximale Intensität	Selbstentzündung		Folgebrand		Insgesamt	
	Interpr. 1	Interpr. 2	Interpr. 1	Interpr. 2	Interpr. 1	Interpr. 2
Vollbrand gesamtes FZ	12 %	11 %	0 %	0 %	10 %	10 %
Vollbrand Fahrerkabine	44 %	39 %	100 %	100 %	41 %	41 %
Kein Vollbrand	44 %	50 %	0 %	0 %	38 %	48 %

Eine weitere Frage betrifft die Zuordnung der Vollbrandereignisse zu den drei in TuRisMo vorgesehen repräsentativen Brandszenarien, d.h. 5 MW, 30 MW und 100 MW. Da Vollbrände am gesamten LKW oder Bus nur relativ selten vorkommen, erlaubt die Statistik hier keine weitere Differenzierung. Die Zuordnung von LKW-Bränden auf 5, 30 und 100 MW in Abbildung 5-1 basiert deshalb auf der Einschätzung von an der Arbeitsgruppe zur RVS 09.03.11 beteiligten Experten [3] [2] [6]:

- Brände der Fahrerkabine haben eine typische maximale Intensität von 10 bis 15 MW. Da die RVS 09.03.11 kein derartiges Brandszenario vorsieht, wurde im Sinne einer Näherung beschlossen, Brände der Fahrerkabine im Verhältnis 75:25 auf die Brandszenarien 5 MW und 30 MW zu aufzuteilen.
- Brände des gesamten Fahrzeuges werden im Verhältnis 90:10 auf die Brandszenarien 30 MW und 100 MW aufgeteilt.
- Im Fall von Busbränden wird immer von 30 MW ausgegangen (in der Figur nicht gesondert gezeigt). Wegen der hohen Personendichte am Brandort werden die Schadensausmaßswerte (also die Folgen des 30 MW-Ereignisses) jedoch mit einem Faktor 1,2 multipliziert.

Der Ereignisbaum in Abbildung 5-1 enthält des weiteren auch die Wahrscheinlichkeit, wonach ein brennendes Fahrzeug im Tunnel bzw. außerhalb des Tunnels zum Stillstand kommt. Wie in Abschnitt 4.5 besprochen, ist dieser Effekt bei LKW und Bussen spürbar, während er bei PKW vernachlässigbar ist.

Die unbedingten (totalen) Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Endereignisse sind im Ereignisbaum rechts vom jeweiligen Ereignis angegeben (kursiv).

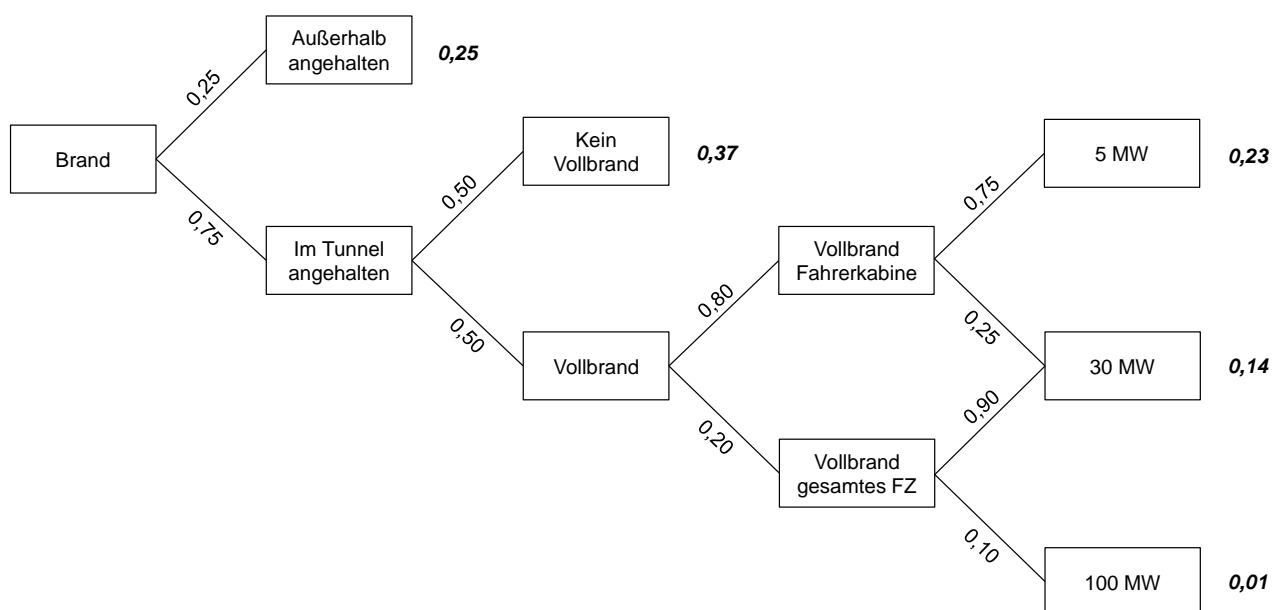


Abbildung 5-1 Maximale Intensität von LKW-Bränden 2006-2012, Ereignisbaum

5.3 Entstehungsgeschwindigkeit vs. maximale Intensität

Um ein besseres Verständnis der Brandentwicklung zu erlangen, ist der Zusammenhang zwischen Entwicklungsgeschwindigkeit und maximaler Intensität ebenfalls von Interesse. Da die Anzahl der Folgebrände mit bekannter Brandursache zu gering ist (3 bzw. 1 Ereignisse je nach Fahrzeugtyp), lässt sich dieser Zusammenhang nur bei Spontanbränden (Selbstentzündung) sinnvoll untersuchen. Eine gemeinsame Betrachtung beider Brandursachen erscheint dagegen als weniger sinnvoll, da sich Folgebrände auf Grund der hohen Beschleunigungen und Verformungen bei einem Unfall physikalisch zu stark von Spontanbränden unterscheiden.

Wie Tabelle 5-7 zeigt sind bei 25 von 32 spontanen PKW-Bränden sowohl Intensität als auch Entwicklungsgeschwindigkeit bekannt. Bei 23 von diesen 25 Ereignissen handelt es sich wiederum um sich langsam entwickelnde Brände. Damit engt sich die Aussagekraft der Statistik im Wesentlichen auf die Brandintensität bei langsamen Spontanbränden ein. Die konkrete Aussage, nämlich es sich bei langsamen Spontanbränden zu 1/3 um Vollbrände handelt, wiederholt im Grunde nur das Ergebnis aus Abschnitt 5.2.1 (Maximale Brandintensität bei PKW).

Tabelle 5-7 Maximale Brandintensität bei gegebener Brandgeschwindigkeit (Spontanbrände von PKW)

Maximale Intensität	Anzahl				Relativ, P(Intensität Geschw.)	
	Langs.	Explosiv	Unbek.	Insg.	Langsam	Explosiv
Vollbrand	7	1	4	12	30 %	50 %
Kein Vollbrand	16	1	3	20	70 %	50 %
Insgesamt	23	2	7	32	100 %	100 %

Bei 20 von 28 LKW- und Busbränden lassen sich Aussagen über die Kombination von Intensität und Entwicklungsgeschwindigkeit treffen. Wie bereits bei PKW-Bränden wiederholt das Ergebnis (Tabelle 5-8) im Wesentlichen die Aussagen aus Abschnitt 5.2.2 (Maximale Brandintensität bei LKW und Bussen). Zwar führen langsame Brandverläufe scheinbar zu einer Überhäufigkeit von Kabinenbränden auf Kosten der Häufigkeit von Bränden des gesamten Fahrzeugs (vgl. Tabelle 5-6), doch ist dieses Resultat angesichts der geringen Anzahl Ereignisse mit Vorsicht zu betrachten. Umgekehrt scheinen explosionsartige Brandverläufe – unter demselben Vorbehalt – auf eine Überhäufigkeit von Bränden am gesamten Fahrzeug zu deuten.

Tabelle 5-8 Maximale Brandintensität bei gegebener Brandgeschwindigkeit (Spontanbrände von LKW und Bussen)

Maximale Intensität	Anzahl				Relativ, P(Intensität Geschw.)	
	Langs.	Explosiv	Unbek.	Insg.	Langsam	Explosiv
Vollbrand gesamtes FZ	1	1	1	3	6 %	25 %
Vollbrand Fahrerkabine	6	1	4	11	38 %	25 %
Kein Vollbrand ¹¹	9	2	3	14	56 %	50 %
Insgesamt	16	4	8	28	100 %	100 %

5.4 Feuerwehr-Anfahrtsdauer vs. maximale Intensität bei LKW und Bussen

Die genauen Umstände eines Feuerwehreinsatzes lassen sich kaum in Zahlen fassen. Einer der wenigen leicht messbaren und zugleich entscheidenden Parameter ist die Anfahrtsdauer, welche in der RVS 09.03.11 als die Zeitspanne zwischen der Branderkennung (in etwa gleich dem Alarmierungszeitpunkt) und dem Eintreffen des ersten Einsatzfahrzeuges am Unfallort verstanden wird.

Dieser Abschnitt untersucht den Effekt der Anfahrtsdauer auf die maximale Brandintensität bei Selbstentzündungen von Bussen und LKW.

Tabelle 5-9 Feuerwehr-Anfahrtsdauer bei Selbstentzündungen von LKW und Bussen

Maximale Intensität	Anzahl	Mittelwert [min]	Standardabw. [min]
Vollbrand der Fahrerkabine	9	13,9	6,6
Vollbrand des gesamtes Fahrzeuges	2	17,0	4,0
Vollbrände insgesamt	11	14,5	6,3

Tabelle 5-9 zeigt die durchschnittliche registrierte Anfahrtsdauer der Feuerwehr bei LKW und Busbränden. Offensichtlich war die Brandintensität umso größer, je später die Feuerwehr eintraf: Bei Vollbränden am gesamten Fahrzeug war die Anfahrtsdauer um 22 % länger als bei Vollbränden, die nur die Fahrerkabine betrafen. Dabei ist allerdings zu be-

¹¹ Unbekannte Intensität wird als „kein Vollbrand“ gewertet, vgl. Diskussion in Abschnitt 5.2 (Interpretation 2).

achten, dass die statistische Population bei den Vollbränden am gesamten Fahrzeug äußerst gering ist ($n = 2$). Dennoch deutet alles darauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit eines Vollbrandes des gesamten Fahrzeuges aktiv verringern lässt, indem man für eine kürzere Feuerwehr-Anfahrtsdauer sorgt. Umgekehrt führt eine längere Anfahrtsdauer zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit eines umfassenden Vollbrandes.

Eine frühere Untersuchung hat gezeigt, dass die durchschnittliche Anfahrtsdauer der Feuerwehr zu Bränden in österreichischen Straßentunneln circa 15 Minuten beträgt [7]. Dieses Ergebnis stimmt sehr gut mit der Anfahrtsdauer zu Vollbränden aus Tabelle 5-9 (14,5 Minuten) überein. Das bestätigt, dass die 11 ausgewerteten Vollbrände keine untypischen Ereignisse sind, was die Verfügbarkeit der Feuerwehr anbelangt.

6 BRANDERKENNUNG

Tabelle 6-1 enthält die absolute Häufigkeit der verschiedenen Branderkennungsarten bei PKW-Bränden. Da viele Brände auf mehr als eine Art erkannt und gemeldet wurden, liegt die Summe der Meldungen deutlich über der Anzahl Brände.

Beim relativen Vorkommen der verschiedenen Erkennungsarten dominieren automatische Meldungen (bei ca. 40 % aller Brände), gefolgt von Meldungen via fest installierten Notruftelefonen bzw. Meldungen durch das Betriebspersonal (jeweils ca. 30 %). Betrachtet man Selbstentzündungen separat, ergibt sich dasselbe Bild. Im Fall von Folgebränden ist die statistische Population zu gering für belastbare Aussagen. Die Tendenz ist jedoch dieselbe wie bei Selbstentzündungen.

Tabelle 6-1 Erkennung von PKW-Bränden 2006-2012, absolut

Branderkennung	Selbstentzündung	Folgebrand	Unbekannt	Insgesamt
Betriebspersonal	9	2		11
Autom. Erkennung	13	2	1	16
Einsatzdienste	4	2		6
Handgefahrenmelder	4			4
Notruftelefon	10	2	1	13
Mobiltelefon	1			1
Sonstige Meldung	4			4
Meldungen insg.	45	8	2	55
<i>Brände insg.</i>	32	5	1	38

Tabelle 6-2 Erkennung von PKW-Bränden 2006-2012, relativ zur Anzahl gemeldeter Brände

Branderkennung	Selbstentzündung	Folgebrand	Unbekannt	Insgesamt
Betriebspersonal	28 %	40 %		29 %
Autom. Erkennung	41 %	40 %	100 %	42 %
Einsatzdienste	13 %	40 %		16 %
Handgefahrenmelder	13 %			11 %
Notruftelefon	31 %	40 %	100 %	34 %
Mobiltelefon	3 %			3 %
Sonstige Meldung	13 %			11 %

Im Fall von LKW und Bussen (Tabelle 6-3 und Tabelle 6-4) weicht die Verteilung teilweise von den bei PKW beobachteten Verhältnissen ab. Während automatische Meldungen ebenfalls bei gut 40 % aller Brände auftreten, liegt der Anteil Brände mit Meldungen via Notruftelefon oder durch das Betriebspersonal bei LKW und Bussen deutlich niedriger (ca. 20 %).

Tabelle 6-3 Erkennung von LKW- und Busbränden 2006-2012

Branderkennung	Selbstentzündung	Folgebrand	Unbekannt	Insgesamt
Betriebspersonal	5	1		6
Autom. Erkennung	11	1		12
Einsatzdienste	5			5
Handgefahrenmelder	1			1
Notruftelefon	4		1	5
Mobiltelefon	3			3
Sonstige Meldung	6			6
Meldungen insg.	35	2	1	38
<i>Brände insg.</i>	<i>28</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>30</i>

Tabelle 6-4 Erkennung von LKW- und Busbränden 2006-2012, relativ zur Anzahl gemeldeter Brände

Branderkennung	Selbstentzündung	Folgebrand	Unbekannt	Insgesamt
Betriebspersonal	18 %	100 %		20 %
Autom. Erkennung	39 %	100 %		40 %
Einsatzdienste	18 %			17 %
Handgefahrenmelder	4 %			3 %
Notruftelefon	14 %		100 %	17 %
Mobiltelefon	11 %			10 %
Sonstige Meldung	21 %			20 %

7 LÖSCHUNGSART

Tabelle 7-1 und Tabelle 7-2 geben einen Überblick über die Häufigkeit der beiden grundlegenden Lösungsarten, Selbstlöschung und Fremdlöschung. Im Fall von Selbstentzündungen liegt die Selbstlöschungsrate von PKW (31 %) unter der von LKW und Bussen (ca. 36 %). Bei der Interpretation dieser Zahlen ist zu beachten, dass bei LKW- und Busbränden die Bagatellereignisse bereits herausgefiltert wurden (vgl. Abschnitt 3.1.2). Nähme man dieselbe Bereinigung bei PKW vor, läge die Selbstlöschungsrate vermutlich noch niedriger. Ein Grund für den Unterschied zwischen PKW einerseits und LKW und Bussen andererseits könnte beim Anteil der mit einem Feuerlöscher ausgerüsteten Fahrzeuge zu suchen sein.

Im Fall von Folgebränden lässt sich aufgrund der geringen Anzahl Ereignisse nur bei PKW eine Aussage treffen. Hier liegt die Selbstlöschungsrate bei nur 20 %. Die im Vergleich zu Selbstentzündungen geringere Selbstlöschungsrate überrascht nicht, kommt es doch bei Unfällen – zumindest bei PKW – häufiger zu sich schneller entwickelnden Bränden (vgl. Abschnitt 5.1). Darüber hinaus werden die Passagiere des brennenden PKW bei Unfällen zum Teil verletzt oder sogar eingeklemmt, was die Wahrscheinlichkeit einer Selbstlöschung zusätzlich herabsetzt.

Tabelle 7-1 Beitrag der verschiedenen Lösungsarten bei PKW-Bränden

Lösungsart	Anzahl				Anteil		
	Selbst-entzündg.	Folge-brand	Unbek.	Insg.	Selbst-entzündg.	Folge-brand	Insg.
Selbstlöschung	10	1		11	31 %	20 %	29 %
Fremdlöschung	22	4	1	27	69 %	80 %	71 %
Insgesamt	32	5	1	38	100 %	100 %	100 %

Tabelle 7-2 Beitrag der verschiedenen Lösungsarten bei LKW- und Busbränden

Löschungsarten	Anzahl				Anteil		
	Selbst-entzündung	Folge-brand	Unbek.	Insg.	Selbst-entzündg.	Folge-brand	Insg.
Selbstlöschung	10			10	36 %	0 %	33 %
Fremdlöschung	18	1	1	20	64 %	100 %	67 %
Insgesamt	28	1	1	30	100 %	100 %	100 %

8 UMSETZUNG DER ERGEBNISSE IN DER RVS 09.03.11 (TURISMO)

Ein Teil der Ergebnisse dieses Berichts dient dazu, die in der RVS 09.03.11 benützten Parameter zu aktualisieren. Die Ergebnisse wurden bei der 19. [1] bzw. 20. Arbeitsgruppensitzung [2] besprochen und – in der im Folgenden beschriebenen Weise – in die nächste RVS-Version integriert.

8.1 Ereignisbaum Spalte E (Folgebrand)

Betrifft Abschnitt 8.2.5 der RVS 09.03.11.

Gegenüber der bisher gültigen Version der RVS sinkt die Wahrscheinlichkeit eines Brandes im Zusammenhang mit einer Panne um mehr als 90 %, während sie bei LKW um 16 % sinkt (Tabelle 8-1).

Tabelle 8-1 Wahrscheinlichkeit eines Brandes in Zusammenhang mit einer Panne

Fahrzeugtyp	Alt	Neu
PKW	0,0119	0,0015
LKW bzw. Busse		0,0100 ¹²

Bei der Wahrscheinlichkeit eines Folgebrands nach einem Unfall mit Personenschaden hängt die Änderung vom Unfalltyp ab (Tabelle 8-2): Während sie sich bei Alleinunfällen

¹² Der errechnete Wert von 0,0099 (vgl. Tabelle 4-6) wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit und Benutzerfreundlichkeit geringfügig auf 0,0100 angehoben.

und Unfällen mit dem Gegenverkehr halbiert, wird sie bei Unfällen in Fahrtrichtung leicht nach oben hin angepasst.

Tabelle 8-2 Folgebrände nach Unfällen mit Personenschaden

Unfalltyp	Alt	Neu
Alleinunfall	0,023	0,012
Unfall in Fahrtrichtung	0,005	0,006
Unfall mit Gegenverkehr	0,049	0,020

8.2 Ereignisbaum Spalte G (Personengefährdung bei Brand infolge Panne)

Betrifft Abschnitt 8.2.7 der RVS 09.03.11.

Die Wahrscheinlichkeit einer personengefährdenden Brandentwicklung bei Brand infolge Panne wird mit der in Abschnitt 5.2 ermittelten Wahrscheinlichkeit eines Vollbrandes gleichgesetzt. Der neue Wert liegt beinahe eine Größenordnung über dem bisherigen (Tabelle 8-3).

Im Gegensatz zu bisher wurden die neuen Werte getrennt für PKW und LKW bzw. Busse bestimmt. Die übereinstimmenden Ergebnisse sind deshalb zufällig.

Tabelle 8-3 Wahrscheinlichkeit einer personengefährdenden Brandentwicklung bei Brand infolge Panne

Fahrzeugtyp	Alt	Neu
PKW	0,05	0,38 ¹³
LKW bzw. Busse		0,38 ¹⁴

8.3 Ereignisbaum Spalte H (Brandgröße)

Betrifft Abschnitt 8.2.8 der RVS 09.03.11.

¹³ Dieser Wert wird in Tabelle 5-4 als 0,37 angegeben, da der errechnete Wert 0,375 dort abgerundet wurde, um eine Spaltensumme von genau 100 % zu erhalten. Wo diese Rücksichtnahme nicht erforderlich ist, ist eine Rundung auf 0,38 korrekter.

¹⁴ Dieser Wert errechnet sich als $P(\text{Fahrzeug hält im Tunnel an}) \times P(\text{Vollbrand}) = 0,75 \times 0,5 = 0,375$, vgl. Abbildung 5-1.

Bei personengefährdenden LKW-Bränden nach Pannen (Selbstentzündung) wird das Ergebnis aus Abschnitt 5.2.2 direkt übernommen (siehe speziell Abbildung 5-1). Die Bezeichnungen unterscheiden sich dabei etwas:

- Vollbrand der Fahrerkabine → Brand Fahrerkabine
- Vollbrand des gesamten Fahrzeuges → Vollbrand Fahrzeug

Tabelle 8-4 Brandgröße von LKW-Bränden nach Pannen

Brandgröße	Wahrscheinlichkeit
Brand Fahrzeugkabine	0,8
Vollbrand Fahrzeug	0,2

Die Werte basieren auf einer durchschnittlichen Feuerwehr-Anfahrtsdauer von 15 Minuten. Die statistische Auswertung in Abschnitt 5.4 zeigt sowohl, dass dieser Wert positiv mit der Brandgröße korreliert. Offenbar erhöht eine längere Anfahrtsdauer die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Brand der Fahrzeugkabine zu einem Vollbrand des gesamten Fahrzeugs entwickelt.

Die Arbeitsgruppe zur RVS 09.03.11 trägt diesem Umstand Rechnung, indem sie Wahrscheinlichkeit eines Vollbrandes des gesamten Fahrzeuges folgendermaßen variiert [2] [6]:

Tabelle 8-5 Modifikation der Wahrscheinlichkeit eines Vollbrandes des gesamten Fahrzeuges in Abhängigkeit von den Voraussetzungen für einen Feuerwehreinsatz

Voraussetzungen für Feuerwehreinsatz	Wahrscheinlichkeit Vollbrand
Günstige Voraussetzungen (Anfahrtsdauer < 5 Minuten)	0,1
Durchschnittliche Voraussetzungen (Anfahrtsdauer 15 Minuten)	0,2
Ungünstige Voraussetzungen (Anfahrtsdauer > 25 Minuten)	0,9

Bei einer Anfahrtsdauer zwischen 5 und 15 Minuten bzw. zwischen 15 und 25 Minuten wird linear interpoliert.

8.4 Ereignisbaum Spalte I (Schadensszenario)

Betrifft Abschnitt 8.2.8 der RVS 09.03.11.

Die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Schadensszenarien in Spalte I sind nicht statistisch hergeleitet, sondern basieren auf der Expertenmeinung der Mitglieder der Arbeitsgruppe zur RVS 09.03.11.

Einzelne Werte in der Tabelle werden im den vorangegangenen Kapiteln des vorliegenden Berichts besprochen.

Tabelle 8-6 Brandgrößen bzw. Schadensausmaßwerte für Gefahrgutunfälle und relative Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit vom Ereignis

Brandszenario	Brandgröße bzw. Schadensausmaßwerte	Wahrscheinlichkeit	Im vorliegenden Bericht behandelt?
PKW-Brand (alle Szenarien)	5 MW	1,0	<i>nein</i>
LKW-Brand (Folgeunfall)	30 MW	0,9	<i>nein</i>
	100 MW	0,1	<i>nein</i>
LKW-Brand (nach Panne) Brand Fahreerkabine	5 MW	0,75	<i>Abschnitt 5.2.2</i>
	30 MW	0,25	<i>Abschnitt 5.2.2</i>
LKW-Brand (nach Panne) Vollbrand	30 MW	0,9	<i>Abschnitt 5.2.2</i>
	100 MW	0,1	<i>Abschnitt 5.2.2</i>
Bus-Brand (alle Szenarien)	1,2 × Schadensausmaßwerte 30 MW	1,0	<i>Abschnitt 5.2.2</i>
LKW-Brand mit Gefahrgut alle Szenarien	Schadensausmaßwerte 100 MW + 10 Todesopfer	1,0	<i>nein</i>
LKW-Unfall mit Gefahrgutaustritt	5 Todesopfer	1,0	<i>nein</i>

9 REFERENZEN

- [1] Arbeitsgruppe RVS 09.03.11, „19. Arbeitsgruppensitzung,“ Linz, 05.07.2013.
- [2] Arbeitsgruppe RVS 09.03.11, „20. Arbeitsgruppensitzung,“ Linz, 23.08.2013.
- [3] Arbeitsgruppe RVS 09.03.11, „21. Arbeitsgruppensitzung,“ Linz, 09.10.2013.
- [4] ASFINAG, „Onlinebesprechung mit Günter Rattei,“ 25.07.2013.
- [5] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße / Schiene / Verkehr, „Tunnel-Risikoanalysemodell, RVS 09.03.11,“ 1. Juni 2008.
- [6] ILF, „Auswertung Unfallstatistik: Zeitraum 2006-2009,“ 2011.
- [7] Arbeitsgruppe RVS 09.03.11, „7. Arbeitsgruppensitzung,“ Innsbruck, 30.11.2010.