

Effiziente Maßnahmen für die Tunnelsicherheit in Österreich

Master's Thesis zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Business Administration (MBA)

an der Universität für Weiterbildung (Donau-Universität Krems)

und der Technischen Universität Wien, Continuing Education Center

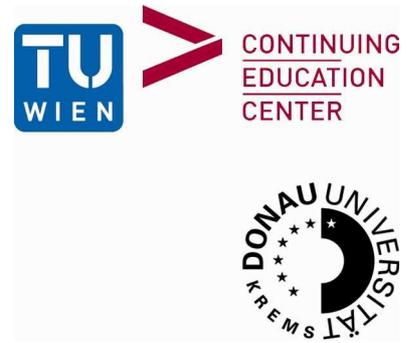
eingereicht von

Dipl.-Ing. Mariella ZAPLETAL

Betreuer:

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg JODL

Wien, 20.09.2010



Eidesstattliche Erklärung

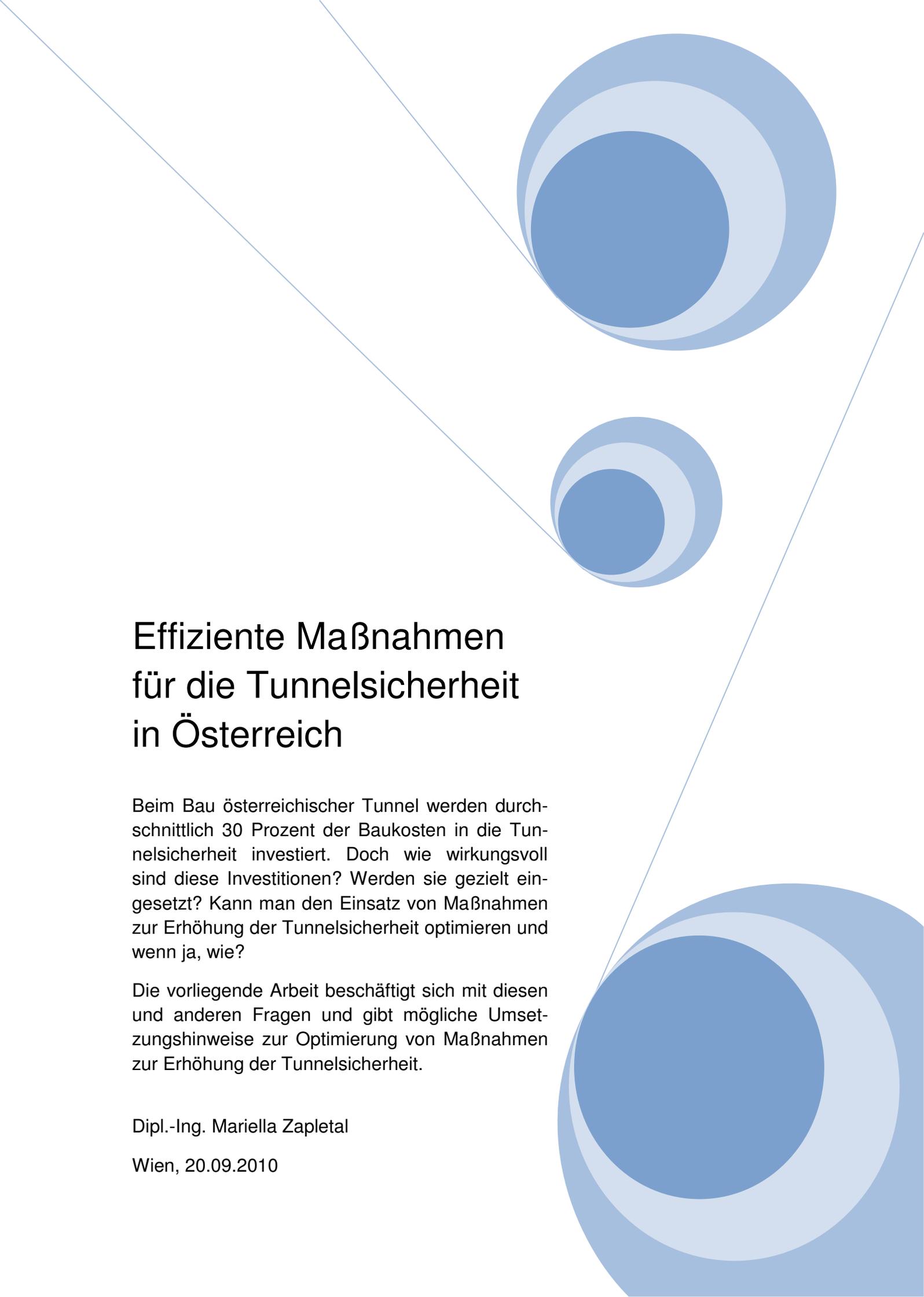
Ich, Dipl.-Ing. Mariella ZAPLETAL,
geboren am 10.12.1980 in Wien

erkläre hiermit,

1. dass ich meine Master's Thesis selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe,
2. dass ich meine Master's Thesis bisher weder im In- noch im Ausland in irgend einer Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
3. dass ich, falls die Arbeit mein Unternehmen betrifft, meine/n ArbeitgeberIn über Titel, Form und Inhalt der Master's Thesis unterrichtet und sein Einverständnis eingeholt habe.

Wien, 20.09.2010

Unterschrift der Autorin

The page features a decorative graphic on the right side consisting of three overlapping circles in shades of blue, arranged vertically. Two thin blue lines cross the page diagonally, one from the top-left to the bottom-right, and another from the top-right to the bottom-left, intersecting near the circles.

Effiziente Maßnahmen für die Tunnelsicherheit in Österreich

Beim Bau österreichischer Tunnel werden durchschnittlich 30 Prozent der Baukosten in die Tunnelsicherheit investiert. Doch wie wirkungsvoll sind diese Investitionen? Werden sie gezielt eingesetzt? Kann man den Einsatz von Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit optimieren und wenn ja, wie?

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit diesen und anderen Fragen und gibt mögliche Umsetzungshinweise zur Optimierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit.

Dipl.-Ing. Mariella Zapletal

Wien, 20.09.2010

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen herzlich bedanken, die zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Den Mitarbeitern der Firma ILF LINZ ZT GMBH, im Besonderen Herrn DIPL.-ING. BERNHARD KOHL und Frau DIPL.-ING. KATHARINA HOYER, danke ich für die Idee dieser Arbeit und die Bereitschaft, eine Zusammenarbeit zu diesem Thema zu ermöglichen. Außerdem danke ich ihnen für die zur Verfügung gestellten Daten, Informationen und Kontakte sowie für die besonders freundliche Zusammenarbeit.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer O.UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. HANS-GEORG JODL, Leiter des INSTITUTS FÜR INTERDISZIPLINÄRES BAUPROZESSMANAGEMENT an der TU WIEN, der mich in fachlichen Fragen und auch durch allgemeine Tipps immer sehr kompetent, freundlich und rasch unterstützt hat.

Herrn ING. GÜNTER RATTEI von der AUTOBAHNEN- UND SCHNELLSTRASSEN FINANZIERUNGS-AG danke ich für die großzügige und stetige Bereitstellung sämtlicher Daten sowie die äußerst freundliche Unterstützung durch zahlreiche Informationen.

Bei meinem Arbeitskollegen DIPL.-ING. WALTER SKALA möchte ich mich für die zur Verfügung gestellten Unterlagen bedanken.

Großer Dank gebührt meinem derzeitigen Arbeitgeber, den Geschäftsführern der FRITSCH, CHIARI UND PARTNER ZT GMBH, die meine berufsbegleitende MBA-Ausbildung durch ihr großes Verständnis maßgeblich unterstützt haben.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung.....	1
2. Zielformulierung.....	5
3. Aufbau der Arbeit.....	6
4. Grundlagen.....	7
4.1. Tunnel in Österreich.....	7
4.2. Tunnelsicherheit in Österreich.....	9
4.3. Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit.....	11
5. Investitionen in die Tunnelsicherheit.....	15
5.1. Exkurs – Wie viel ist ein Mensch wert?.....	17
5.2. Kosten-Nutzen-Abwägungen.....	21
5.2.1 Beispiel Ganzsteintunnel.....	21
5.2.2 Beispiel Geißwandtunnel.....	22
5.2.3 Beispiel Tanzenbergtunnel.....	23
5.3. Zusammenfassende Anmerkungen.....	25
6. Analyse der Richtlinien zur Gefährdungsklassifizierung.....	26
6.1. Verfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS 09.02.22 vom 4. Juli 2002.....	26
6.1.1 Ermittlung der Gefährdungsklasse mittels Gefährdungspotential G.....	26
6.1.2 Auswahl der BuS.....	29
6.1.3 Überprüfung auf Plausibilität.....	31
6.2. Verfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS 09.02.22 (Begutachtungsentwurf) vom 8. April 2010.....	38

6.2.1	Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS 09.02.31 „Belüftung“:.....	41
6.2.2	Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS 09.03.11 „Tunnel-Risikoanalysemodell“	51
6.3.	Zusammenfassende Anmerkungen.....	55
7.	Auswertung der Unfall-Datenbank.....	60
7.1.	Unfälle, Verletzte und Tote	60
7.2.	Schadensfolgen.....	62
7.2.1	Sach- und Personenschäden	62
7.2.2	Brand.....	63
7.3.	Unfälle und deren Auswirkungen bezogen auf die Tunnellänge	64
7.4.	Unfalltypen und deren Tunnelbereiche.....	66
7.4.1	... bezogen auf alle Unfälle	66
7.4.2	... bezogen auf Unfälle mit Personenschaden	69
7.5.	Die gefährlichsten Tunnel.....	72
7.5.1	... bezogen auf alle Unfälle	72
7.5.2	... bezogen auf Unfälle mit Personenschaden	75
7.5.3	... bezogen auf die Unfälle mit Todesfolge.....	78
7.5.4	... bezogen auf alle drei Kriterien	79
7.6.	Zusammenfassende Anmerkungen.....	80
8.	Vergleich der Berechnungsergebnisse laut RVS mit der Realität.....	81
9.	Ergebnisse.....	83
10.	Vorschläge zur Umsetzung.....	87
11.	Zusammenfassung	91
12.	Literaturverzeichnis	95
13.	Quellenverzeichnis	97

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz; Quelle: ASFinAG, Stand: 02/2010.....	1
Abb. 2: Verkehrsunfälle, Verletzte und Getötete der letzten 10 Jahre (2000-2009); Quelle: Statistik Austria, Stand: 23.03.2010.....	2
Abb. 3: Tunnelzuwachs in Österreich von 1965 bis 2010; Datenquelle: ASFinAG, Stand: Juli 2010	3
Abb. 4: Handlungskette vom Eintreten eines Ereignisses im Tunnel bis zu seiner Behebung.....	12
Abb. 5: Kosten der nachträglich eingebauten Sicherheitseinrichtungen beim Tanzenbergtunnel [€/lfm], Quelle: ASFinAG, Stand: Juli 2010.....	24
Abb. 6 (links): <i>Linearer Zusammenhang zwischen der lichten Tunnelhöhe H und der Querschnitts-komponente R_Q.</i>	32
Abb. 7 (rechts): <i>Linearer Zusammenhang zwischen der Rauchabsaugmenge V und der Absaugkomponente bei Querlüftung R_{AV}.</i>	32
Abb. 8: <i>Zusammenhang zwischen dem Abstand der Rauchabsaugungen a und der Absaugkomponente R_{AP} bei Längslüftung.</i>	33
Abb. 9 (links): <i>Linearer Zusammenhang zwischen der Fluchtweglänge F und der Fluchtwegkomponente W_F.</i>	35
Abb. 10 (rechts): <i>Linearer Zusammenhang zwischen der Weglänge für Einsatzfahrzeuge im Tunnel L und der Einsatzwegkomponente W_E.</i>	35
Abb. 11: Verlauf des Korrekturfaktors $f_{VK,RV}$ in Abhängigkeit der Verkehrsleistung JDTV [Kfz/24h].....	44
Abb. 12: Verlauf des Korrekturfaktors $f_{VK,GV}$ in Abhängigkeit der Verkehrsleistung JDTV [Kfz/24h].....	45

Abb. 13: Verlauf des Korrekturfaktors $f_{TL(RV)}$ in Abhängigkeit der Tunnellänge L_{TU} [km]	46
Abb. 14: Erfasste Tunnel-Unfalldaten seit August 2006; Quelle: ASFinAG, Stand: 1. August 2010	60
Abb. 15: Schadensfolgen der von Jänner 2006 bis Juli 2010 erfassten 1.735 Tunnel- Unfälle in Österreich; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010.....	62
Abb. 16: Tunnel gereiht nach entstandenen Unfällen mit Brandentwicklung mit/ohne Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	63
Abb. 17: Schadensfolgen der von Jänner 06 bis Juli 10 erfassten Tunnel-Unfälle, bezogen auf die Tunnellänge (kleiner bzw. größergleich 500m); Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	64
Abb. 18: Schadensfolgen der erfassten Unfälle in Tunneln < 500 Meter mit Schwerpunkt auf jene mit Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	65
Abb. 19: Schadensfolgen der erfassten Unfälle in Tunneln \geq 500 Meter mit Schwerpunkt auf jene mit Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	65
Abb. 20: Unfalltypen aller 1.735 erfassten Unfälle; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10	66
Abb. 21: Unfalltypen aller 1.735 erfassten Unfälle; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10	67
Abb. 22: Unfalltypen aller 1.735 erfassten Unfälle; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10	67
Abb. 23: Unfalltypen der 378 erfassten Unfälle mit Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10	69
Abb. 24: Unfalltypen der 41 erfassten Unfälle mit Personenschaden in Tunneln < 500m; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10	70
Abb. 25: Todesfälle nach Unfalltypen in Tunneln mit einer Länge kleiner als 500 Meter; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10	70

Abb. 26: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Unfälle seit Jänner 2006 im Vergleich, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	73
Abb. 27: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Unfälle je 1.000 Kfz-km, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	74
Abb. 28: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf Unfälle mit Personenschaden seit Jänner 2006 im Vergleich, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	76
Abb. 29: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Unfälle mit Personenschäden je 1.000 Kfz-km, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	77
Abb. 30: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Todesfälle seit Jänner 2006, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010	78
Abb. 31: Die 25 gefährlichsten Tunnel gewertet nach Unfällen, UPS und Unfällen mit Todesfolge, wobei UPS mit dem Faktor 2 und Unfälle mit Toten mit dem Faktor 3 eingehen	79
Abb. 32: Vergleich des berechneten Risikoerwartungswerts mit dem berechneten Risikowert von jeweils zwölf Tunneln für 2025; Datenquelle: ASFinAG und ILF ZT GmbH, Stand: 01.08.10	81
Abb. 33: Optimaler Ablauf zur gezielten und effizienten Verbesserung der Tunnelsicherheit.....	87

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Bestimmung der Gefährdungsklasse in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials; Quelle: RVS 09.02.22 [8], S. 2, Kap. 4	28
Tab. 2: Auszug aus Tabelle 2 „BuS in Abhängigkeit der Gefährdungsklassen“ der RVS 09.02.22 [8]	30
Tab. 3: Gefährdungsklassen und mindest erforderliche Sicherheitskoeffizienten gem. RVS 09.02.22 [8], S. 7, Kap. 8	37
Tab. 4: Auszug aus Tabelle 1 „BuS in Abhängigkeit der Gefährdungsklassen“ der RVS 09.02.22 [9]; in rot: Änderungen zu Tab. 2 der RVS 09.02.22 [8].	40
Tab. 5: Schadensausmaßäquivalent für Richtungsverkehrstunnel, Quelle: RVS 09.02.31 [10], S. 26, Kap. 9.2, Tab. 3	48
Tab. 6: Schadensausmaßäquivalent für Gegenverkehrstunnel bei geringer Stauhäufigkeit, Quelle: RVS 09.02.31 [10], S. 27, Kap. 9.2, Tab. 4	49
Tab. 7: Schadensausmaßäquivalent für Gegenverkehrstunnel bei mittlerer Stauhäufigkeit, Quelle: RVS 09.02.31 [10], S. 27, Kap. 9.2, Tab. 5	49
Tab. 8: Gefährdungsklassen nach Risikoäquivalentwert R gem. RVS 09.02.31 [10]	50
Tab. 9: Risikoerwartungswerte R und Gefährdungsklassen GK österreichischer Tunnel nach der vereinfachten Methode der Risikobewertung gemäß RVS 09.02.31 [10], Quelle: ASFinAG	58
Tab. 10: Risikoerwartungswerte R und Gefährdungsklassen GK österreichischer Tunnel nach der Methode des Tunnel-Risikomodells gemäß RVS 09.03.11 [11], Quelle: ILF ZT GmbH	59

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Abstand der Rauchabsaugungen bei Längslüftung
ASFinAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
ASN	Abstellnische (wird auch mit PB Pannenbucht benannt)
AS-Tunnel	Autobahn- und Schnellstraßentunnel
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BuS	Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen
BS	Betriebsstation
BZ	Betriebszentrale
CO	Kohlenmonoxid
EA	für Einsatzfahrzeuge befahrbarer Ausgang ins Freie
EN	Elektronische
EQ	mit Einsatzfahrzeugen befahrbarer Querschlag
EVU	Energieversorgungsunternehmen
F	Fluchtweglänge in km
FLN	Feuerlöschnische
f_{VK}	Korrekturfaktor Verkehrsleistung
f_{TL}	Korrekturfaktor Tunnellänge
f_{VF}	Korrekturfaktor Verflechtungsstrecke
FA	befahrbarer Ausgang ins Freie
FQ	befahrbarer Querschlag
g_R	Verkehrsrichtung
g_K	zusätzliche Konfliktpunkte
g_G	Häufigkeit von Gefahrguttransporten
G	Gefährdungspotential
GA	begehbarer Ausgang ins Freie
GK	Gefährdungsklasse
GQ	begehbarer Querschlag
H	größte lichte Tunnelhöhe

H.....	Häufigkeitsäquivalent
JDTV	jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
L	Weglänge für Einsatzfahrzeuge innerhalb des Tunnelraumes in km
L _{TU}	Tunnellänge + Portalbereich [km]
L _V	Verflechtungsstrecke im Tunnel- oder Portalbereich [km]
LKW	Lastkraftwagen
MSV	mittlere stündliche Verkehrsstärke
NA	Notausgang
NO _x	Stickoxide
NRN	Notrufrnische
NRS.....	Notrufstation
PKW	Personenkraftwagen
R.....	Risikoäquivalent bzw. Risikoerwartungswert
R _A	Absaugkomponente (R _{AP} bei Längslüftung, R _{AV} bei Querlüftung)
R _Q	Querschnittskomponente
RVS.....	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
S	Sicherheitskoeffizient
S	Schadensausmaßäquivalent
S _B	Betriebskomponente
S _R	Rauchabzugskomponente
S _W	Weglängenkomponekte
SSV	Sicherheitsstromversorgung
STSG	Straßensicherheitsgesetz
U _R	spezifische Unfallrate [UPS/1 Mio. Kfz-km]
UPS.....	Unfall mit Personenschaden
ÜS	Überwachungsstelle
ÜZ	Überwachungszentrale
V.....	Rauchabsaugmenge in m ³ /s im ungünstigsten Tunnelabschnitt bei Halbquer- und Querlüftung
W _E	Einsatzwegkomponente
W _F	Fluchtwegkomponente
WSL	Wert eines statistischen Lebens

KURZZUSAMMENFASSUNG

Derzeit werden in Österreich 2.178 Autobahn- und Schnellstraßen-Kilometer von der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFinAG) betrieben. Auf diesen Strecken gibt es derzeit 145 fertig gestellte Straßentunnel.

In einem Tunnel sind die Auswirkungen eines Zwischenfalls aufgrund der vorgegebenen Wege zur Selbstrettung bzw. der nur eingeschränkt möglichen Zugangswege für Hilfs- und Rettungskräfte wesentlich gravierender als auf freier Strecke. Erschwerend kommt hinzu, dass sich im Brandfall auf diesen Flucht- und Zugangswegen Rauch und hohe Temperaturen ausbreiten können und dadurch lebensgefährliche Umstände entstehen. Selbst ein kleiner Zwischenfall in einem Tunnel kann daher katastrophale Auswirkungen haben.

Nach einigen folgenschweren Unfällen in österreichischen, aber auch in ausländischen Tunneln, ist die Sensibilität der Bevölkerung bezüglich der Sicherheit in Tunneln in den letzten Jahren gestiegen. Dies hat möglicherweise auch dazu beigetragen, dass Investitionen in die Tunnelsicherheit oft nicht in Frage gestellt werden und daher auch kaum argumentiert werden (müssen). Die Folgen sind – zumindest laut Medienmeldungen – im Allgemeinen sichere österreichische Tunnel, aber auch, einer Untersuchung des Rechnungshofs¹ zufolge, sehr hohe (zu hohe?) Investitionskosten. Aber werden diese auch effizient eingesetzt?

Die Anzahl der Tunnel im österreichischen und Autobahnen- und Schnellstraßen-Verkehrsnetz ist in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Aufgrund der steigenden Verkehrszahlen, den gesetzlichen Anforderungen und dem allgemeinen Bestreben, die Infrastruktur kontinuierlich zu verbessern, werden weitere neue Tunnel gebaut und bestehende Tunnel saniert und nachgerüstet. Sowohl die Tunnelsicherheit, als auch deren Investitionen werden künftig an Bedeutung gewinnen. Damit

¹ [12] Rechnungshof; Investitionen in die Tunnelsicherheit. Eigenverlag, Wien, Februar 2010

steigt auch der Bedarf an effizienten Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in österreichischen Tunneln.

Ziel dieser Arbeit ist, mit Hilfe der Analyse der aktuellen Gesetzeslage und Auswertung der aktuellen Unfall-Statistik unter Berücksichtigung betriebs- und volkswirtschaftlicher Grundsätze gezielte Umsetzungshinweise für Maßnahmen geben zu können, die Österreichs bestehende, aber auch geplante Tunnel langfristig und möglichst wirtschaftlich sicherer machen.

Ein Tunnel kann als vergleichsweise sicher bezeichnet werden, wenn dort entweder in erster Linie keine oder nur wenige Unfälle passieren oder – im Falle eines Zwischenfalls – das Ausmaß durch sinnvolle und in Anspruch genommene Maßnahmen effektiv gemindert werden kann, ausreichend Möglichkeit zur Selbstrettung oder eine wirksame Fremdrettung sichergestellt werden kann, sodass möglichst keine Personen zu Schaden kommen.

Um ermitteln zu können, welche Maßnahmen tatsächlich effizient zur Erhöhung der Tunnelsicherheit beitragen können, wurden einerseits die derzeit gültigen Richtlinien analysiert und in Frage gestellt, und andererseits die von der ASFinAG seit 2006 geführte Tunnel-Unfall-Datenbank ausgewertet.

Die Analyse der gesetzlichen Richtlinien hat ergeben, dass diese in einigen Punkten entsprechend überarbeitet und angepasst werden sollten. Vor allem sollte ein höheres Augenmerk auf präventive Maßnahmen zur Vermeidung von allen Unfällen in allen Tunneln gelegt werden.

Mit Hilfe der Auswertung der Tunnel-Unfall-Datenbank konnten alle österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßen-Tunnel nach ihrer Gefährlichkeit aufgelistet werden. Dabei wurde jeweils die relative Gefährlichkeit nach den Kriterien „Unfälle“, „Unfälle mit Personenschaden“ und „Unfälle mit Todesfolge“ ermittelt und daraus eine relative Gesamt-Gefährlichkeit jedes Tunnels je 1.000 Fahrzeug-Kilometer ermittelt. Außerdem wurde analysiert, warum welcher Tunnel so gefährlich sein könnte und welche speziellen Maßnahmen jeweils helfen könnten, um gezielt in die jeweilige Tunnelsicherheit investieren zu können und auch für geplante Tunnel Informationen zu erhalten, die deren Sicherheit erhöhen könnten.

Die gewissenhafte Weiterführung der Tunnel-Unfall-Datenbank der ASFinAG ist auch in Zukunft sehr wichtig, um durch entsprechende Auswertungen Informationen über die Effizienz von Maßnahmen zur Tunnelsicherheit erlangen zu können und (auch) künftig sinnvolle Investitionsentscheidungen auf aussagekräftigen Grundlagen basierend treffen zu können.

Kosten-Nutzen-Abwägungen von Sicherheitseinrichtungen in Tunneln und Maßnahmen zur Senkung des Tunnelrisikos sind und bleiben bedeutend für Investitionsentscheidungen. In einem Kapitel dieser Arbeit wird in einem Exkurs näher auf die Frage eingegangen, wie viel ein Menschenleben wert ist, und damit verbunden, wie hoch Investitionen in die Tunnelsicherheit sein „dürfen“.

Investitionsentscheidungen sollten auf Grundlage der Auswertungen aktueller Unfall-Statistiken mit besonderem Augenmerk auf die grundsätzliche Vermeidung von Unfällen basieren. Die Effizienz von Investitionen muss nicht immer mit aufwendigen und kostspieligen Einrichtungen in Verbindung gebracht werden. Oft helfen einfache, weniger aufwendige Einrichtungen oder Maßnahmen, um Unfälle zu vermeiden und die Sicherheit zu erhöhen – und damit die Effizienz zu steigern.

durchschnittlich 820 Menschen pro Jahr ums Leben.³ Abb. 2 veranschaulicht die jährliche Entwicklung der Verkehrsunfälle, Verletzten sowie Getöteten der letzten zehn Jahre.

Bezogen auf die Verkehrsleistung starben im Jahr 2006 10,6 Personen pro Mrd. Fahrzeug-Kilometer. Bei einer Annahme von durchschnittlich 1,4 Fahrzeug-Insassen entspricht das im Mittel 7,6 Personen pro Mrd. Personen-Kilometer. Bahnstrecken sind mit durchschnittlich 47 Toten pro Jahr und 0,1 tödlich verunglückten Personen pro Mrd. Personen-Kilometer⁴ 76 Mal sicherer als Österreichs Straßen. Vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Untersuchung von Autobahn- und Straßentunneln und behandelt keine Eisenbahntunnel.

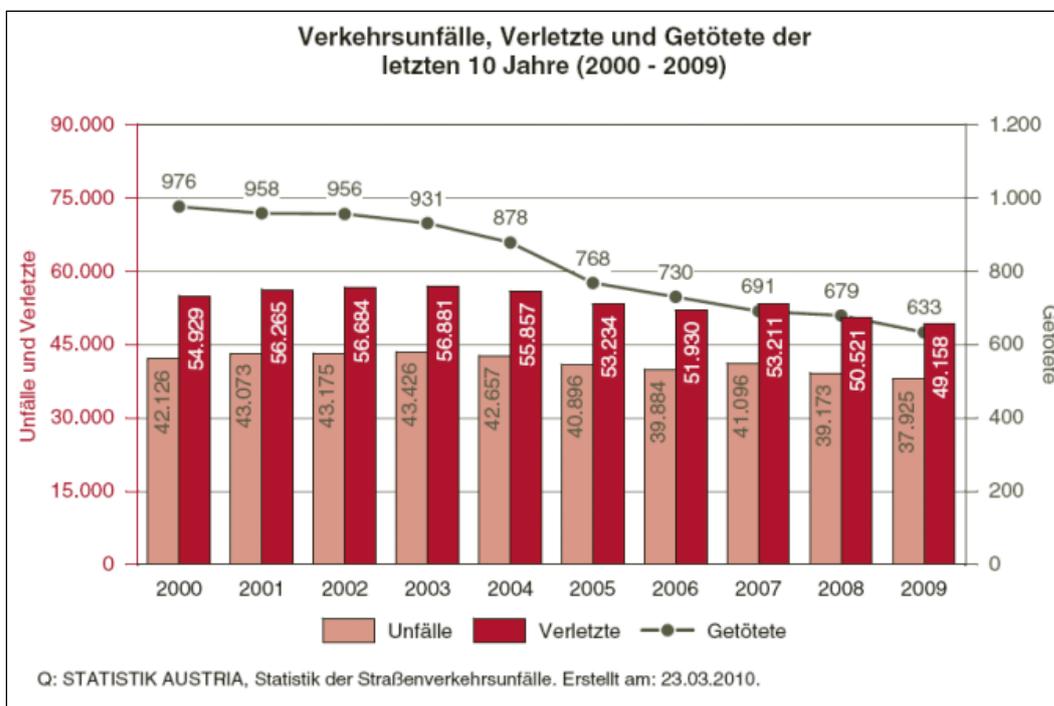


Abb. 2: Verkehrsunfälle, Verletzte und Getötete der letzten 10 Jahre (2000-2009); Quelle: Statistik Austria, Stand: 23.03.2010

In einem Tunnel sind die Auswirkungen eines Zwischenfalls aufgrund der vorgegebenen Wege zur Selbstrettung bzw. der nur eingeschränkt möglichen Zugangswege für Hilfs- und Rettungskräfte wesentlich gravierender als auf freier Strecke. Erschwe-

³ Quelle: ILF ZT GmbH, Risikoerwartungswerte, Stand: Mai 2010

Statistik Austria, <http://www.statistik.at/>

⁴ Vgl. [12] Rechnungshof; Investitionen in die Tunnelsicherheit. Eigenverlag, Wien, Februar 2010

rend kommt hinzu, dass sich im Brandfall auf diesen Flucht- und Zugangswegen Rauch und hohe Temperaturen ausbreiten können und dadurch lebensgefährliche Umstände entstehen. Selbst ein kleiner Zwischenfall in einem Tunnel kann daher katastrophale Auswirkungen haben.

Nach einigen folgenschweren Unfällen in österreichischen, aber auch in ausländischen Tunneln, ist die Sensibilität der Bevölkerung bezüglich der Sicherheit in Tunneln, insbesondere in Verbindung mit Brandentwicklung, in den letzten Jahren gestiegen. Dies hat möglicherweise auch dazu beigetragen, dass Investitionen in die Tunnelsicherheit oft nicht in Frage gestellt werden und daher auch kaum argumentiert werden (müssen). Die Folgen sind – zumindest laut Medienmeldungen – im Allgemeinen sichere österreichische Tunnel, aber auch, einer Untersuchung des Rechnungshofs [12] zufolge, sehr hohe (zu hohe?) Investitionskosten. Aber werden sie auch effizient eingesetzt?

Die Gegenüberstellung von Investitionskosten für Sicherheitseinrichtungen und von Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit mit deren Nutzen ist eine Herausforderung, da der Nutzen im Extremfall darin besteht, Menschen zu schützen bzw. zu retten. Wie bewertet man ein Menschenleben?

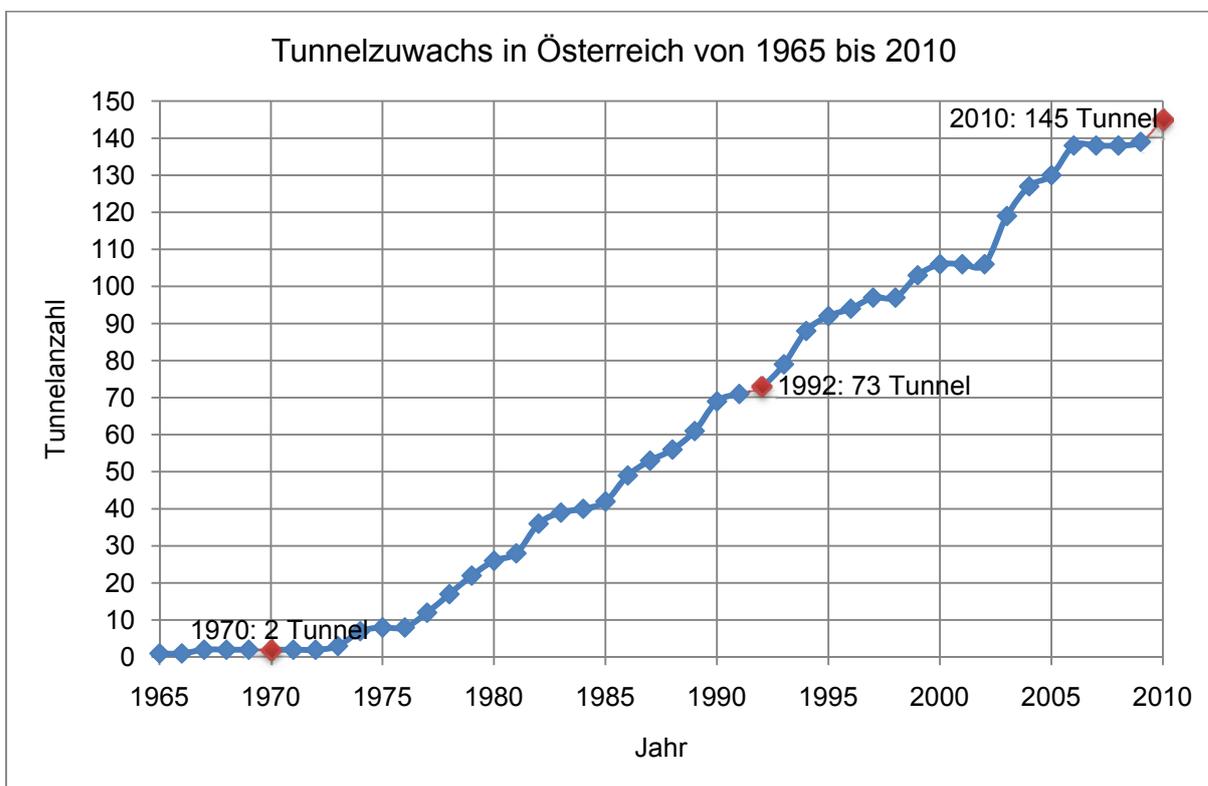


Abb. 3: Tunnelzuwachs in Österreich von 1965 bis 2010; Datenquelle: ASFinAG, Stand: Juli 2010

Die Anzahl der Tunnel im österreichischen und Autobahnen- und Schnellstraßen-Verkehrsnetz ist in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Vor 40 Jahren gab es in Österreich zwei Tunnel, heute sind es 145. In den letzten 18 Jahren hat sich die Anzahl der österreichischen Autobahn- und Schnellstraßentunnel verdoppelt (siehe Abb. 3). Der aktuelle bzw. geplante Ausbau von zehn bestehenden Tunnelanlagen mit zweiten Röhren und der Bau bzw. die Planung von 31 neuen Tunneln lassen künftig einen großen Anstieg der Tunnelstrecken in Österreich, aber auch hohe Investitionen in deren Sicherheit, absehen. Im Jahr 2019 wird die ASFinAG 147 Autobahn- und Schnellstraßen-Tunnel in Österreich betreiben, von denen 84% doppelröhrig ausgebaut sein werden. Aufgrund der steigenden Verkehrszahlen und den gesetzlichen Anforderungen werden weitere neue Tunnel gebaut und bestehende saniert und nachgerüstet werden. Sowohl die Tunnelsicherheit, als auch deren Investitionen werden künftig an Bedeutung gewinnen. Damit steigt auch der Bedarf an effizienten Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in österreichischen Tunneln.

Sind die Investitionen tatsächlich zu hoch? Kann man Investitionen in Sicherheit wirtschaftlich argumentieren? Darf man sie in Frage stellen? Auf welcher Grundlage sollen Investitionsentscheidungen für die Tunnelsicherheit basieren? Wie wertvoll ist ein Menschenleben? Bieten die derzeit gültigen Richtlinien ausreichende Sicherheit für österreichische Straßentunnel? Wie wirkungsvoll sind die vorgeschriebenen Sicherheitseinrichtungen? Wie sicher sind österreichische Tunnel tatsächlich?

Vorliegende Arbeit versucht Antworten auf diese Fragen zu finden, um Umsetzungshinweise für die Zukunft geben zu können, wie Österreichs Tunnel effizient sicherer gemacht werden können.

2. ZIELFORMULIERUNG

Ziel ist, mit Hilfe der Analyse der aktuellen Gesetzeslage und Auswertung der aktuellen Unfall-Statistik unter Berücksichtigung betriebs- und volkswirtschaftlicher Grundsätze gezielte Umsetzungshinweise für Maßnahmen geben zu können, die Österreichs bestehende, aber auch geplante Tunnel langfristig und möglichst wirtschaftlich sicherer machen.

Vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse der aktuellen Gesetzeslage zur Planung und Ausrüstung von österreichischen Tunnelbauwerken, stellt sie objektiv in Frage. Die umfangreiche Auswertung der Tunnel-Unfalldatenbank der ASFinAG soll Aufschluss darüber geben, wie sicher bzw. gefährlich österreichische Tunnel tatsächlich sind, welche Tunnel die gefährlichsten sind und warum. Mit diesem Wissen kann verglichen werden, wie gut die Berechnungen gemäß den Richtlinien die Wirklichkeit abbilden und wo Handlungsbedarf, einerseits bei der Überarbeitung der Richtlinien und andererseits bei der Nachrüstung bestimmter Tunnel mit ausgewählten Maßnahmen besteht.

Dabei wird besonders auf die Effizienz von Maßnahmen zur Vermeidung von Unfällen und auf den Schutz von Menschen in Form von Kosten-Nutzen-Vergleichen Wert gelegt, wobei Kosten und Nutzen nicht immer monetäre Größen sein müssen. Mit Effizienz ist gemeint, die jeweils wirkungsvollste Maßnahme zum frühest möglichen Zeitpunkt gezielt am richtigen Ort einzusetzen.

3. AUFBAU DER ARBEIT

Im ersten Schritt wird die Ausgangssituation analysiert, wie Österreichs Tunnel beschaffen sind, wie viele Unfälle auf Österreichs Straßen – und vor allem in Tunneln – passieren und damit verbunden, wie sicher Österreichs Tunnel sind, und wie viel derzeit durchschnittlich in die Sicherheit unserer Tunnel investiert wird.

Des Weiteren werden die Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit theoretisch behandelt und es wird näher auf die aktuell gültigen Bestimmungen eingegangen. In Normen, Vorschriften und Richtlinien ist die Einhaltung einer definierten erforderlichen Sicherheit in Form einer zu berechnenden Gefährdungsklasse je Tunnel vorgeschrieben. Diese Berechnungsverfahren werden im Detail analysiert, objektiv in Frage gestellt und deren Eingangsgrößen analysiert.

Die ausführliche Auswertung der seit einigen Jahren von der ASFinAG geführten Tunnel-Unfall-Datenbank soll ein Bild darüber geben, welche Schadensfolgen und Unfalltypen die häufigsten sind, welche davon die meisten Verletzten und Todesopfer gefordert haben und in welchen Tunneln die meisten Unfälle passiert sind, um zu ermitteln, welche Tunnel in der Praxis tatsächlich die gefährlichsten sind und warum.

Durch einen Vergleich der tatsächlichen Risikowerte mit den Ergebnissen der theoretisch ermittelten Risikoerwartungswerte kann einerseits evaluiert werden, wo mögliche Schwächen in den aktuellen Richtlinien liegen und ob Handlungsbedarf möglich und sinnvoll wäre, andererseits kann mit diesem Wissen gezielt gehandelt werden, um die Sicherheit der gefährlichsten Tunnel in Österreich wirtschaftlich und effizient zu erhöhen. Des Weiteren sollen die gewonnenen Erkenntnisse in Zukunft unterstützend für Investitionsentscheidungen sein.

Schlussendlich weisen Umsetzungshinweise auf mögliche erforderliche Änderungen in den gültigen Richtlinien oder auch auf Handlungsbedarf in der Praxis hin, um dauerhaft möglichst wirtschaftlich eine höhere Sicherheit gewährleisten zu können.

4. GRUNDLAGEN

4.1. Tunnel in Österreich

Derzeit sind in Österreich 145 Autobahn- und Schnellstraßentunnel, in Folge AS-Tunnel genannt, in Betrieb. Zu den längsten Tunneln zählen der fast vierzehn Kilometer lange Arlbergtunnel, der etwa zehn Kilometer lange Plabutschtunnel und der Gleinalmtunnel mit einer Länge von über acht Kilometer. Die Mehrzahl der österreichischen Tunnel ist zweiröhrig ausgebaut, so auch der Plabutsch-Tunnel. Die zweite Röhre des Gleinalm-Tunnels befindet sich derzeit in Planung und der Arlberg-Tunnel besteht aus einer Röhre mit Gegenverkehr.⁵

Insgesamt sind 119 AS-Tunnel mit zwei Tunnelröhren ausgestattet, das sind 82 %. Zwei zweite Tunnelröhren befinden sich derzeit im Bau und weitere acht sind in Planung. Außerdem werden zurzeit zwei neue doppelröhrige Tunnelbauwerke hergestellt und weitere 27 doppel- und auch zwei einröhrige Tunnel befinden sich in der Planungsphase.⁶

Am 29. April 2004 erschien eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates [2] über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz, die das Ziel hat, durch Maßnahmen zur Verbesserung der Tunnelsicherheit ein einheitliches Mindest-Sicherheitsniveau im transeuropäischen Straßennetz sicherzustellen. Die Richtlinie gilt für alle Tunnel mit einer Länge von mehr als 500 Meter und sieht ab einem Verkehrsaufkommen von mehr als 10.000 Fahrzeugen pro Tag und Fahrstreifen zwingend zwei Röhren mit Richtungsverkehr vor.⁷

⁵ Quelle: ASFinAG, Stand: Juli 2010

⁶ Quelle: ASFinAG; Stand: Juli 2010

⁷ vgl. [2] Europäische Union; Richtlinie 2004/54/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Stra-

Von den 145 AS-Tunneln in Österreich sind 81 Tunnel (55,9%) länger als 500 Meter. 66 von diesen 81 Tunneln sind mit zwei Röhren ausgestattet; das sind 81,5%.

Ausführliche Tunnellisten, geordnet nach unterschiedlichen Kriterien, wie Tunnelname, Länge, Anzahl der Röhren, Verkehrsaufkommen (JDTV) oder Eröffnungsjahr sind im Anhang A1 angeführt.

4.2. Tunnelsicherheit in Österreich

Rund ein Drittel aller tödlichen Unfälle in Österreich passiert auf den Straßen.⁸

Gemäß dem Bericht „Sicherheitsvergleich von Tunnels - Verkehrssicherheitsvergleich von Tunnels mit Gegenverkehr und Tunnels mit Richtungsverkehr mit anderen Straßenarten“⁹, kamen im Zeitraum von 1999 bis 2003 im Mittel 614 Personen pro Jahr auf Autobahnen, Schnell- und Landstraßen ums Leben. Landstraßen sind bei allen Vergleichen bei Weitem am gefährlichsten.

Bezogen auf die Verkehrsleistung (Fahrzeug-Kilometer) sind im Zeitraum von 1999 bis 2003 sowohl die Unfall- als auch die Verunglücktenrate in Tunneln im Vergleich zu Autobahnen und Schnellstraßen am geringsten; die Getötetenrate ist bei Tunneln jedoch höher als jene von Autobahnen und Schnellstraßen. Insgesamt ereignen sich 3,2 Prozent aller Unfälle auf Autobahnen und Schnellstraßen in AS-Tunneln. 3,6 Prozent aller auf Autobahnen und Schnellstraßen Verunglückten kommen in AS-Tunneln zu Schaden und 8,2 Prozent aller auf Autobahnen und Schnellstraßen Getöteten verlieren ihr Leben in AS-Tunneln¹⁰.

In Tunneln mit Gegenverkehr werden absolut gesehen mehr Personen bei Unfällen getötet oder schwer verletzt¹¹; relativ zur Verkehrsleistung sind die Unfall- und Verunglücktenraten bei Richtungsverkehrstunneln höher. Die Getötetenrate ist relativ gesehen in Gegenverkehrstunneln höher als in Richtungsverkehrstunneln. Im Allgemeinen sind die Unfall-, Verunglückten und Getötetenraten in den vier Jahren gesunken¹².

⁸ vgl. [12] Rechnungshof

⁹ [4] Kuratorium für Verkehrssicherheit – Verkehrstechnik Forschung; Sicherheitsvergleich von Tunnels – Verkehrssicherheitsvergleich von Tunneln mit Gegenverkehr und Tunnels mit Richtungsverkehr mit anderen Straßenarten, Bericht im Auftrag des BMVIT, Eigenverlag, 25.04.2005

¹⁰ vgl. [4], Seite 7f, Kapitel 2.3

¹¹ vgl. [4], Seite 10, Kapitel 3.1.2

¹² vgl. [4], Seite 15f, Kapitel 3.3.2

Häufigster Ausgangspunkt für Unfälle mit Personenschaden ist, sowohl bei Gegen- als bei Richtungsverkehrstunneln, mit Abstand der Portalbereich.¹³ Häufigster Unfalltyp in diesem Bereich ist der Alleinunfall, gefolgt von Auffahrunfällen.¹⁴

Hauptursache für Unfälle in AS-Tunneln ist mangelnde Wachsamkeit, gefolgt von Fehlverhalten und Fehleinschätzung. Erst an vierter Stelle der Hauptursachen wird zu hohe Geschwindigkeit genannt¹⁵.

Leider war der aktuelle Bericht zum „Sicherheitsvergleich von Tunneln“ des Kuratoriums für Verkehrssicherheit zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit noch nicht verfügbar, sodass der Bericht von 25. April 2005 mit Daten bis 2003 heran gezogen wurde, um einen allgemeinen „aktuellen“ Überblick über die Tunnelsicherheit in Österreich geben zu können.

In Österreich wird seit 2006 von der ASFinAG eine (lt. ASFinAG) weltweit einzigartige Unfalldatenbank über sämtliche Zwischenfälle in Österreichs Tunneln geführt. Seit Jänner 2006 gibt es 1.735 Einträge¹⁶ über Vorkommnisse in oder unmittelbar vor Tunneln (Vorportalbereich) mit sämtlichen Informationen, wie Zeit, Ort, Unfalltyp, beteiligte Fahrzeugtypen (LKW, PKW, Motorrad), Verkehrsführung sowie Personen- und Sachschäden (Verletzte, Tote, Brand). Die Unfall-Daten enthalten leider keine Information über die Unfallursache; es wird daher eine entsprechende Adaptierung der Datenbank vorgeschlagen.

Innerhalb der Aufzeichnungszeit von etwa 4,6 Jahren kamen 28 Menschen bei 26 Unfällen in oder unmittelbar vor einem Tunnel (im Portal- oder Vorportalbereich) ums Leben. 598 Personen wurden bei 378 Zwischenfällen in Tunneln verletzt.

Die detaillierte Auswertung der Unfalldatenbank ist wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit und wird in Kapitel 7 ausführlich behandelt.

¹³ vgl. [4], Seite 23f, Kapitel 4.1

¹⁴ vgl. [4], Seite 24f, Kapitel 4.2

¹⁵ vgl. [4], Seite 27f, Kapitel 4.5

¹⁶ Quelle: ASFinAG, Stand: 1. August 2010

4.3. Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit

Folgende vier nach Dringlichkeit gereichte Ziele bilden Maßnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit:

- Verhindern von Ereignissen
- Ausmaß-Minderung von Ereignissen
- Ermöglichung der Selbstrettung
- Sicherstellung der wirksamen Fremdrettung

In erster Linie sollte schon die Entstehung eines Ereignisses in einem Tunnel durch präventive Maßnahmen möglichst vermieden werden. Eine der größten Gefahren beim Durchfahren von Tunneln ist die schlechtere Sicht. Dies kann an schlechter Beleuchtung im Tunnel liegen und damit verbunden am plötzlichen Lichtwechsel, an den sich das menschliche Auge gewöhnen muss. Vor allem bei starkem Sonnenschein kann die plötzliche Dunkelheit im Tunnel, oder auch umgekehrt nachts die plötzlich sehr helle, möglicherweise blendende Tunnelbeleuchtung das Einfahren in einen Tunnel besonders gefährlich machen. Mögliche Maßnahmen wären Investitionen in eine bessere Tunnelbeleuchtung und/oder auch in eine Sensor-gesteuerte Beleuchtung, die die Lichtstärke im Tunnel an die Außenbedingungen anpasst, um große Lichtunterschiede möglichst zu vermeiden. Die Sicht kann auch durch plötzlich auftretenden „Nebel“ eingeschränkt werden, der aufgrund der unterschiedlich warmen Luftmassen vor und in dem Tunnel beim Einfahren zum plötzlichen Beschlagen der Windschutzscheibe führen kann. Mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit können in diesem Fall Warntafeln im Vorportalbereich oder kostenintensivere Lüftungssysteme sein, die die Luftmassen im Portalbereich mit Außenluft durchmischen.

Eine weitere Unfallursache im Tunnel kann Ablenkung sein, nachdem die GSM-Verbindung durch schlechten Empfang im Tunnel abgebrochen wurde. Mögliche Maßnahme wäre der Ausbau des GSM-Netzes innerhalb von Tunneln. Eine weitere Maßnahme, die bei Ablenkung oder auch bei Müdigkeit und herabgesetzter Konzentrationsfähigkeit für mehr Sicherheit sorgen kann, sind akustische Fahrbahnmarkierungen. Diese können möglicherweise auch bei Sekundenschlaf eines Fahrers hilfreich sein, um einen Unfall zu vermeiden. Unfallvermeidend können auch die frühzei-

tige Stauererkennung, eine Schwelbranderkennung oder organisierte Gefahrentransporte mit den entsprechenden und sinnvoll angeordneten Informations-Einrichtungen sein.

Kommt es dennoch zu einem Zwischenfall im Tunnel, müssen für Tunnelnutzer vor allem ausreichende Möglichkeiten zur Selbsthilfe bzw. Selbstrettung vorhanden sein, da dies die größte Überlebenschance gewährleistet und damit den größten Nutzen für Sicherheit bietet; aber auch eine Fremdhilfe bzw. Fremdrettung muss möglichst ohne Behinderungen und Risiken erfolgen können.



Abb. 4: Handlungskette vom Eintreten eines Ereignisses im Tunnel bis zu seiner Behebung

Das Sicherheitskonzept bei einem Zwischenfall im Tunnel wird im Wesentlichen durch die Zeitspanne und den Handlungsablauf vom Eintreten bis zum Beheben des Zwischenfalls geprägt. Nach dem Eintreten eines Ereignisses erfolgen dessen Detektion und die Meldung an die Einsatzkräfte. Nach Ankunft der Rettungsmannschaft erfolgt die Behebung des Zwischenfalls. Innerhalb dieser Zeitspanne muss die Sicherheit der Tunnelnutzer durch bereitgestellte Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen gewährleistet sein.¹⁷

Zur Aufrechterhaltung des sicheren Betriebs und zur Minimierung des Risikos im Falle eines Ereignisses sind in österreichischen Tunneln gewisse Einrichtungen vorgeschrieben. Die zur Herstellung ausreichender Betriebssicherheit erforderlichen baulichen Anlagen und Einrichtungen sind in den RVS 09.01.24 „Bauliche Anlagen“¹⁸ und 09.02.22 „Tunnelausrüstung – Betrieb und Sicherheit“¹⁹ festgelegt.

¹⁷ vgl. [1] EUROFORUM Deutschland GmbH Düsseldorf; Dokumentation der 3. EUROFORUM-Veranstaltung „Brandschutz im Tunnelwesen“ von 14. bis 16. Januar 2008 in Berlin; Eigenverlag, Januar 2008

¹⁸ [6] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.01.24; Tunnelbau – Bauliche Anlagen. Wien, 18.08.2009

¹⁹ [8] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.02.22: Tunnelausrüstung, Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen. Wien, 04.07.2002

Gemäß RVS 09.01.24 [6] sind demnach bei Neuplanungen von Straßentunneln in Österreich folgende baulichen Anlagen zu planen und auszuführen:

- Pannenbuchten
- Flucht-, Rettungswege und Zugänge
- Räume für Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen
- Nischen
- Abschlüsse
- Kabel- und Leitungsverlegung
- Erdungsanlage
- Anpralldämpfung
- Löschwasserbereitstellung
- Fluchtwegekennzeichnung
- Bindemittelager

Weiters ist die Erforderlichkeit folgender Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen (BuS) gem. RVS 09.02.22 [8] zu prüfen und gegebenenfalls zu planen oder nachzurüsten:

- Energieversorgungsanlagen
- Luftgütemesseinrichtungen / Überwachung der Luftverhältnisse
- Verkehrslenkung und -überwachung
- Notrufeinrichtungen
- Informationsanlagen
- Gefahrenmeldeanlage
- Sonderanlagen
- Löscheinrichtungen
- Tunnelbeleuchtung
- Übertragungssysteme / Übertragungs- und Steuerungssysteme

Die erforderlichen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen sind von der jeweiligen Gefährdungsklasse eines Tunnels abhängig, die gemäß RVS 09.02.22 [8] mit Hilfe des Gefährdungspotentials G ermittelt wird. Je nach Gefährdungspotential ergibt sich eine gewisse Gefährdungsklasse. Aus einer Tabelle können jene, je nach Gefährdungsklasse erforderlichen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen entnommen und

geplant werden. Am Ende erfolgt die Überprüfung auf Plausibilität mittels dem zu er rechnenden Sicherheitskoeffizienten S .

Der Entwurf der neu überarbeiteten RVS 09.02.22 von April 2010²⁰ sieht ebenfalls sämtliche Einrichtungen zur ausreichenden Betriebssicherheit vor. Die jeweilige Gefährdungsklasse wird nun gemäß RVS 09.02.31 „Belüftung“²¹ bzw. RVS 09.03.11 „Tunnel-Risikoanalysemodell“²² ermittelt.

Je nach Gefährdungsklasse sind also bestimmte Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen im jeweiligen Tunnel zur Gewährleistung ausreichender Sicherheit erforderlich. Die vorgeschriebenen Einrichtungen unterscheiden sich sowohl in ihrem Aufwand beim Einbau und bei den Investitionskosten, als auch in ihrer Wirksamkeit bezüglich der Steigerung der Sicherheit bzw. der Minimierung des Risikos.

In Kapitel 6 wird auf die unterschiedlichen Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse näher eingegangen.

²⁰ [9] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.02.22: Tunnelausrüstung, Betrieb und Sicherheit, Begutachtungsentwurf. Wien, 08.04.2010

²¹ [10] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.02.31: Tunnelausrüstung, Belüftung, Grundlagen. Wien, 04.12.2008

²² [11] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.03.11: Tunnel-sicherheit, Tunnel-Risikoanalysemodell. Wien, 01.06.2008

5. INVESTITIONEN IN DIE TUNNELSICHERHEIT

In einem Tunnel sind die Auswirkungen eines Zwischenfalls aufgrund der vorgegebenen Wege zur Selbstrettung bzw. der nur eingeschränkt möglichen Zugangswege für Hilfs- und Rettungskräfte wesentlich gravierender als auf freier Strecke. Selbst ein kleiner Zwischenfall in einem Tunnel kann katastrophale Auswirkungen haben. Um auch im Tunnel *ausreichende* Sicherheit für die Verkehrsteilnehmer gewährleisten zu können, sind besondere Vorkehrungen für den Personen- und Bautenschutz zu treffen. In Normen, Vorschriften und Richtlinien ist die Einhaltung einer definierten erforderlichen Sicherheit in Form einer Gefährdungsklasse je Tunnel vorgeschrieben. Seit Jahren werden Tunnel nach diesen Richtlinien geplant und gebaut.

Eine aktuelle Untersuchung des Rechnungshofs [12] über Investitionen in die Tunnelsicherheit, mit dem Ziel der Überprüfung des Sicherheitsstandards bei Straßen- und Bahntunneln sowie der Ermittlung der diesbezüglichen Investitionen, hat ergeben, dass in Österreich durchschnittlich etwa 30% der Gesamtbaukosten in die Sicherheit österreichischer Straßentunnel investiert werden. Die Untersuchung zeigt außerdem, dass mehr in die Tunnelsicherheit investiert wird, als notwendig wäre, um die derzeit gültigen Richtlinien und Vorschriften zu erfüllen.

Bei den vier vom Rechnungshof untersuchten Tunnel, zwei Straßentunnel (Ganzstein und Geißwand) sowie zwei Bahntunnel (Brixlegg und Sonnstein), wurden zirka ein Fünftel der Investitionen für die Sicherheit aufgewendet; für die Straßentunnel allein betragen die Investitionen mehr als 30 Prozent. Der Rechnungshof stellte weiters fest, dass sich im Zuge der letzten Überarbeitungen der RVS „Tunnel – Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen – Bauliche Anlagen“ die maximal zulässigen Abstände von Notrufrischen, Feuerlöschnischen und begehbaren Querschlägen derart verkürzt haben, dass die Anforderungen dort höher sind als jene des Straßensicherheitsgesetzes (STSG). Laut einer Untersuchung des Einflusses der Notausgangsabstände seitens des Rechnungshofs mit Hilfe des Risikoanalysemodells haben Not-

ausgangabstände bei Richtungsverkehrstunneln „nur unwesentlichen Einfluss auf das Risiko“²³. Die Empfehlung lautet, in Richtungsverkehrstunneln nur jenen lt. STSG vorgeschriebenen Notausgangsabstand einzuhalten (max. alle 500 Meter) und nicht jenen in der RVS 09.01.24 [6] vorgeschriebenen Abstand von generell 250 Meter. Bei Gegenverkehrstunneln steigt das Risiko ab 10.000 Kfz/Tag stark an; eine Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf 70 km/h verringert das Risiko erheblich.

Die Tunnelsicherheit kann generell durch relativ einfache und kostengünstige Maßnahmen, wie die Herabsetzung der Höchstgeschwindigkeit, erhöht werden.

Wann ist ein Tunnel *ausreichend* sicher? Welche Sicherheit ist ausreichend, wenn es um das Leben von Menschen geht? Können Investitionen in Sicherheit – zum Schutz bzw. zur Rettung von Menschenleben – zu hoch sein?

²³ [12] Rechnungshof, Seite 28

5.1. Exkurs – Wie viel ist ein Mensch wert?

Wie viel ist ein Mensch wert? Dieser, sowohl gesellschaftlich als auch volkswirtschaftlich interessanten Frage, ist JÖRN KLARE in seinem Buch „Was bin ich wert? Eine Preisermittlung“²⁴ auf den Grund gegangen. Darf die Würde des Menschen ökonomisch relativiert werden? KLARE versucht bei seinen Recherchen alle ethischen und moralischen Grundsätze über Bord zu werfen und stellt zunächst fest, dass die Bewertung eines Menschen in erster Linie von den Kriterien abhängt. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht muss man „genau definieren, um welchen Wert es geht“ und wenn man es nicht ideell betrachtet „dann gibt es für jeden Wert auch einen Preis. Und der wird in der Regel in Geld bemessen“²⁵. Um den Tauschwert einer Ware zu bestimmen, braucht man „einen Markt, auf dem es theoretisch eine Preisforderung des Anbieters und ein Preisangebot des Nachfragers gibt. [...] Aus dem [...] Verhältnis von Angebot und Nachfrage ergibt sich dann der genaue Preis“²⁶. Für die Bewertung eines Menschen benötigt man allerdings ein Kriterium. Es macht einen Unterschied, ob man eine Person nach ihrer äußeren Erscheinung, wie Größe oder Schönheit, nach ihrer Herkunft, ihrer Staatsbürgerschaft, nach ihrer mehr oder weniger seltenen Blutgruppe, nach ihrem Alter und ihrer Erfahrung, nach ihrer Fitness oder nach ihrem Gehalt beurteilt. „Das einzige Kriterium, bei dem es mit der gesellschaftlichen Legitimierung keine Probleme gibt, ist der Arbeitslohn.“²⁷

Eine andere Methode, den Wert eines Menschen zu ermitteln, basiert auf der Überlegung, die einzelnen Werte seiner Organe und Körperteile auf Basis von gerichtlich zugesprochenen Schadenersatzleistungen zu addieren. Die drei österreichischen Volkswirtschaftler WINNER, LEITNER und THÖNI veröffentlichten 2008 eine Studie, in der sie die Schmerzensgeldsummen der letzten 32 Jahre aus Deutschland und jener der letzten 24 Jahre aus Österreich unter Berücksichtigung der Inflation bewertet und

²⁴ [3] J. KLARE; Was bin ich wert? Eine Preisermittlung. Suhrkamp Verlag, Berlin, 2010

²⁵ vgl. [3] KLARE, Seite 22

²⁶ vgl. [3] KLARE, Seite 23

²⁷ vgl. [3] KLARE, Seite 23-24

berechnet hatten. Ein ganzer Mensch aus Deutschland oder Österreich ist demnach im Mittel zirka 1,7 Millionen Euro wert.²⁸

Weitere Recherchen führen KLARE zum rein statistischen Ansatz zur Bewertung eines Lebens, einer mittlerweile verbreitete Methode, die in den 1970er Jahren in den USA entwickelt wurde.²⁹ Die Ermittlung des Wertes eines statistischen Lebens, kurz WSL, wird beispielhaft wie folgt erläutert: „In einem Fußballstadion sind 10.000 Menschen versammelt. Sie erfahren, dass einer von ihnen ausgelost wird, der dann sterben soll. Jeder einzelne wird gefragt, wie viel er zahlen würde, um dieses Risiko für sich auszuschließen. [...] Angenommen, der Durchschnittswert der Zahlungsbereitschaft beträgt 500 Euro, dann wird diese Summe durch das Todesrisiko dividiert [...] und das Ergebnis von fünf Millionen Euro ist dann ein Wert für ein statistisches Leben. [...] In einem großen Teil der ökonomischen Literatur wird der WSL als ein sinnvolles Instrument für Kosten-Nutzen-Rechnungen im öffentlichen Finanzwesen beschrieben. Demnach sollte der Wert des Nutzengewinns jeder öffentlichen Regulierung abhängig sein von der entsprechenden Zahlungsbereitschaft der Staatsbürger.“ Wenn Österreichs Bürgern also ein statistisches Leben fünf Millionen Euro wert ist, würde das eine entsprechend hohe öffentliche Investition, etwa in Sicherheitseinrichtungen für Tunnel rechtfertigen, wenn sich dadurch mit statistischer Wahrscheinlichkeit ein Menschenleben retten ließe. Eine Einrichtung für sechs Millionen Euro würde sich demnach nicht „lohnen“.³⁰

Dieser Ansatz ist mittlerweile weit verbreitet, aber dennoch nicht unumstritten. Die Befragten haben Schwierigkeiten mit der Fragestellung, versuchen sich dagegen zu sperren, antworten strategisch oder können die Wahrscheinlichkeiten nicht richtig erfassen. Eine Alternative zum Ansatz der Zahlungsbereitschaft beim WSL ist die Lohn-Risiko-Studie: welcher Lohnaufschlag muss einem Arbeiter gezahlt werden, um ein höheres Unfallrisiko bei der Arbeit in Kauf zu nehmen?

²⁸ vgl. [3] KLARE, Seite 34-35

²⁹ vgl. [3] KLARE, Seite 47

³⁰ vgl. [3] KLARE, Seite 48

„Schließlich gibt es noch relativ ähnliche Berechnungen zum WSL, die auf Produktmarktstudien basieren. Dabei wird untersucht, inwieweit Konsumenten in Sicherheitstechnik [...] investieren.“³¹

Alle erwähnten Ansätze resultieren in Ergebnissen mit sehr großen Spannen, vor allem im internationalen Vergleich. Gründe dafür sind juristische Faktoren, wie rechtshistorische Unterschiede oder extrem unterschiedliche Anwaltshonorare³² im internationalen Vergleich, persönliche Faktoren, wie Kultur oder Risikoaffinität und lohnbestimmende Faktoren, wie Ausbildung, seelische und körperliche Belastung sowie die Arbeitsmarktsituation. Durchschnittswerte, die sich aus möglichst vielen Studien, einer sogenannten Metastudie, ergeben, scheinen daher bedeutungsvoller als Werte, die aus einzelnen Untersuchungen hervorgehen.³³

2008 veröffentlichte Professor KIP VISCUSI von der Vanderbilt University in Nashville auf Arbeitsmarktstudien basierende Zahlen zum WSL in verschiedenen Ländern. Demnach ist der durchschnittliche Wert eines statistischen deutschen Lebens 3,5 Millionen Euro wert und der eines österreichischen zwischen 3,9 und 6,5 Millionen US-Dollar³⁴, das entspricht beim derzeitigen Währungskurs EUR/USD von etwa 1,3 drei bis fünf Millionen Euro. „In den USA spielt der WSL eine wichtige Rolle. Das US OFFICE OF MANAGEMENT AND BUDGET empfiehlt allen Regierungsbehörden den WSL für Kosten-Nutzen-Rechnungen bei Entscheidungen, die Einfluss auf die Gesundheit bzw. das Sterberisiko der Bevölkerung haben.“³⁵

Aus volkswirtschaftlicher Sicht darf, rein rechnerisch betrachtet, „die Vermeidung von potentiellen Gesundheitsgefahren und Todesfällen nicht teurer sein als die Summe der monetär bewerteten Leben, die dadurch möglicherweise gerettet werden.“³⁶

³¹ vgl. [3] KLARE, Seite 49

³² vgl. [3] KLARE, Seite 36

³³ vgl. [3] KLARE, Seite 49

³⁴ vgl. [3] KLARE, Seite 47, 50

³⁵ vgl. [3] KLARE, Seite 50

³⁶ vgl. [3] KLARE, Seite 60

Auf die Frage KLAREs, ob „diese Kosten-Nutzen-Rechnungen mit Menschenleben nicht mit einem ethischen Grundverständnis kollidieren“ [Klare, Seite 64], antwortet SPENGLER, Diplom-Volkswirt und Mitarbeiter der KfW-Bankengruppe: „Ich denke nicht. Der Wert eines statistischen Lebens ist ein probater Ansatz, Politik effizienter zu gestalten. Das ist gut für die Menschen und damit ethisch. Man könnte umgekehrt auch sagen, es sei ethisch, diese Rechnungen durchzuführen, und zynisch, es nicht zu tun.“³⁷

³⁷ vgl. [3] KLARE, Seite 64

5.2. Kosten-Nutzen-Abwägungen

Fest steht, dass in keinem Fall hundertprozentige Sicherheit erreicht werden kann und dass mit zunehmender Sicherheit die erforderlichen Investitionen für noch mehr Sicherheit stark ansteigen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die erforderlichen Investitionen zur weiteren Senkung des Risikos ab einem gewissen Sicherheitsgrad so groß, dass sie in keinem wirtschaftlichen Verhältnis mehr stehen.

Kosten-Nutzen-Abwägungen von Sicherheitseinrichtungen in Tunneln und Maßnahmen zur Senkung des Tunnelrisikos sind und bleiben bedeutend für Investitionsentscheidungen. „In einem großen Teil der ökonomischen Literatur wird der WSL, der Wert eines statistischen Lebens (siehe dazu Kapitel 5.1), als ein sinnvolles Instrument für Kosten-Nutzen-Rechnungen im öffentlichen Finanzwesen beschrieben.“³⁸ Der WSL in Österreich beträgt derzeit zwischen drei und fünf Millionen Euro.³⁹ Investitionen bis fünf Millionen Euro sind also in Österreich aus volkswirtschaftlicher Sicht lohnend, wenn sie mit statistischer Wahrscheinlichkeit mindestens ein Menschenleben retten.

5.2.1 Beispiel Ganzsteintunnel

Der Rechnungshof hat berechnet, dass die Gesamtkosten für die Sicherheit beim Ausbau des Ganzsteintunnels mit seiner zweiten Röhre 19,54 Millionen Euro betragen. Das sind bei Gesamtbaukosten von 64,14 Millionen Euro über 30 Prozent Investitionen in die Sicherheit. Einige der Ausrüstungen wären lt. Rechnungshof nach den aktuellen Richtlinien nicht erforderlich gewesen, hätten aber erhebliche Kosten verursacht und gleichzeitig nicht viel zur Erhöhung der Sicherheit beigetragen.⁴⁰ Am 20. März 2009 wurde die zweite Tunnelröhre eröffnet. Im Zeitraum von Jänner 2006 bis März 2009, also in knapp mehr als drei Jahren gab es im Ganzsteintunnel sechs Unfälle mit drei Verletzten (zwei davon mit Begegnungsverkehr). Seit Eröffnung der

³⁸ vgl. [3] KLARE, Seite 48

³⁹ vgl. [3] KLARE, Seite 47 bzw. 50

⁴⁰ vgl. [12] Rechnungshof, Seite 10f

zweiten Röhre, also in fast eineinhalb Jahren, gab es einen Unfall ohne Personenschaden. Man kann also (bei großzügiger Rechnung) davon ausgehen, dass durch den Bau der zweiten Röhre seit ihrer Eröffnung statistisch gesehen zwei Unfälle und eineinhalb Verletzte verhindert wurden. Aus (zumindest Großteils) ökonomischer Sicht lohnen sich diese Investitionen dann, wenn mit statistischer Wahrscheinlichkeit mindestens vier österreichische Menschenleben, nämlich 19,54 Millionen Euro Investitionskosten dividiert durch den Wert eines österreichischen statistischen Lebens von derzeit max. fünf Millionen Euro, gerettet werden können⁴¹. Die erste Röhre des Ganzsteintunnels wurde im Jänner 1980 eröffnet. Aufgrund fehlender Daten ist nicht bekannt, wie viele Unfälle dort bis zur Eröffnung der zweiten Röhre passiert sind, so dass nur schwer abzuschätzen ist, wie viele Menschenleben mit statistischer Wahrscheinlichkeit durch die zweite Tunnelröhre gerettet werden konnten.

5.2.2 Beispiel Geißwandtunnel

Der 2,1 Kilometer lange Geißwandtunnel liegt auf der Bundesstraße B 145 und ist somit im Zuständigkeitsbereich des Landes Oberösterreich. Die Gesamtkosten für die Sicherheit beim Bau des Gegenverkehrstunnels betrugen 42,36 Millionen Euro; mehr als 30 Prozent davon, 13,67 Millionen Euro, wurden in die Tunnelsicherheit investiert. Auch hier entstanden lt. Rechnungshof [12] erhebliche Mehrkosten aufgrund von Investitionsentscheidungen ohne Kosten-Nutzen-Vergleiche und ohne rechtliche Erfordernisse.

Aus ökonomischer Sicht lohnen sich diese Investitionen dann, wenn dadurch mit statistischer Wahrscheinlichkeit mindestens drei österreichische Menschenleben gerettet werden können⁴². Eine entsprechende Rechtfertigung der Investitionen ist etwa durch die Auswertung der in den letzten Jahren erhobenen Unfalldaten und eine angemessene Hochrechnung (steigende Verkehrszahlen) auf die nächsten Jahre möglich. Leider liegen zu diesem Zeitpunkt keine Unfalldaten des Geißwandtunnels vor.

⁴¹ vgl. [3] KLARE, Seite 48

⁴² vgl. [3] KLARE, Seite 48

5.2.3 Beispiel Tanzenbergtunnel

Die ASFinAG stellte freundlicherweise die Kostenaufstellung der nachträglichen Ausrüstung mit den erforderlichen Sicherheitseinrichtungen gemäß RVS 09.02.22 [9] des Tanzenbergtunnels zur Verfügung (Abb. 5). Der Tanzenbergtunnel wurde 1983 bzw. 1985 (zweite Röhre) eröffnet und wies nach 20 Jahren Betrieb einige Sicherheitsmängel in Bezug auf die heute gültigen Richtlinien auf. Die beiden jeweils ca. 2.500 Meter langen Röhren wurden nacheinander im Gegenverkehrsbetrieb ausgebaut.

Die Gesamtkosten für den Ausbau betrugen etwa 11,8 Millionen Euro. Im Zeitraum von 2006 bis 2010 (etwa 4,6 Jahre) wurden 20 Unfälle im Tanzenbergtunnel erfasst und dokumentiert. Bei elf der Unfälle kamen insgesamt 23 Personen zu Schaden.

Abb. 5 zeigt, dass jene Positionen für Maßnahmen, die präventiv mit dem Ziel Unfälle zu vermeiden wirken, in der Minderzahl sind. Dazu gehören die Verkehrslenkung, die Tunnelbeleuchtung und bis zu einem gewissen Grad die Verkehrszeichenträger, die Sicherheitsstromversorgung, Tragsysteme und Kabel für die Energieversorgung. Diese Investitionen machen großzügig und grob gerechnet lediglich etwa 20 Prozent der Gesamtkosten aus.

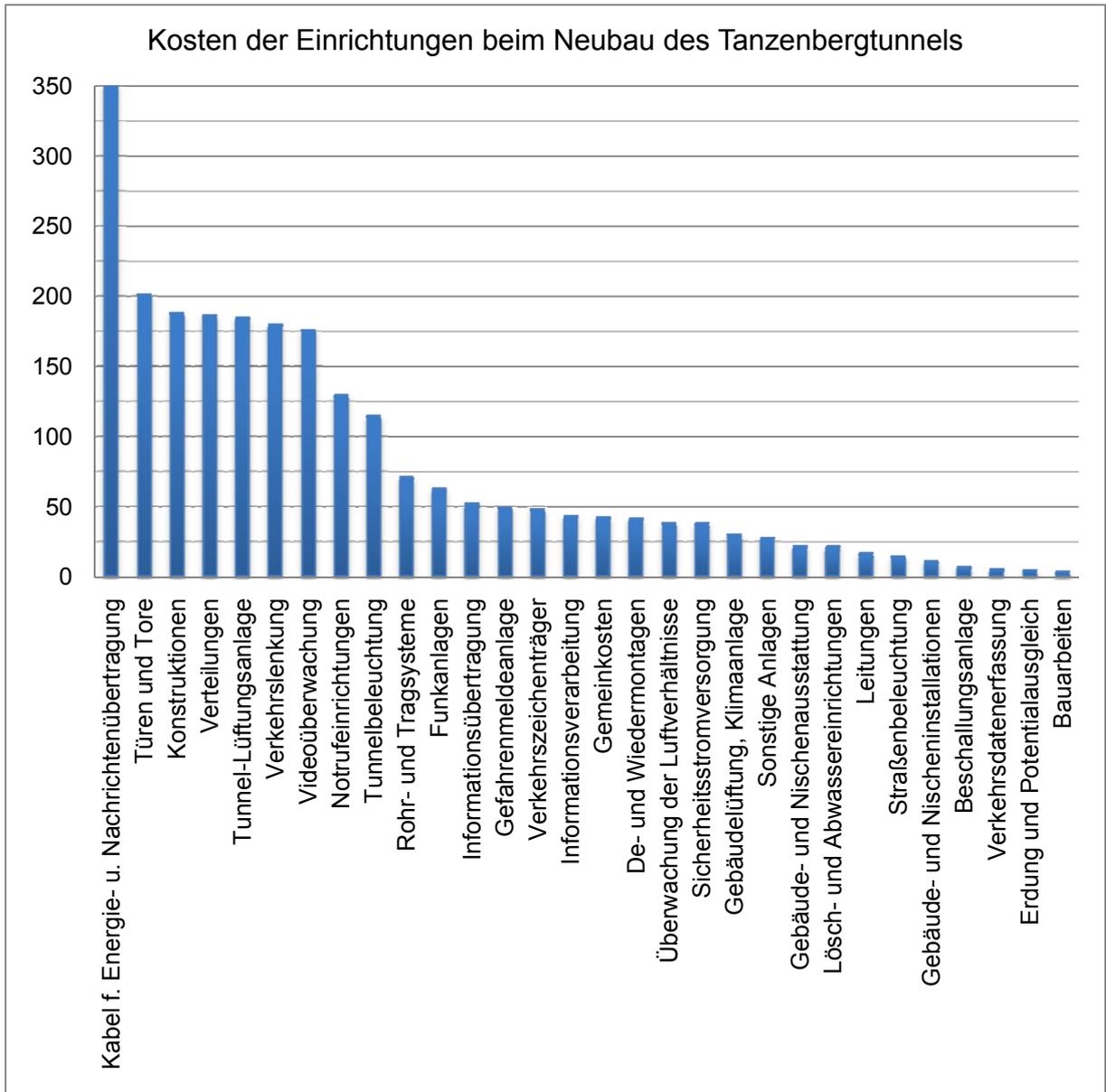


Abb. 5: Kosten der nachträglich eingebauten Sicherheitseinrichtungen beim Tanzenbergtunnel [€/lkm],
 Quelle: ASFinAG, Stand: Juli 2010

5.3. Zusammenfassende Anmerkungen

Der Nutzen von Investitionen und Maßnahmen für die Tunnelsicherheit beschränkt sich nicht nur auf die mögliche Rettung von Menschenleben. Investitionen und Maßnahmen sollen in erster Linie so eingesetzt werden, dass sie möglichst Unfälle aller Art verhindern. Der Nutzen von Maßnahmen für die Tunnelsicherheit betrifft also auch alle anderen damit verhinderten Unfälle – jene mit Verletzten und auch jene mit reinem Sachschaden, die bei einer Kosten-Nutzen-Rechnung nicht zu vernachlässigen sind.

Leider war es nicht möglich, nach den lt. RVS 09.02.22 (siehe Kapitel 6) vorgeschriebenen BuS aufgeschlüsselte Kosten-Informationen zu erhalten oder zu ermitteln. Dies liegt nicht zuletzt an den im Allgemeinen ohnehin schon sehr umfangreichen Ausschreibungen und häufigen Pauschal-Vergaben im Bauwesen. Derartige Daten sind also oft gar nicht vorhanden und auch praktisch nicht nachträglich zu ermitteln.

Die ASFinAG stellte freundlicherweise die in Abb. 5 veranschaulichte Kosten-Aufstellung des kürzlich fertig gestellten nachträglichen Ausbaus der Tanzenberg-Tunnelröhren zur Verfügung. Die Kosten für den Ausbau betragen 2.362 Euro pro Laufmeter. Bei einer ausgebauten Gesamttunnellänge von 5.010 Meter entspricht das 11,8 Millionen Euro Gesamtkosten. Auffallend ist, dass jene Positionen für Maßnahmen, die präventiv mit dem Ziel Unfälle zu vermeiden wirken, in der Minderzahl sind. Jene Investitionen für präventive Maßnahmen machen großzügig und grob gerechnet lediglich etwa 20 Prozent der Gesamtkosten aus.

6. ANALYSE DER RICHTLINIEN ZUR GEFÄHRDUNGS- KLASSIFIZIERUNG

Im Folgenden werden die beiden bereits erwähnten Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse näher behandelt. Sehr viele Informationen in diesem Kapitel stammen aus den jeweiligen RVS. *Zur besseren Lesbarkeit sind meine persönlichen Hinweise, Kommentare und Interpretationen in den Kapiteln 6.1 und 6.2 kursiv dargestellt.*

6.1. Verfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS

09.02.22 vom 4. Juli 2002

Dieses Kapitel geht näher auf das mittlerweile überholte Verfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse ein, wonach viele derzeit betriebene österreichische Tunnel auf ihre Sicherheit geprüft wurden. Bei dieser Methode erfolgt nach Kenntnis der Gefährdungsklasse die Auswahl der erforderlichen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen (BuS) und anschließend die Überprüfung der Plausibilität mit Hilfe des Sicherheitskoeffizienten S.

6.1.1 Ermittlung der Gefährdungsklasse mittels Gefährdungspotential G

Die Gefährdungsklasse ergibt sich aus dem jeweiligen Gefährdungspotential G eines Tunnels⁴³:

$$G = MSV \cdot g_R \cdot g_K \cdot g_G$$

[6.01]

wobei

⁴³ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 2, Kapitel 4

MSV.. „maßgebende stündliche Verkehrsstärke als Q_{30} -Wert, d.h. jener prognostizierte Wert, der über den Gesamtquerschnitt in 30 Stunden im Jahr erreicht oder überschritten wird. Der LKW-Anteil ist gemäß RVS 9.262 mit dem Faktor 2,5 zu berücksichtigen.“⁴⁴

g_R Verkehrsrichtung

g_Kzusätzliche Konfliktpunkte

g_G Häufigkeit von Gefahrguttransporten

mit folgenden Gewichtungsfaktoren⁴⁵:

bei Richtungsverkehr..... $g_{RR} = 1,0$

bei Gegenverkehr..... $g_{RG} = 2,0$

bei nicht geschlossener baulicher Mitteltrennung der Richtungen..... $g_{RM} = 1,5$

ohne Verflechtungen im Tunnel..... $g_K = 1,0$

bei Verflechtungen im Tunnel..... $g_{KV} = 1,5$

bei Verflechtungen unmittelbar vor und/oder nach dem Tunnel $g_{KVN} = 1,2$

bei Kreuzungen im Tunnel..... $g_{KK} = 2,5$

bei Kreuzungen unmittelbar vor und/oder nach dem Tunnel..... $g_{KKVN} = 2,0$

bei max. 10 Gefahrguttransporten täglich $g_{G-10} = 1,0$

bei max. 50 Gefahrguttransporten täglich $g_{G-50} = 1,5$

bei mehr als 50 Gefahrguttransporten täglich..... $g_{G>50} = 2,0$

Die Gefährdungsklasse ist demnach abhängig vom Verkehrsaufkommen, der Verkehrsrichtung und dem Vorhandensein von Konfliktpunkten und Gefahrguttransporten. Der Zusammenhang ist direkt proportional, d.h. je höher das Verkehrsaufkommen bzw. die Anzahl von Konfliktpunkten und/oder Gefahrguttransporten ist, desto höher ist das Gefährdungspotential.

Der Multiplikationsfaktor von 2,0 bei Gegenverkehr bedeutet ein doppelt so großes Gefährdungspotential im Vergleich zum Richtungsverkehr (Faktor 1,0). Verflechtungen oder Kreuzungen im Tunnel sind gefährlicher als jene unmittelbar vor und/oder nach einem Tunnel. Ebenso steigt der Multiplikationsfaktor mit der Anzahl der Gefahrguttransporte.

⁴⁴ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 2, Kapitel 4

⁴⁵ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 2, Kapitel 4

Aus dem ermittelten Gefährdungspotential lässt sich die Gefährdungsklasse in direkter proportionaler Abhängigkeit wie folgt bestimmen (Tab. 1):

Tab. 1: Bestimmung der Gefährdungsklasse in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials; Quelle: RVS 09.02.22 [8], S. 2, Kap. 4

Gefährdungspotential	Gefährdungsklasse	Beschreibung
<1.000	I	Tunnel mit geringem Verkehr
1.001-2.500	II	Gegenverkehrstunnel mit mäßigem Verkehr, Richtungsverkehrstunnel mit stärkerem Verkehr
2.501-10.000	III	Tunnel mit starkem Verkehr und zusätzlichen Gefährdungen
>10.000	IV	Tunnel mit sehr starkem Verkehr und zusätzlichen Gefährdungen

6.1.2 Auswahl der BuS

Mit Hilfe der ermittelten Gefährdungsklasse werden die jeweils erforderlichen Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen aus Tabelle 2 der RVS 09.02.22 „BuS in Abhängigkeit der Gefährdungsklassen“ gewählt und geplant⁴⁶.

Die Liste umfasst Energieversorgungsanlagen, Einrichtungen zur Überwachung der Luftverhältnisse, zur Lenkung und Überwachung des Verkehrs, Notrufeinrichtungen, Informationsanlagen, Gefahrenmelde- und Sonderanlagen, Löscheinrichtungen, Tunnelbeleuchtung sowie Übertragungs- und Steuersysteme.

Die folgende Tab. 2 liefert einen Auszug aus der Liste zum Überblick. Die Kennzeichnung „x“ bedeutet, dass die entsprechende Einrichtung für die jeweilige Gefährdungsklasse unbedingt erforderlich ist; bei „o“ ist deren Erfordernis gesondert zu überprüfen; „-“ bedeutet, dass die entsprechende Einrichtung in dieser Klasse nicht zugelassen bzw. nicht zutreffend ist.⁴⁷

⁴⁶ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 2-4, Kapitel 6

⁴⁷ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 2-4, Kapitel 6

Tab. 2: Auszug aus Tabelle 2 „BuS in Abhängigkeit der Gefährdungsklassen“ der RVS 09.02.22 [8]

Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen	Gefährdungsklasse			
	I	II	III	IV
1. Energieversorgungsanlagen				
1.1. EVU-Netz				
1.1.1. Einseitige Anspeisung	o	o	-	-
1.1.2. Zweiseitige Anspeisung	-	o	x	x
1.2. SSV				
1.2.1. mit unterbrechungsloser Versorgung	-	o	x	x
1.2.2. mit Kurzunterbrechung	o	o	-	-
1.2.3. mit Unterbrechungszeit 15 sec.	o	o	o	o
2. Luftgütemesseinrichtungen	o	o	o	o
3. Verkehrslenkung und Überwachung				
3.1. Verkehrslichtsignalanlage				
3.1.1. dreibegriffig	o/x	o/x	x	x
3.1.2. einbegriffig bei NRN	x	x	x	x
3.2. Fahrstreifensignale	-	-	o	o
3.3. Verkehrszeichen				
3.3.1. Vorschriftzeichen (Geschw.beschr., Überholverbot)	x	x	x	x
3.3.2. Gefahrenzeichen (Gegenverkehr)	o	o	o	o
3.3.3. Hinweiszeichen (Pannenhilfsstelle, Fluchtwegkennz., ...)	x	x	x	x
3.3.4. Wechselverkehrszeichen im Tunnel	-	-	o	o
3.3.5. Leiteinrichtungen	o	o	x	x
3.4. Infotafeln	-	o	o	o
3.5. Verkehrserfassung	o	o	x	x
3.6. Videoanlage (Videoüberw., -aufzeichnung, -auswertung)	o	o	o/x	o/x
3.7. Höhenkontrolle	o	o	o	o
4. Notrufeinrichtungen				
4.1. Notrufanlagen	o	x	x	x
4.2. Hilferufanlage	o	-	-	-
4.3. Notrufsäulen im Portalbereich (beide/nur rechte Fahrbahn)	-/x	o	x/-	x/-
5. Informationsanlagen				
5.1. Fernsprechanlage	o	o	o	o
5.2. Beschallungsanlage	o	o	x	x
5.3. Tunnelfunkanlage	je nach Kategorie			
6. Gefahrenmeldeanlage				
6.1. Handgefahrenmelder	x	x	x	x
6.2. Automatische Brandmelder	o/x	x	x	x
6.3. Schwelbranderkennung im Tunnelfahrraum	-	o	o	o
6.4. Gefahrguttransportüberwachung	o	o	o	o
7. Sonderanlagen				
7.1. Automatische Gefahrguterkennung	o	o	o	o
8. Löscheinrichtungen				
8.1. Handfeuerlöscher	x	x	x	x
8.2. Wasserverteilung				
8.2.1. Trockenlöschleitung (Tunnel 500-1000m)	o	o	-	-
8.2.2. Nasslöschleitung (Tunnel >500m)	o	o	x	x
9. Tunnelbeleuchtung	-/o/x	o/x	o/x	o/x
10. Übertragungssysteme				
10.1. Redundanzen	-	-/o	o	o
10.2. Übertragungssystem vom Tunnel zur BZ	-/x	-/o	-/o	-/o
10.3. Zusammenlegung angef. Anw. auf gem. Steuerungseinr.	-/o	-/o	-	-
10.4. Übertragungssystem von der BZ zur ÜZ	-/o	-/o	-/o	-/o

6.1.3 Überprüfung auf Plausibilität

Nach der Auswahl der BuS ist gem. RVS eine Überprüfung auf Plausibilität mit Hilfe des Sicherheitskoeffizienten S durchzuführen⁴⁸:

$$\mathbf{S = S_R \cdot S_W \cdot S_B} \quad \mathbf{[6.02]}$$

wobei

S_R Rauchabzugskomponente

S_W Weglängenkomponente

S_B Betriebskomponente

Rauchabzugskomponente S_R

Die Rauchabzugskomponente evaluiert die Situation der Rauchentwicklung bei einem Zwischenfall im untersuchten Tunnel unter Berücksichtigung des Tunnelquerschnitts und der Lüftungsart:

$$\mathbf{S_R = R_Q + R_A} \quad \mathbf{[6.03]}$$

mit den Anteilen

R_Q Querschnittskomponente

R_A Absaugkomponente (R_{AP} bei Längslüftung, R_{AV} bei Querlüftung)

$$\mathbf{R_Q = H / 5} \quad \mathbf{[6.04]}$$

wobei

Hgrößte lichte Tunnelhöhe in m

$$\mathbf{R_{AP} = 800 / a} \quad \mathbf{[6.05]}$$

wobei

aAbstand der Rauchabsaugungen in m bei Längslüftung; gleich der Tunnellänge, wenn keine Absaugung

⁴⁸ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 7, Kapitel 8

$$R_{AV} = 1 + V / 80$$

[6.06]

wobei

VRauchabsaugmenge in m³/s im ungünstigsten Tunnelabschnitt bei Halbquer- und Querlüftung⁴⁹

Die Rauchabzugskomponente S_R ist demnach abhängig vom Tunnelquerschnitt und von der Art der Lüftung. Die Rauchabzugskomponenten R_Q und R_{AV} – und damit S_R – sind umso größer, je größer die lichte Tunnelhöhe H bzw. je größer die Rauchabsaugmenge V bei Querlüftung ist. Die Zusammenhänge sind linear und direkt proportional, wie Abb. 6 und Abb. 7 veranschaulichen.

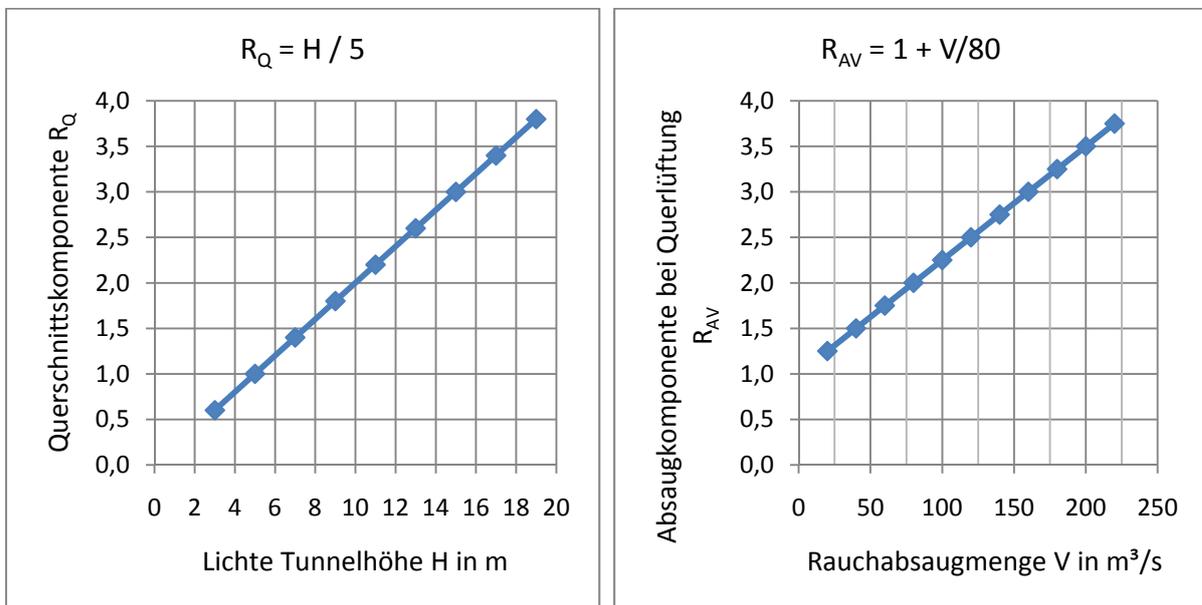


Abb. 6 (links): Linearer Zusammenhang zwischen der lichten Tunnelhöhe H und der Querschnittskomponente R_Q .

Abb. 7 (rechts): Linearer Zusammenhang zwischen der Rauchabsaugmenge V und der Absaugkomponente bei Querlüftung R_{AV} .

Im Unterschied dazu ist der Zusammenhang zwischen dem Abstand der Rauchabsaugungen a und der Absaugkomponente bei Längslüftung R_{AP} indirekt proportional und nicht linear; siehe dazu Abb. 8.

⁴⁹ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 7, Kapitel 8

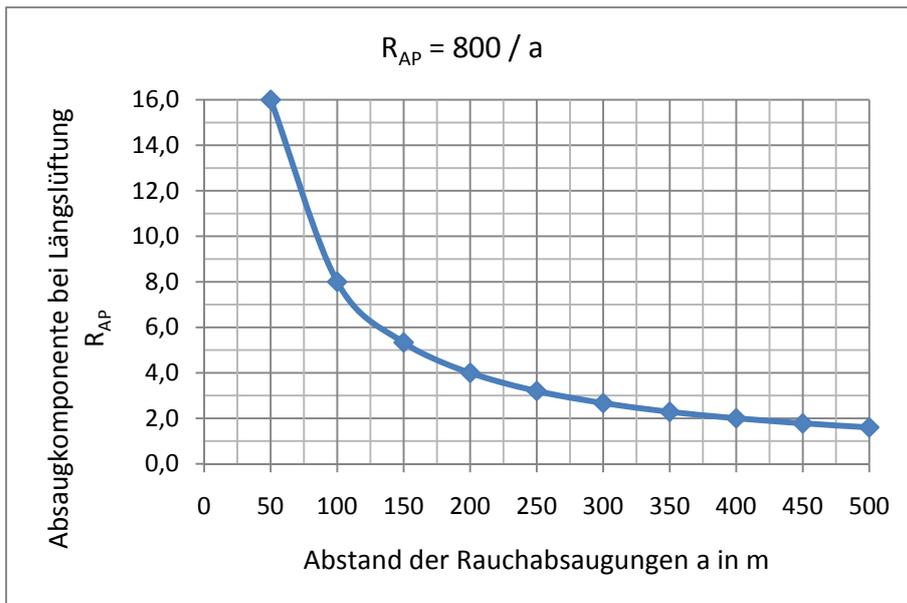


Abb. 8: Zusammenhang zwischen dem Abstand der Rauchabsaugungen a und der Absaugkomponente R_{AP} bei Längslüftung.

Je größer die Rauchabzugskomponente S_R ist, umso höher ist die Sicherheit.

Weglängenkomponente S_W

Die Weglängenkomponente evaluiert einerseits das Vorhandensein jener Fluchtwege, die Beteiligte bei einem Zwischenfall im untersuchten Tunnel zur Selbstrettung zur Verfügung haben, und andererseits die vorhandenen Zufahrtswege für Einsatzfahrzeuge und Rettungspersonal zur Ermöglichung der Fremdrettung:

$$S_W = W_F + W_E \geq 0 \quad [6.07]$$

mit den Anteilen

W_F Fluchtwegkomponente

W_E Einsatzwegkomponente

$$W_F = 2,0 - F \geq 0 \quad [6.08]$$

wobei

F Fluchtweglänge in km

$$W_E = 1,5 - 0,5 \cdot L \geq 0 \quad [6.09]$$

wobei

L Weglänge für Einsatzfahrzeuge innerhalb des Tunnelraumes in km⁵⁰

Die Weglängenkomponente S_W ist ausschließlich von der Fluchtweglänge und von der Weglänge für Einsatzfahrzeuge im Tunnel abhängig. Die Zusammenhänge sind indirekt proportional und linear. S_W ist umso größer, je kürzer die Weglängen jeweils sind, wie Abb. 9 und Abb. 10 veranschaulichen.

⁵⁰ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 7, Kapitel 8

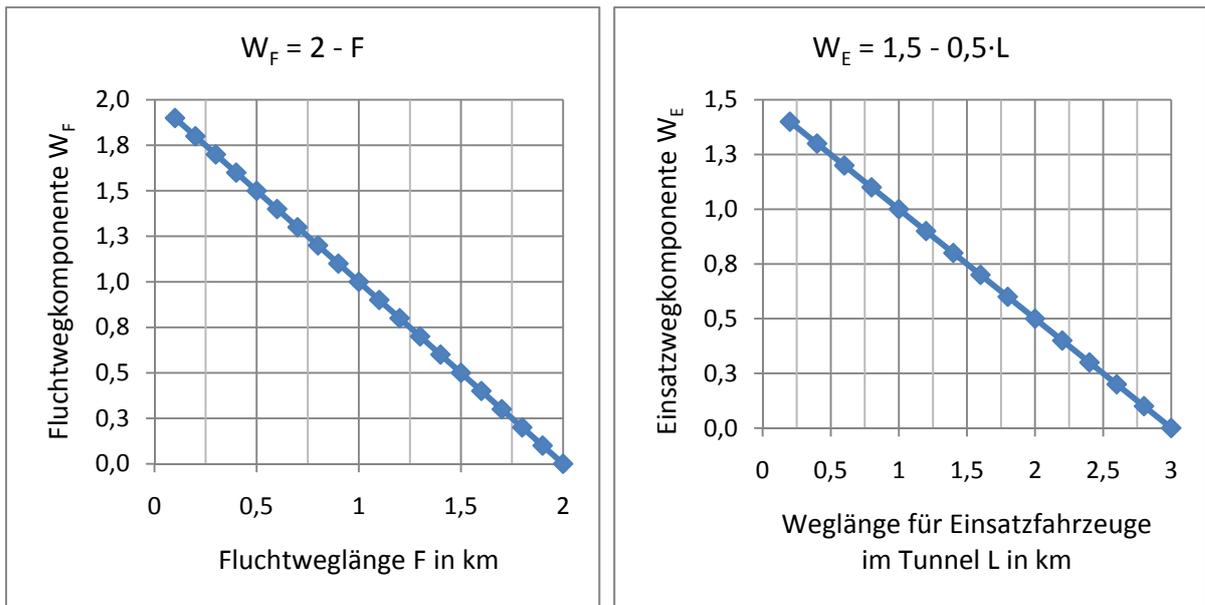


Abb. 9 (links): Linearer Zusammenhang zwischen der Fluchtweglänge F und der Fluchtwegkomponente W_F .

Abb. 10 (rechts): Linearer Zusammenhang zwischen der Weglänge für Einsatzfahrzeuge im Tunnel L und der Einsatzwegkomponente W_E .

Je größer die Weglängenkomponekte S_W ist, umso höher ist die Sicherheit.

Betriebskomponente S_B

Die Betriebskomponente evaluiert das Vorhandensein sämtlicher Einrichtungen zur Überwachung des Tunnels, zur Erkennung und Meldung von Gefahren und Zwischenfällen sowie zur Informationsübertragung und Kommunikation:

$$S_B = 1 + \sum B_i \quad [6.10]$$

mit den Anteilen B_i für⁵¹:

Überwachungszentrale.....	$B_W = 2,0$
Überwachungsstelle	$B_A = 0,5$
Videobildübertragung	$B_0 = 0,5$
Automatische Stauererkennung	$B_{St} = 0,5$
Automatische Gefahrgutererkennung.....	$B_G = 1,0$
Organisierte Gefahrguttransporte.....	$B_D = 0,5$
Feuerwache vor Ort, je Portal.....	$B_O = 0,5$
Automatische Brandmeldeanlage in Tunnelfahrraum.....	$B_B = 1,0$
Schwelbranderkennung.....	$B_S = 0,5$
Tunnelfunk mit Einsprechmöglichkeit	$B_T = 0,5$

Die Betriebskomponente S_B ist demnach abhängig von den vorhandenen Einrichtungen zur Vermeidung von Zwischenfällen sowie zur Unterstützung der Selbstrettung bzw. Rettung im Falle eines Ereignisses im Tunnel. Sie ist umso größer, je mehr bzw. je effizientere Einrichtungen vorhanden sind.

Nach den festgelegten Faktoren lt. RVS ist eine Überwachungszentrale mit dem Faktor 2,0 besonders wirkungsvoll für die Sicherheit in einem Tunnel. Eine automatische Gefahrgutererkennung sowie eine automatische Brandmeldeanlage im Tunnelfahrraum bieten mit dem Faktor 1,0 im Vergleich zu den anderen Einrichtungen, wie Videoübertragung, automatische Stauererkennung, Schwelbranderkennung oder Tunnelfunk (Faktor 0,5), höhere Sicherheit.

Je größer die Betriebskomponente ist, umso höher ist die Sicherheit.

⁵¹ vgl. [8] RVS 09.02.22 vom 04.07.2002, Seite 7, Kapitel 8

Mindest erforderlicher Sicherheitskoeffizient $S_{\min, \text{erf}}$

Der *mindest erforderliche Sicherheitskoeffizient $S_{\min, \text{erf}}$* ist in der RVS in Abhängigkeit von der in Kapitel 6.1.1 ermittelten Gefährdungsklasse festgelegt:

Tab. 3: Gefährdungsklassen und *mindest erforderliche Sicherheitskoeffizienten* gem. RVS 09.02.22 [8], S. 7, Kap. 8

Gefährdungsklasse	Mindest erforderlicher Sicherheitskoeffizient $S_{\min, \text{erf}}$
I	1
II	5
III	10
IV	25

Der vorhandene Sicherheitskoeffizient S muss *mindestens gleich groß oder größer* dem *mindest erforderlichen Sicherheitskoeffizienten $S_{\min, \text{erf}}$* sein, um der geforderten Gefährdungsklasse zu entsprechen:

$$S \geq S_{\min, \text{erf}}$$

[6.11]

Wird der *erforderliche Sicherheitskoeffizient S* nicht erreicht, müssen entweder *zusätzliche Maßnahmen zur Minderung der Rauchentwicklung ($\rightarrow S_R$ erhöhen), zur Minimierung der Flucht- und Einsatzwege ($\rightarrow S_W$ erhöhen) und/oder zur Erhöhung der Einrichtungen zur Unfall-Prävention bzw. zur Unterstützung von Rettungsmaßnahmen ($\rightarrow S_B$ erhöhen) getroffen werden.*

Eine weitere Möglichkeit wäre die *Abstufung der Gefährdungsklasse, die erneute Auswahl der lt. Tab. 2 für die entsprechende Gefährdungsklasse erforderlichen BuS sowie die Überprüfung auf Plausibilität.*

6.2. Verfahren zur Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS

09.02.22 (Begutachtungsentwurf) vom 8. April 2010

Nach dem Begutachtungsentwurf der RVS 09.02.22 vom 08.04.2010 [9] wird die Gefährdungsklasse entweder aus der vereinfachten Methode zur Risikobewertung oder aus der Tunnel-Risikoanalyse bestimmt. Demnach erfolgt die Ermittlung der Gefährdungsklasse gemäß RVS 09.02.31 „Belüftung“ [10] bzw. RVS 09.03.11 „Tunnel-Risikoanalysemodell“ [11].

In Abhängigkeit der ermittelten Gefährdungsklasse sind BuS gemäß Tabelle 1 der Begutachtungsentwurf der RVS 09.02.22 vom 08.04.2010 [9] vorgeschrieben. Tab. 4 fasst diese Einrichtungen zusammen und veranschaulicht farblich die Änderungen bzw. Ergänzungen zur vergleichbaren Tabelle 2 in RVS 09.02.22 vom 04.07.2002 [8] (siehe Tab. 2).

Die Kennzeichnung „x“ bedeutet, dass die entsprechende Einrichtung für die jeweilige Gefährdungsklasse erforderlich ist; bei „o“ ist deren Erfordernis zu prüfen; „-“ bedeutet, dass die entsprechende Einrichtung nicht erforderlich ist und bei grauer Hinterlegung ist sie nicht zulässig.⁵²

Der Vergleich der beiden Tabellen (Tab. 2 und Tab. 4) zeigt folgenden Neuerungen:

- *Energieversorgung: in Tunneln der GK I ist eine einseitige Energie-Anspeisung erforderlich, zuvor war diese zu prüfen. Die einseitige Energiean-speisung ist in Tunneln der GK III und IV nicht zulässig. Die Erfordernis einer Sicherheitsstromversorgung SSV ist entfallen.*
- *Verkehrslenkung und Überwachung:*
 - o *Verkehrslichtsignalanlage VLSA: in Tunneln der GK I und II ist die Er-fordernis von VLSA zu prüfen. Zuvor war sie z.B. nach einer Höhenkon-trolle zwingend erforderlich. Es gibt auch keine Unterteilung der VLSA in ein- oder dreibegriffig mehr (bei Notrufrischen war eine einbegriffige VLSA in Tunneln jeder GK erforderlich),*

⁵² vgl. [9] RVS 09.02.22 vom 08.04.2010, Seite 6, Kapitel 7

- *Verkehrszeichen: die Erfordernis von Wechselverkehrszeichen in Tunneln der GK II ist nun zu prüfen, zuvor war diese nicht gegeben,*
- *Leiteinrichtungen sind nun grundsätzlich selbstleuchtend,*
- *neu sind die akustische Fahrstreifentrennung bei Gegenverkehr und die Fluchtwegmarkierung mit LED,*
- *entfallen ist die Höhenkontrolle.*
- *Notrufeinrichtungen: die Erfordernis von Hilferufanlagen und Notrufsäulen im Portalbereich ist entfallen, dafür ist die Erfordernis von Notrufstellen in Querschnitten mit zwei Abschlüssen und Verbindung ins Freie je nach GK gegeben bzw. zu prüfen.*
- *Informationsanlagen: in Tunneln der GK III und IV ist eine Telefonanlage jedenfalls erforderlich. Zuvor war die Erfordernis zu prüfen.*
- *Gefahrenmeldeanlage: in Tunneln der GK I ist die Erfordernis eines Handgefahrenmelders nicht mehr zwingend gegeben, sie ist zu prüfen.*
- *Löscheinrichtungen: in Tunneln der GK I und II sind bei einer Tunnellänge von 500-1.000 Meter Trockenlöschleitungen erforderlich und ausreichend, ab 1.000 Meter Tunnellänge sind Nasslöschleitungen erforderlich. Zuvor war die individuelle Wahl nach Prüfung ausreichend.*
- *Tunnelbeleuchtung: in allen Tunneln jeder GK ist eine Beleuchtung erforderlich, nur in Tunneln der GK I kann die Erfordernis der Beleuchtung im Bereich von Pannenbuchten geprüft werden.*
- *Übertragungssysteme: die Übertragungs- und Steuerungssysteme und deren Redundanz-Anforderungen sind nach wie vor vielseitig und je nach Zweck (welche Einrichtungen miteinander verbunden werden; anlagenintern oder extern) bzw. Verfügbarkeit (unterschiedliche Erfordernisse in ÜZ, BZ und im Tunnel) in Abhängigkeit der GK zu prüfen.*

Tab. 4: Auszug aus Tabelle 1 „BuS in Abhängigkeit der Gefährdungsklassen“ der RVS 09.02.22 [9]; in rot: Änderungen zu Tab. 2 der RVS 09.02.22 [8].

Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen	Gefährdungsklasse			
	I	II	III	IV
1. Energieversorgungsanlagen				
1.1. Einseitige Anspeisung EVU-Netz	x	o		
1.2. Zweiseitige Anspeisung EVU-Netz	-	o	x	x
2. Überwachung der Luftverhältnisse	o	o	o	o
3. Verkehrslenkung und Überwachung				
3.1. Verkehrslichtsignalanlage	o	o	x	x
3.2. Fahrstreifensignale	-	-	o	o
3.3. Verkehrszeichen				
3.3.1. Vorschriftzeichen (Geschw.beschr., Überholverbot)	x	x	x	x
3.3.2. Gefahrenzeichen (Gegenverkehr)	o	o	o	o
3.3.3. Hinweiszeichen (Pannebucht, Fluchtwegkennz.)	x	x	x	x
3.3.4. Wechselverkehrszeichen im Tunnel	-	o	o	o
3.4. Leiteinrichtungen selbstleuchtend	o	o	x	x
3.5. Akustische Fahrstreifentrennung bei GV	o	o	x	x
3.6. LED Fluchtwegmarkierung	o	x	x	x
3.7. Infotafeln		o	o	x
3.8. Verkehrserfassung	o	o	x	x
3.9. Videoanlage (Videoüberw., -aufzeichnung, -auswertung)	o	o	o/x	o/x
4. Notrufeinrichtungen				
4.1. Notrufanlagen	o	x	x	x
4.2. Notrufstelle in Querschlägen mit Abschlüssen und Verb. ins Freie	o	o	x	x
5. Informationsanlagen				
5.1. Telefonanlage	o	o	x	x
5.2. Beschallungsanlage	o	o	x	x
5.3. Tunnelfunkanlage	je nach Kategorie			
6. Gefahrenmeldeanlage				
6.1. Handgefahrenmelder	o	x	x	x
6.2. Automatische Brandmelder	o/x	x	x	x
6.3. Schwelbranderkennung im Tunnelfahrraum		o	o	o
6.4. Gefahrguttransportüberwachung	o	o	o	o
7. Sonderanlagen				
7.1. Automatische Gefahrguterkennung	o	o	o	o
8. Löscheinrichtungen				
8.1. Tragbare Feuerlöscher	x	x	x	x
8.2. Wasserverteilung				
8.2.1. Trockenlöschleitung (Tunnel 500-1000m)	x	x		
8.2.2. Nasslöschleitung (Tunnel 500-1000m)			x	x
8.2.3. Nasslöschleitung (Tunnel>1000m)	x	x	x	x
9. Tunnelbeleuchtung	o/x	x	x	x
10. Übertragungs- und Steuerungssysteme				
10.1. Übertragungseinrichtung	abh. von Redundanzanforderungen und Verfügbarkeit			
10.2. Kabelanlage				

6.2.1 Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS 09.02.31 „Belüftung“:

Grundsätzlich ist für jeden Tunnel zu prüfen, ob eine mechanische Lüftung erforderlich ist. Die RVS 09.02.31 „Belüftung“ [10] ist bei Neuplanung eines Tunnels und für den Betrieb von Lüftungsanlagen anzuwenden. Im Betriebsfall dürfen Tunnelnutzer während einer bestimmten Aufenthaltsdauer bei allen im Betrieb auftretenden Verkehrssituationen keinen Schaden erleiden. Des Weiteren ist die erforderliche Anhaltesichtweite aufrecht zu erhalten. Im Brandfall ist eine Selbstrettung durch das Rauchfreihalten der Fluchtwege zu gewährleisten. Außerdem müssen Einsatzdiensten günstige Bedingungen für eine ausreichende Zeit ermöglicht werden und das Schadensausmaß für Personen, Fahrzeuge und das Tunnelbauwerk muss minimiert werden.⁵³

Für die Entscheidung eines Lüftungssystems ist die Wirtschaftlichkeit maßgebend. Es ist mit einer Lebensdauer von 20 Jahren zu rechnen; für bauliche Anlagen setzt man in der Regel eine Lebensdauer von 80 Jahren an. Für den Betriebsfall gelten die Verkehrsart (Gegenverkehr, Richtungsverkehr, max. Verkehrsstärke, stockender Verkehr etc.), Anlageverhältnisse (Länge, Steigung, Querschnitt, Fluchtwege etc.) und Umfeldsituation (Immissionen, Schutzmaßnahmen etc.) als Entscheidungskriterien. Nach der Wahl und Dimensionierung des Belüftungssystems ist diese iterativ zu überprüfen.

Auf Basis einer Risikoanalyse wird die Gefährdungsklasse ermittelt und dann die erforderlichen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen festgelegt.⁵⁴

⁵³ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 3, Kapitel 2

⁵⁴ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 4-5, Kapitel 4

6.2.1.1 Vereinfachte Methode der Risikobewertung

Die vereinfachte Methode der Risikobewertung hat das Ziel, das Risiko eines Tunnels abzuschätzen und ihn einer Gefährdungsklasse zuzuordnen, für die in RVS 09.02.22 [9] technische Mindeststandards definiert sind. Für die Bewertung von Standardtunneln wird ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für die Ermittlung des Risikoäquivalenzwertes R definiert, das auf den Auswertungen der Ergebnisse der Tunnel-Risikoanalyse gemäß RVS 09.03.11 [11] aufbaut. Diese Auswertungen basieren auf 447 in Österreich erfassten Tunnelunfällen mit Personenschaden im Zeitraum von 1999 bis 2003⁵⁵. Der Risikoäquivalentwert R berücksichtigt die Risiko-Haupt Einflussfaktoren eines Straßentunnels, die Ereignishäufigkeit und das Schadensausmaß, und bildet einen äquivalenten Jahres-Risiko-Gesamterwartungswert ab.⁵⁶

Die vereinfachte Methode kann für alle Tunnel angewendet werden, die länger als 500 Meter sind. Tunnel kürzer 500 Meter müssen in der Regel nicht gesondert bewertet werden. Wird eine der nachstehend angeführten Bedingungen erfüllt, so sind zur Ermittlung des Risikos vertiefte Untersuchungen in Form einer Tunnel-Risiko-Analyse gem. RVS 09.03.11 [11] erforderlich⁵⁷:

- Tunnellänge $L_{TU} > 7.500$ m
- Richtungsverkehrstunnel mit $JDTV > 60.000$ Kfz/24 h
- Gegenverkehrstunnel mit $JDTV > 40.000$ Kfz/24 h
- Tunnel mit nicht ebenen Tunneloberflächen (Unterzüge)
- Tunnel mit kombinierten Lüftungssystemen
- Tunnelröhren mit durchgehend mehr als zwei Fahrstreifen
- Tunnel mit hoher Stauwahrscheinlichkeit
- Tunnel mit maximaler Längsneigung $\geq 3\%$
- Tunnel mit einer maximalen Branddetektionszeit ≥ 150 s (s. RVS 09.02.22)
- Tunnel mit Querschnittsänderungen

⁵⁵ vgl. [11] RVS 09.03.11 vom 01.06.2008, Seite 3, Kapitel 3.1

⁵⁶ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 24, Kapitel 9

⁵⁷ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 29, Kapitel 9.4

6.2.1.2 Häufigkeitsäquivalent H

„Das Häufigkeitsäquivalent H bildet die erwartete Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden pro Jahr ab und wird nach folgender Formel berechnet“⁵⁸:

$$H = JDTV \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} \cdot L_{TU} \cdot U_R \cdot f_{VK} \cdot f_{TL} \cdot f_{VF} \quad [6.12]$$

mit den Anteilen

JDTV..jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke am gesamten Querschnitt; Prognosewert (Zeitpunkt der Freigabe + 10 Jahre) [Kfz/24h]

L_{TU}Tunnellänge + Portalbereich [km]

U_Rspezifische Unfallrate [UPS/1 Mio. Kfz-km]

UPS...Unfall mit Personenschaden

f_{VK}Korrekturfaktor Verkehrsleistung

f_{TL}Korrekturfaktor Tunnellänge

f_{VF}Korrekturfaktor Verflechtungsstrecke ⁵⁹

Die Formeln und Faktoren beruhen auf den Auswertungen der Ergebnisse der Tunnel-Risikoanalyse gemäß RVS 09.03.11, die wiederum „unter besonderer Berücksichtigung von Unfallauswertungen in österreichischen Straßentunneln“⁶⁰ entwickelt wurde.

Die JDTV in Kfz pro Tag wird mit $(3,65 \cdot 10^{-4})$ multipliziert, was dem Verkehrsaufkommen in Millionen Kfz pro Jahr entspricht. Für die Tunnellänge L_{TU} wird bei doppelröhrigen Tunneln der Mittelwert der beiden Röhrenlängen ermittelt und 50 Meter zur Berücksichtigung des Portalbereichs addiert. Die spezifische Unfallrate U_R ist für Richtungs- und Gegenverkehrstunnel unterschiedlich. Der Basiswert der Unfallrate für Richtungsverkehrstunnel beträgt 0,112, jener für Gegenverkehrstunnel 0,077 Unfälle mit Personenschaden pro Million Kfz-Kilometer. Das bedeutet, dass lt. RVS in Richtungsverkehrstunneln mehr Unfälle mit Personenschaden passieren, als in Gegenverkehrstunneln. Dieses Ergebnis beruht auf den Unfallauswertungen der Neunzigerjahre, nach deren Ergebnissen die RVS entwickelt wurde. Der Basiswert der

⁵⁸ [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 24, Kapitel 9.1

⁵⁹ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 24, Kapitel 9.1

⁶⁰ [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 2, Kapitel 2

Unfallrate ist mit den beiden Korrekturfaktoren für die Verkehrsleistung und für die Tunnellänge anzupassen.

Der Korrekturfaktor für die Verkehrsleistung bei Richtungsverkehrstunneln $f_{VK,RV}$ wird mit folgender Formel berechnet, die im Bereich von 15.000 bis 40.000 Kfz/24h (JDTV) gültig ist. Darunter bzw. darüber sind die Werte für 15.000 bzw. 40.000 Kfz/24h einzusetzen⁶¹:

$$f_{VK,RV} = \frac{7,934 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(JDTV) - 0,6935}{0,112} \quad [6.13]$$

Abb. 11 stellt den Verlauf des Faktors $f_{VK,RV}$ bildlich dar.

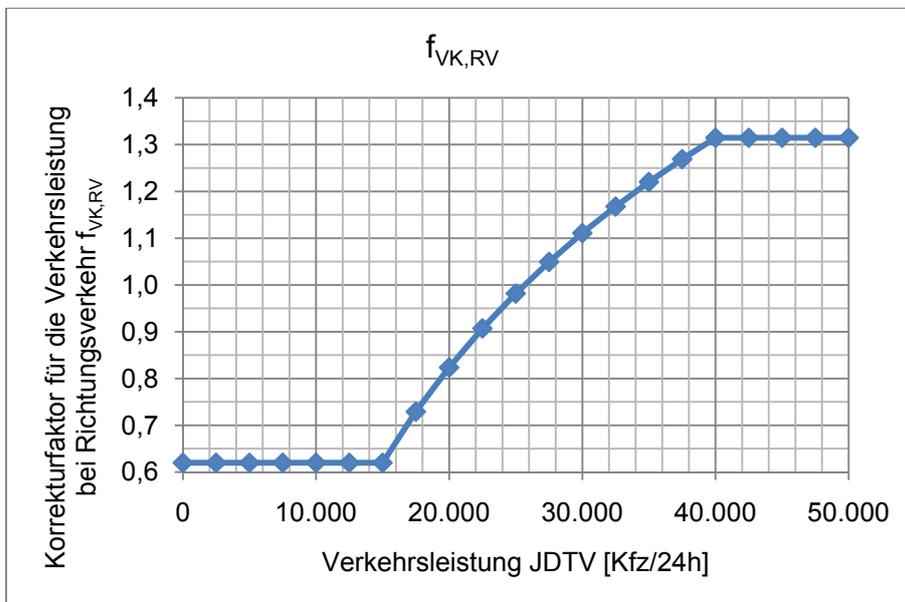


Abb. 11: Verlauf des Korrekturfaktors $f_{VK,RV}$ in Abhängigkeit der Verkehrsleistung JDTV [Kfz/24h]

Der Korrekturfaktor für die Verkehrsleistung bei Richtungsverkehr $f_{VK,RV}$ beträgt bei einer JDTV von etwa 26.000 Kfz/24h 1,0. Der Basiswert der Unfallrate und damit das Häufigkeitsäquivalent H wird demnach sinngemäß bei einem Verkehrsaufkommen < 26.000 Kfz/24h abgemindert bzw. bei einem JDTV > 26.000 Kfz/24h erhöht. Der Faktor $f_{VK,RV}$ kann Werte zwischen mindestens 0,62 und maximal 1,31 annehmen.

⁶¹ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 25, Kapitel 9.1

Folgende Formel zur Berechnung des Korrekturfaktors für die Verkehrsleistung bei Gegenverkehrstunneln $f_{VK,GV}$ ist im Bereich von 10.000 bis 20.000 Kfz/24h gültig. Darunter bzw. darüber sind die Werte für 10.000 bzw. 20.000 Kfz/24h einzusetzen⁶²:

$$f_{VK,GV} = \frac{3,217 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 - 2,209 \cdot 10^{-9} \cdot (JDTV)^2 + 5,021 \cdot 10^{-5} \cdot JDTV - 0,2781}{0,077} \quad [6.14]$$

$$f_{VK,RV} = \frac{7,934 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(JDTV) - 0,6935}{0,112} \quad [6.15]$$

Abb. 12 stellt den Verlauf des Faktors $f_{VK,GV}$ bildlich dar.

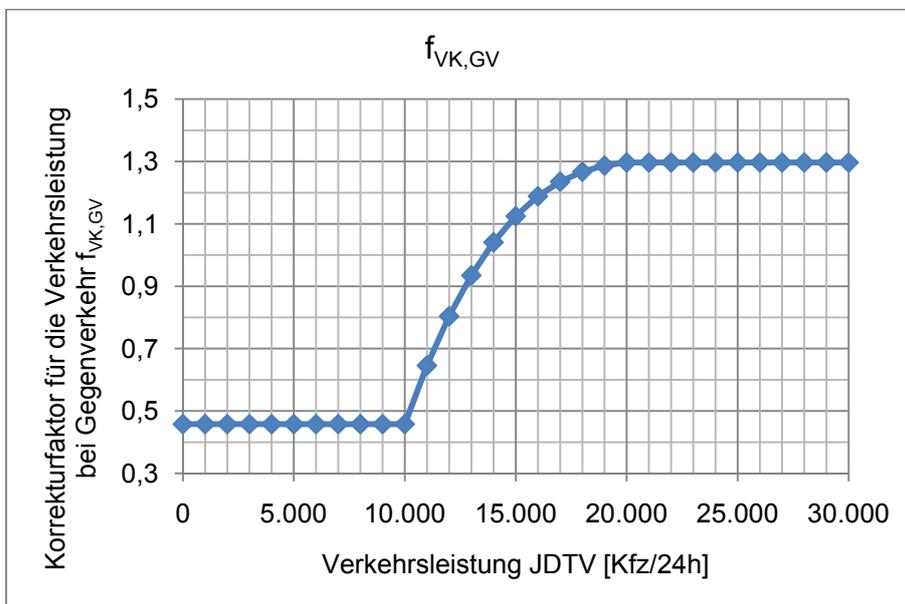


Abb. 12: Verlauf des Korrekturfaktors $f_{VK,GV}$ in Abhängigkeit der Verkehrsleistung JDTV [Kfz/24h]

Der Korrekturfaktor für die Verkehrsleistung bei Gegenverkehr $f_{VK,GV}$ beträgt bei einer JDTV von etwa 13.600 Kfz/24h 1,0; das entspricht fast der Hälfte der Fahrzeuge bei Richtungsverkehr, allerdings ist der Basiswert der Unfallrate bei GV um ca. 30% geringer als jener bei RV. Der Basiswert der Unfallrate bei Gegenverkehr und damit das Häufigkeitsäquivalent H wird demnach bei einem Verkehrsaufkommen < 13.600 Kfz/24h abgemindert bzw. bei > 13.600 Kfz/24h erhöht. Der Faktor $f_{VK,GV}$ kann Werte zwischen mindestens 0,46 und maximal 1,30 annehmen. Mit diesem Faktor ist demnach bei sehr wenig Verkehr eine stärkere Abminderung von H möglich, als bei Rich-

⁶² vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 25, Kapitel 9.1

tungsverkehr. Auffallend ist der abrupte Anstieg der Kurve ab 10.000 Kfz/24h und die dagegen langsame Konvergenz der Funktion gegen den Maximalwert des Faktors von 1,30 ab 20.000 Kfz/24h.

Der Korrekturfaktor für die Tunnellänge f_{TL} gilt nur für Richtungsverkehrstunnel mit Tunnellängen im Bereich von 0,5 bis 3,0 km. Bei Richtungsverkehrstunneln, die länger als drei Kilometer sind, wird $L_{TU} = 3,0$ gesetzt⁶³:

$$f_{TL(RV)} = \frac{0,1081 \cdot (L_{TU})^{-0,3543}}{0,112}$$

[6.16]

Abb. 13 stellt den Verlauf des Faktors $f_{TL(RV)}$ bildlich dar.

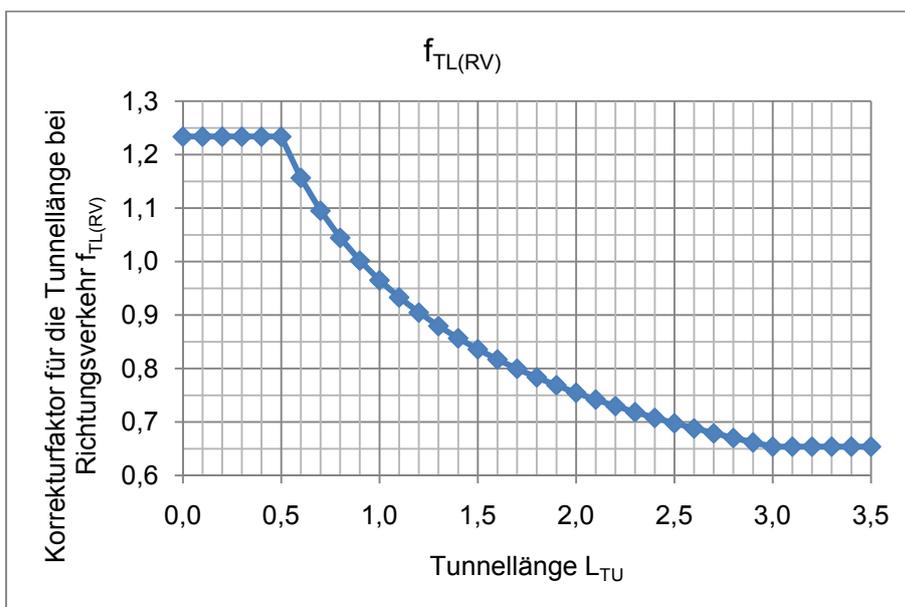


Abb. 13: Verlauf des Korrekturfaktors $f_{TL(RV)}$ in Abhängigkeit der Tunnellänge L_{TU} [km]

Für Gegenverkehrstunnel beträgt der Wert für $f_{TL(GV)}$ gleich 1,0, unabhängig von der Tunnellänge:

$$f_{TL(GV)} = 1,0$$

[6.17]

Der Korrekturfaktor für die Tunnellänge bei Richtungsverkehr $f_{TL(RV)}$ verläuft indirekt proportional zur Tunnellänge, das heißt der Basiswert für die Unfallrate – und damit

⁶³ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 25, Kapitel 9.1

auch das Häufigkeitsäquivalent H – werden bei zunehmender Tunnellänge abgemindert. Das Häufigkeitsäquivalent müsste sinngemäß bei längeren Tunneln steigen, und damit auch der Korrekturfaktor für die Tunnellänge, wie es analog beim Korrekturfaktor für die Verkehrsleistung in Abhängigkeit der JDTV der Fall ist. Nachfrage bei Mitarbeitern der Arbeitsgruppe und des Arbeitsausschuss dieser RVS ergab, dass die Formel unter Berücksichtigung der häufig erfassten Unfälle mit Personenschaden im Portalbereich von Richtungsverkehrstunneln entstand.

Der Korrekturfaktor für Verflechtungsstrecken f_{VF} berücksichtigt diese, indem die Unfallrate auf Verflechtungsstrecken (inklusive deren Einflussbereich) um den Faktor 2 erhöht wird. Der Einflussbereich ist jene Wegstrecke im Tunnel- und im Portalbereich, die bei der höchstzulässigen Geschwindigkeit in zehn Sekunden zurückgelegt werden kann. Eine Verflechtungsstrecke inkl. Einflussbereich L_V wird mit einer maximalen Länge von 200 Metern berücksichtigt. Die Faktoren f_{VF} werden für Richtungs- und Gegenverkehrstunnel jeweils unterschiedlich ermittelt:

$$f_{VF(GV)} = \frac{(L_{TU} - \sum L_V) + 2 \cdot \sum L_V}{L_{TU}} \quad [6.18]$$

$$f_{VF(RV)} = \frac{(2 \cdot L_{TU} - \sum L_V) + 2 \cdot \sum L_V}{2 \cdot L_{TU}} \quad [6.19]$$

mit den Anteilen

L_{TU} Tunnellänge + Portalbereich [km] einer Tunnelröhre

L_V Verflechtungsstrecke inkl. Einflussbereich [km] ⁶⁴

Beim und Vergleich der beiden Gleichungen [6.17] und [6.18] fällt auf, dass für die Tunnellänge L_{TU} (bei Richtungsverkehr) die jeweils einzelne Länge einer Tunnelröhre (inkl. 50 Meter Portalbereich) einzusetzen ist, was im ersten Augenblick verwirrend erscheint. Im Gegensatz dazu ist nämlich die Tunnellänge L_{TU} für die Berechnung des Häufigkeitsäquivalents H in Gleichung [6.12] bei Richtungsverkehrstunneln mit dem Mittelwert beider Röhrenlängen (inkl. je 50 Meter Portalbereich) definiert.

⁶⁴ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 24, Kapitel 9.1

Schadensausmaßäquivalent S

Das Schadensausmaßäquivalent S gibt das spezifische Risiko in einem Tunnel an und repräsentiert die statistisch zu erwartenden Toten pro Million Kfz-Kilometer und Jahr. Es wurde für definierte Tunnelklassen auf Basis von Tunnel-Risikoanalyse-Ergebnissen festgelegt und wird abhängig

- vom Tunnelsystem (RV oder GV),
- vom Lüftungssystem (keine, Längs- oder Querlüftung),
- von der Verkehrsbelastung,
- vom Notausgangsabstand (bei Gegenverkehrs-Tunneln) und von
- der Stauhäufigkeit⁶⁵

in Form von Tabellen in der RVS 09.02.31 angegeben.⁶⁶

Im Folgenden sind diese Tabellen angeführt (Tab. 5 bis Tab. 7):

Tab. 5: Schadensausmaßäquivalent für Richtungsverkehrstunnel, Quelle: RVS 09.02.31 [10], S. 26, Kap. 9.2, Tab. 3

Längenbereich	Lüftung	Schadensausmaßäquivalent S_{RV}	
		geringe Stauhäufigkeit	mittlere Stauhäufigkeit
0,5 – 0,7 km	keine mechanische Lüftung	0,13407	0,13420
0,5 – 1,0 km	Längslüftung	0,09547	0,09580
1,0 – 2,0 km	Längslüftung	0,09570	0,09649
2,0 – 3,0 km	Längslüftung	0,09582	0,09684
> 3,0 km	Querlüftung	0,09539	0,09557

⁶⁵ Richtwert für geringe Stauhäufigkeit: ≤ 25 h/Jahr, mittlere Stauhäufigkeit: 25-75 h/Jahr, hohe Stauhäufigkeit: > 75 h/Jahr; vgl. RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 6, Kapitel 4.1.1

⁶⁶ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 26, Kapitel 9.2

Tab. 6: Schadensausmaßäquivalent für Gegenverkehrstunnel bei geringer Stauhäufigkeit, Quelle: RVS 09.02.31 [10], S. 27, Kap. 9.2, Tab. 4

Längenbereich	Lüftung	Schadensausmaßäquivalent $S_{GV,GS}$					
		JDTV < 10.000 Kfz/24h			JDTV > 10.000 Kfz/24h		
		ohne NA	NA alle 500m	NA alle 250m	ohne NA	NA alle 500m	NA alle 250m
0,5 – 0,7 km	keine mechanische Lüftung	0,30491	0,28700	0,26910	0,33094	0,31304	0,29513
0,5 – 1,5 km	Längslüftung	0,32711	0,29199	0,25687	0,38950	0,34075	0,29186
1,5 – 3,0 km	Längslüftung mit Punktabsaugung	0,33847	0,30047	0,26272	0,37692	0,32806	0,28004
> 3,0 km	Querlüftung	0,24372	0,23926	0,23482	0,27834	0,26106	0,24355

Tab. 7: Schadensausmaßäquivalent für Gegenverkehrstunnel bei mittlerer Stauhäufigkeit, Quelle: RVS 09.02.31 [10], S. 27, Kap. 9.2, Tab. 5

Längenbereich	Lüftung	Schadensausmaßäquivalent $S_{GV,GS}$					
		JDTV < 10.000 Kfz/24h			JDTV > 10.000 Kfz/24h		
		ohne NA	NA alle 500m	NA alle 250m	ohne NA	NA alle 500m	NA alle 250m
0,5 – 0,7 km	keine mechanische Lüftung	0,30517	0,28720	0,26930	0,33114	0,31323	0,29533
0,5 – 1,5 km	Längslüftung	0,32798	0,29255	0,25712	0,39037	0,34131	0,29211
1,5 – 3,0 km	Längslüftung mit Punktabsaugung	0,33926	0,30098	0,26294	0,37771	0,32857	0,28027
> 3,0 km	Querlüftung	0,24386	0,23933	0,23487	0,27849	0,26114	0,24360

Das Schadensausmaßäquivalent ist bei Gegenverkehrstunneln etwa um das Dreifache größer als bei Richtungsverkehrstunneln. Die Stauhäufigkeit macht generell kaum einen Unterschied; der Ausbau mit Querlüftung hat bei Richtungsverkehrstunneln kaum Auswirkungen auf das Schadensausmaß, bei Gegenverkehrstunneln hingegen sinkt das Schadensausmaßäquivalent merkbar. Auch die Abstände der Notausgänge bei Gegenverkehrstunneln beeinflussen S.

6.2.1.3 Risikoäquivalent R und Gefährdungsklassen

„Der Risikoäquivalentwert R errechnet sich durch Multiplikation des Häufigkeitsäquivalents H mit dem Schadensausmaßäquivalent S“⁶⁷:

$$R = H \cdot S \quad [6.20]$$

Der Wert repräsentiert den Risikoerwartungswert, also jene statistisch erwartbaren Toten eines untersuchten Tunnels in einem Jahr. Anhand seines Risikoäquivalents wird ein Tunnel einer bestimmten Gefährdungsklasse zugeordnet⁶⁸:

Tab. 8: Gefährdungsklassen nach Risikoäquivalentwert R gem. RVS 09.02.31 [10]

Risikoäquivalent R	Gefährdungsklasse
< 0,02	I
0,02 – 0,1	II
0,1 – 0,5	III
> 0,5	IV

„Die vereinfachte Methode kann nur für Tunnel mit geringer oder mittlerer Stauhäufigkeit angewendet werden; Tunnel mit hoher Stauhäufigkeit erfordern eine vertiefte Untersuchung.“⁶⁹

⁶⁷ [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 28, Kapitel 9.3

⁶⁸ vgl. [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 28, Kapitel 9.3

⁶⁹ [10] RVS 09.02.31 vom 04.12.2008, Seite 26, Kapitel 9.2

6.2.2 Ermittlung der Gefährdungsklasse nach RVS 09.03.11 „Tunnel-Risikoanalysemodell“

Das Tunnel-Risikoanalysemodell nach RVS 09.03.11 [11] ist ebenfalls eine Methode zur Ermittlung des Risikoäquivalentwerts und der Gefährdungsklasse und kann alternativ zur vereinfachten Methode gemäß RVS 09.02.31 [10] angewendet werden.⁷⁰

Das Analysemodell wurde unter besonderer Berücksichtigung von Unfallauswertungen in österreichischen Straßentunneln entwickelt und bietet die Möglichkeit, nahezu alle für die Tunnelsicherheit maßgebenden Einflussfaktoren quantitativ zu berücksichtigen.⁷¹

Die Methode kann auf jene definierten Tunneltypen angewendet werden, die im Rahmen der Schadensausmaßanalyse untersucht wurden. Im Allgemeinen haben diese Tunnel einen Querschnitt mit zwei Fahrstreifen, ebene Tunneloberflächen (d.h. keine Unterzüge), keine kombinierten Lüftungssysteme und eine maximale Brand-Detektionszeit von 150 Sekunden. Weichen diese Grundlagen ab, so ist das mögliche Schadensausmaß qualitativ zu überprüfen und im Falle relevanter Auswirkungen ergänzende Simulationen durchzuführen. Spezifische Gefahrgutrisiken erfordern den Einsatz anderer Methoden, da diese nur in genereller Form im Modell erfasst sind.⁷²

Bei der Tunnel-Risikoanalyse nach RVS 09.03.11 [11] handelt es sich um eine szenarienbezogene Analysemethode, bei der ein oder mehrere repräsentative Szenarien definiert und untersucht werden. Diese ablaufbezogene Methode wird z.B. für qualitative Analysen komplexer Wirkungszusammenhänge eingesetzt oder auch zur Optimierung der Sicherheitsplanung in Bezug auf Schadensereignisse (Selbstrettung, Alarm, Rettungseinsätze, ...).⁷³

⁷⁰ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 2, Kapitel 1

⁷¹ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 2, Kapitel 2

⁷² vgl. [10] RVS 09.02.31, Seite 29, Kapitel 9.4 und [11] RVS 09.03.11, Seite 2, Kapitel 2

⁷³ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 3, Kapitel 2.1.2

6.2.2.1 Darstellung der Methodik

Das Analysemodell ermittelt einen statistischen Erwartungswert für das Risiko der Tunnelnutzer, bezogen auf ein Tunnelbauwerk; es werden also ausschließlich Szenarien mit Personenschaden untersucht. Dabei können die Risikoanteile infolge mechanischer Schäden, Brandeinwirkung und Gefahrengutwirkung getrennt dargestellt werden.

Die im Modell verwendeten Kenndaten basieren auf einer Auswertung von 447 Unfällen mit Personenschaden in österreichischen Autobahn- und Schnellstraßentunneln von 1999 bis 2003.

Die Basisstruktur dieser Methodik besteht aus zwei Kernelementen, der quantitativen Häufigkeitsanalyse (Ereignisbaumanalyse) und der quantitativen Unfallfolgenanalyse (Schadensausmaßanalyse).⁷⁴

6.2.2.2 Häufigkeitsanalyse (Ereignisbaumanalyse)

Die Ereignisbaumanalyse berechnet die Häufigkeit eines Sets definierter Schadensszenarien. Ausgehend von einem Initialereignis, für das die Häufigkeit bekannt ist, wurden die möglichen Ereigniswege entwickelt, die zu unterschiedlichen Schadensszenarien führen. Allgemeine Einflussfaktoren auf die Häufigkeit einzelner Schadensszenarien werden in Form von Veränderungen der relativen Häufigkeit an den Verzweigungen des Baumes im Modell berücksichtigt.

Umsetzung

Das Ergebnis dieser Entwicklung und Kernelement der Methodik ist ein standardisierter Ereignisbaum, in den zur Analyse des zu untersuchenden Tunnels die maßgeblichen Kennwerte für die Häufigkeiten der Initialereignisse, für die relativen Häufigkeiten der Verzweigungen des Baumes (Buchstabencode) und für das Schadensausmaß der einzelnen Schadensszenarien einzusetzen sind.⁷⁵

⁷⁴ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 3, Kapitel 3

⁷⁵ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 4, Kapitel 3.1.1

6.2.2.3 Unfallfolgeanalyse (Schadensausmaßanalyse)

Mit Hilfe der Schadensausmaßanalyse werden die Unfallfolgen für die jeweiligen Szenarien abgeschätzt. Das Ausmaß von Unfällen mit mechanischer Schadenswirkung wird auf Basis der Auswertung von Unfalldaten mit Personenschäden abgeschätzt. Bei Unfällen mit Brand erfolgt die Schätzung der Unfallfolgen mit Hilfe eines eindimensionalen Lüftungsmodells, das Temperaturverteilung und Schadstoffkonzentrationen im Tunnel berechnet. Dieses wird mit einem Evakuierungssimulationsmodell überlagert, das die Fluchtbewegungen der Tunnelnutzer im Zuge ihrer Selbstrettung simuliert. Dabei werden Fahrzeugkonstellation und Infrastrukturgegebenheiten berücksichtigt und jene Einflussfaktoren abgebildet, die einen Einfluss auf die Ereignisabwicklung ab Brandbeginn haben. Die Beteiligung mit Gefahrgut wird mit einem grob vereinfachten Ansatz im Modell berücksichtigt.

Die quantitative Tunnel-Risikoanalyse ist modular aufgebaut und eignet sich daher nicht nur zur objektiven Sicherheitsbewertung von Tunneln, sondern auch zu deren Optimierung.

Umsetzung

In RVS 09.03.11 sind die Erwartungswerte für jedes Schadensausmaß in statistisch erwartbaren Toten pro Ereignis, in Abhängigkeit der Haupteinflussfaktoren, angegeben. Diese Werte für mechanische Unfälle basieren auf der Auswertung von 447 Tunnelunfällen im Zeitraum von 1999 bis 2003 und können gegebenenfalls auf Basis einer erweiterten Datengrundlage modifiziert werden. Die angegebenen Werte für das Schadensausmaß bei Bränden basieren auf Modellberechnungen.⁷⁶

Risiko = Häufigkeit · Schadensausmaß

[6.21]

⁷⁶ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 4, Kapitel 3.1.1

6.2.2.4 Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Tunnel-Risikoanalyse werden grundsätzlich durch den relativen Vergleich untereinander bewertet; es werden also keine absoluten Risikokennwerte als Grenzwerte definiert, die unterschritten werden müssen. Ein Tunnel ist dann als ausreichend sicher anzusehen, wenn er unter Berücksichtigung von spezifischen Kennwerten (Verkehrsbelastung, LKW-Anteil, ...) einen spezifischen Standard aufweist, der den Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln gemäß Straßentunnelsicherheitsgesetz (STSG) entspricht.

Der ermittelte Risikoerwartungswert des zu untersuchenden Tunnels wird mit dem eines vergleichbaren Referenztunnels, der gerade die Mindestanforderungen an die Tunnelsicherheit gemäß STSG erfüllt, gegenübergestellt. Bei Unterschreitung des Mindestsicherheitsniveaus sind zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, deren Wirkungsmechanismen in einer neuerlichen Analyse berücksichtigt werden.

Damit ist es möglich, die Wirksamkeit von zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen quantitativ abzuschätzen und das Erreichen des Mindestsicherheitsstandards bzw. den Ausgleich von Risiko-erhöhenden Einflüssen nachzuweisen. Außerdem ist der Vergleich verschiedener Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bezüglich Risikominderung möglich.

Dies bietet die Grundlage für umfassende Bewertungen von Sicherheitsmaßnahmen, wie z.B. deren Kostenwirksamkeitsuntersuchung.⁷⁷

⁷⁷ vgl. [11] RVS 09.03.11, Seite 5-6, Kapitel 5

6.3. Zusammenfassende Anmerkungen

Laut dem Amtsblatt der Europäischen Union [2] stellen „nur“ längere Tunnel als 500 Meter wichtige bauliche Einrichtungen dar, die für die wirtschaftliche Entwicklung eine entscheidende Rolle spielen. In den aktuellen Richtlinien werden Tunnel unter einer **Länge von 500 Meter** nicht behandelt. Sie bedürfen keiner Untersuchung und/oder besonderen Ausstattung in Hinblick auf ihre Sicherheit.⁷⁸

Die in RVS 09.02.22 [8]+[9] je nach Gefährdungsklasse vorgeschriebenen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen dienen hauptsächlich der Schadensminderung, Hilfeleistung zur Selbstrettung bzw. zur Unterstützung der Rettung von verunglückten Personen im Tunnel. Es wird dabei relativ wenig Wert auf **präventive Maßnahmen** gelegt, die Zwischenfälle erst gar nicht zu Stande kommen lassen. Von den zehn übergeordneten Einrichtungsgruppen wirken lediglich die Verkehrslenkung, die Tunnelbeleuchtung und eventuelle Steuerungssysteme mit den damit verbundenen Energieversorgungsanlagen präventiv gegen Unfälle. Hinsichtlich der vorgeschriebenen Einrichtungen in Hinblick auf vermehrt präventive Maßnahmen gibt es im Begutachtungsentwurf der überarbeiteten RVS 09.02.22 vom 08.04.2010 [9] keine Fortschritte oder Veränderungen.

Der überarbeitete Begutachtungsentwurf der RVS 09.02.22 vom 08.04.2010 [9] sieht im Vergleich zur RVS 09.02.22 vom 04.07.2002 [8] wesentliche Veränderungen in der Methode zur Ermittlung der Gefährdungsklassifizierung vor. Die **veraltete Richtlinie 09.02.22 vom 4. Juli 2002** [8] schreibt die Ermittlung der Gefährdungsklasse mit Gewichtungsfaktoren vor, die im Allgemeinen qualitativ im Verhältnis zueinander plausibel gewählt sind, quantitativ aber, wie der Name sagt, Gewichtungen sind und auf keiner Auswertung von erfassten Unfalldaten oder ähnlichem basieren (vgl. Kapitel 6.1.1). Die Ermittlung der Betriebskomponente zur Überprüfung auf Plausibilität basiert auf Gewichtungsfaktoren, deren Größen qualitativ zueinander nicht plausibel erscheinen (Kapitel 6.1.3). Demnach ist eine Überwachungszentrale mit dem Faktor 2,0 besonders wirkungsvoll für die Sicherheit in einem Tunnel, eine automatische

⁷⁸ vgl. [2] Amtsblatt der EU, Absatz (3) bzw. Artikel 1, Absatz (2) sowie [10] RVS 09.02.31, Seite 29, Kapitel 9.4

Gefahrgutererkennung sowie eine automatische Brandmeldeanlage im Tunnelfahr-
raum bieten mit dem Faktor 1,0 im Vergleich zu den anderen Einrichtungen, wie Vi-
deoübertragung, automatische Stauererkennung, Schwelbranderkennung oder Tunnel-
funk (Faktor 0,5), höhere Sicherheit. Präventive Maßnahmen, wie z.B. die automati-
sche Stau-, Gefahrgut- und Schwelbranderkennung und die damit verbunden er-
forderliche Handlungskette (Informationsübertragung) zur Verhinderung von Unfäl-
len, sollten als am wirkungsvollsten für die Sicherheit im Tunnel angesehen und be-
wertet werden.

Der überarbeitete **Begutachtungsentwurf der RVS 09.02.22 vom 08.04.2010** [9]
verweist u.a. auf die in RVS 09.02.31 [10] beschriebene vereinfachte Methode zur
Gefährdungsklassen-Ermittlung, bei der Faktoren in die Berechnung eingehen, die
auf Auswertungen erfasster Tunnel-Unfalldaten basieren; dennoch werden präventi-
ve Maßnahmen mit dem Ziel, Unfälle zu verhindern, nach wie vor zu gering bewertet
oder nicht berücksichtigt.

Die **vereinfachte Methode zur Risikobewertung** (Kapitel 6.2.1) ist derzeit die ein-
fachste und die am häufigsten angewendete Methode zur Ermittlung des Risikoäqui-
valentwerts R bzw. des Risikoerwartungswerts, wie er meist genannt wird. Die For-
mel zur Berechnung des Häufigkeitsäquivalents H gemäß **RVS 09.02.31 vom**
04.12.2008 [10] beinhaltet eine spezifische Unfallrate U_R , die mit der Anzahl der er-
fassten Unfälle mit Personenschaden pro Million Kfz-km definiert ist. Das Häufig-
keitsäquivalent H wird mit dem Schadenausmaßäquivalent multipliziert, das die sta-
tistisch zu erwartenden Toten pro Million Kfz-Kilometer und Jahr repräsentiert. Da-
raus ergibt sich der Risikoerwartungswert der die statistisch erwartbaren Toten eines
untersuchten Tunnels pro Jahr angibt. Die Berechnungen beruhen also teilweise auf
Auswertungen von Unfällen mit Personenschaden und resultieren in einem Risikoer-
wartungswert, der sich lediglich auf die Todesfälle pro Jahr bezieht, unabhängig von
der Gesamtzahl der Unfälle und teilweise auch unabhängig von der Anzahl der Ver-
letzten.

Die ASFinAG hat die Gefährdungsklassen für einige österreichische Tunnel ermittelt
(siehe Tab. 9

Tab. 9). Die Ermittlung der Risikowerte erfolgte entweder nach der vereinfachten Methode gemäß RVS 09.02.31 [10] oder nach der Methode des Tunnel-Risikoanalysemodells gemäß RVS 09.03.11 [11].

Tab. 9: Risikoerwartungswerte R und Gefährdungsklassen GK österreichischer Tunnel nach der vereinfachten Methode der Risikobewertung gemäß RVS 09.02.31 [10], Quelle: ASFinAG

Tunnel	R	GK
Amberg	0,2493	III
Arlberg*	0,3042	III
Bergisel	0,1327	III
Bindermichl**	0,3091	III
Bosruck	0,6144	IV
Brentenberg	0,2221	III
Citytunnel Bregenz	0,1808	III
Dalaas	0,1280	III
Donnersberg	0,1213	III
Ehrentalerberg	0,2427	III
Falkenberg	0,1182	III
Falkenstein	0,0806	II
Flirsch	0,0842	II
Gleinalm*	0,6121	IV
Gräbern	0,0725	II
Gratkorn Nord	0,1957	III
Gratkorn Süd	0,2224	III
Helbersberg	0,1880	III
Herzogberg	0,0993	II
Hiefler	0,3254	III
Hungerbichl	0,0414	II
Kaisermühlen**	0,5700	IV
Kalcherkogel	0,0963	II
Karawanken Nord*	0,2326	III
Katschberg	0,1868	III
Kienberg	0,0535	II
Klaus	0,2431	III
Kollmann	0,1024	III
Kremsursprung	0,0474	II
Kreuzergegend	0,0962	II
Kroislerwand	0,1112	III

Tunnel	R	GK
Lainberg	0,0973	II
Landeck	0,1220	III
Langen	0,0872	II
Lendorf	0,0975	II
Liefering**	0,3153	III
Mils	0,0851	II
Mitterberg	0,0689	II
Niedernhart**	0,2458	III
Noitzmühle	0,0641	II
Ofenauer	0,2572	III
Oswaldiberg	0,2222	III
Ottsdorf	0,0752	II
Perjen	0,2142	III
Pfänder	1,6135	IV
Pians	0,0717	II
Plabutsch*	0,9369	IV
Quadratsch	0,0717	II
Roppen	0,6089	IV
Schartnerkogel	0,1281	III
Selzthal	0,1000	II
Spering	0,3141	III
St. Niklas	0,0191	I
Steinhaus Taxlberg	0,0762	II
Strengen	0,1057	III
Tauern	0,2742	III
Trebesing	0,0627	II
Wald	0,1215	III
Wartberg I	0,0536	II
Wilten	0,1860	III
Wolfsberg	0,2596	III
Zetzenberg	0,2180	III

* dieser Tunnel ist länger als 7.500 m und bedarf lt. RVS 09.02.31 [10] einer umfangreicheren Untersuchung mittels Tunnel-Risikoanalyse.

** dieser Tunnel hat sehr hohes Verkehrsaufkommen und bedarf lt. RVS 09.02.31 [10] einer umfangreicheren Untersuchung mittels Tunnel-Risikoanalyse.

Die Methode des **Tunnel-Risikoanalysemodells** gemäß RVS 09.03.11 vom 01.06.2008 [11] ist komplexer, aufwendiger und genauer als die vereinfachte Methode zur Ermittlung des Risikoäquivalentwerts R. Sie basiert, wie auch die vereinfachte Methode zur Risikobewertung, auf 447 Tunnelunfällen mit Personenschaden im Zeitraum von 1999 bis 2003.

Die ILF ZT GmbH hat von einigen Tunneln in Österreich Tunnel-Risikoanalysemodelle erstellt und deren Risikoerwartungswerte berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 10 zusammengefasst. Der Arlberg-Tunnel ist nach dem Ergebnis des Tunnel-Risikomodells mit einem Risikoerwartungswert von 0,2866 sicherer, als es die Berechnung der vereinfachten Methode ergeben würde. Dort beträgt der Risikoerwartungswert 0,3042 (vgl. Tab. 9).

Tab. 10: Risikoerwartungswerte R und Gefährdungsklassen GK österreichischer Tunnel nach der Methode des Tunnel-Risikomodells gemäß RVS 09.03.11 [11], Quelle: ILF ZT GmbH

Tunnel	R	GK
Arlberg	0,2866	III
Bindermichl	0,4694	III
Bosruck	0,1672	III
Freinberg	0,2984	III
Gleinalm	1,8120	IV
Götschka	0,3337	III
Karawanken	0,3626	III
Manzenreith	0,0612	II
Neumarkt	0,1634	III
Niedernhart	0,2397	III
Pöstlingberg	0,1011	III
St. Georgen	0,0642	II
Unzmarkt	0,0670	II
Walchshof	0,0661	II
Wolfsberg	0,0842	II
Wöll	0,0674	II

7. AUSWERTUNG DER UNFALL-DATENBANK

Seit Jänner 2006 führt die ASFinAG eine Unfalldatenbank über sämtliche Zwischenfälle in österreichischen Tunneln. Mittlerweile sind 1.735 Einträge über Vorkommnisse in oder unmittelbar vor Tunneln (Vorportalbereich) mit sämtlichen Informationen, wie Zeit, Ort, Unfalltyp, beteiligte Fahrzeugtypen (LKW, PKW, Motorrad), Verkehrsführung sowie Personen- und Sachschäden (Verletzte, Tote, Brand) vorhanden. Die Auswertungen in diesem Abschnitt basieren auf den Unfallstatistik-Daten der ASFinAG mit Letztstand 1. August 2010.

7.1. Unfälle, Verletzte und Tote

Von Jänner 2006 bis Juli 2010 wurden von der ASFinAG 1.735 Zwischenfälle in Österreichs Straßentunneln erfasst. Insgesamt kamen in diesem Zeitraum 28 Menschen ums Leben, 598 Personen wurden verletzt. Abb. 14 veranschaulicht die jährliche Entwicklung der Anzahl von Unfällen, Verletzten und Toten im Vergleich von 2006 bis 2010. Dabei wurden die Werte für 2010 bis Ende des Jahres hochgerechnet.

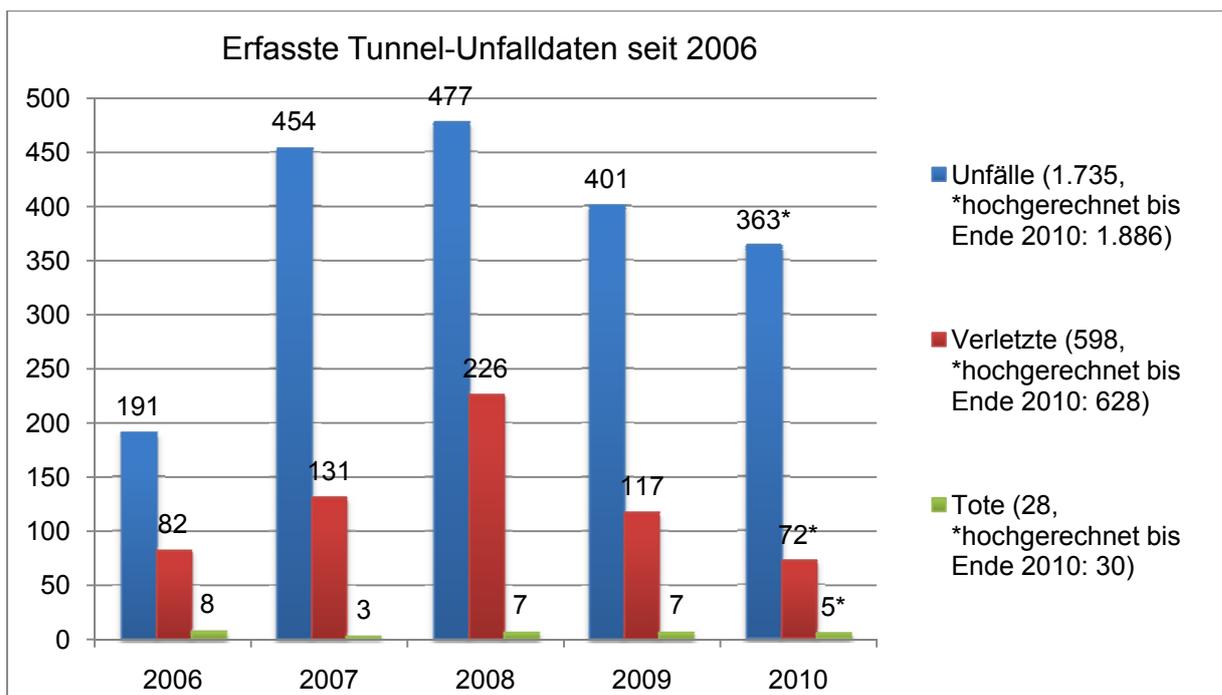


Abb. 14: Erfasste Tunnel-Unfalldaten seit August 2006; Quelle: ASFinAG, Stand: 1. August 2010

Abb. 14 lässt deutlich erkennen, dass sich der Jahresverlauf der Verletzten qualitativ wie jener der Unfallzahlen verhält. Hingegen ist kein Zusammenhang der Unfallzahlen oder der Anzahl der Verletzten mit den Todesfällen zu erkennen. Des Weiteren ist auffallend, dass die Werte im Jahr 2006 besonders niedrig waren. Mögliche Erklärung wäre, dass die neue Aufgabe der Tunnelwarte, jeden Unfall detailliert aufzunehmen und zu dokumentieren einer Eingewöhnungsphase bedurfte. Nachfrage bei der ASFinAG ergab allerdings die Bestätigung, die Aufzeichnungen wären vollständig und korrekt. Die Frage an die ASFinAG, ob es für das sehr positive Ergebnis von 2006, die anschließende Verschlechterung bis 2008 und die positive Entwicklung seitdem eine plausible Erklärung gibt, wurde verneint.

7.2. Schadensfolgen

7.2.1 Sach- und Personenschäden

Da der Verletzungsgrad der in einen Unfall verwickelten Personen stark variieren kann und die Entscheidung über Leben und Tod bei Verkehrsunfällen oft vom Schicksal bestimmt wird, werden Unfälle, bei denen Personen verletzt oder getötet wurden, im Folgenden unter „Unfälle mit Personenschaden“ zusammen gefasst.

70 Prozent der seit Anfang 2006 erfassten Unfälle verursachten einen reinen Sachschaden, bei 22 Prozent kamen Personen zu Schaden, 8 Prozent gingen ohne Schadensfolgen oder mit sonstigen Schäden aus (siehe Abb. 15).

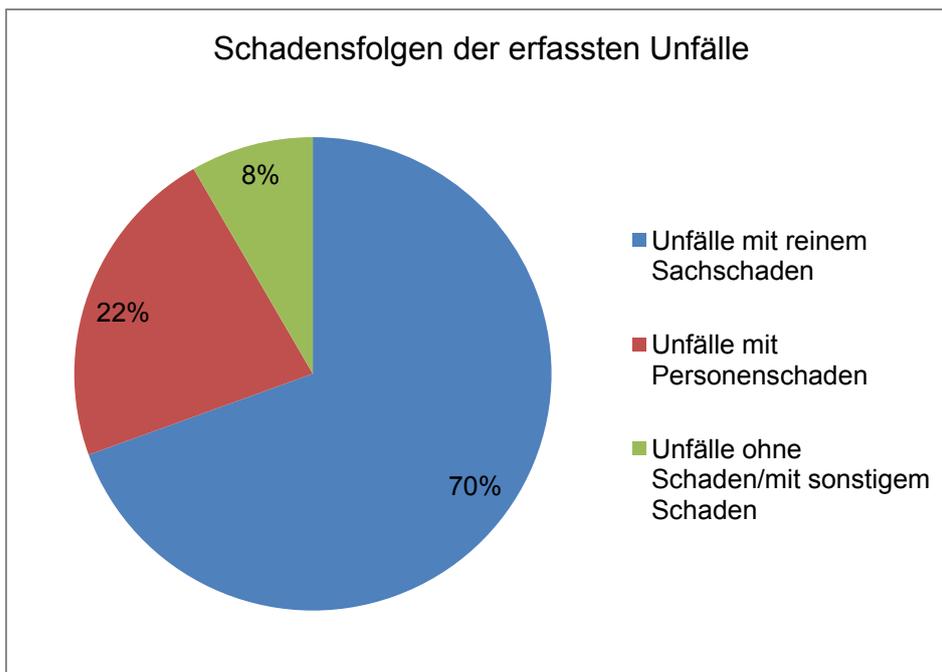


Abb. 15: Schadensfolgen der von Jänner 2006 bis Juli 2010 erfassten 1.735 Tunnel-Unfälle in Österreich; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

7.2.2 Brand

Im Erfassungszeitraum von Jänner 2006 bis Juli 2010 kam es bei insgesamt 54 der 1.735 Zwischenfälle zu Brandentwicklungen in österreichischen Schnellstraßen- und Autobahntunneln. Die meisten Brandfälle gab es im Tauerntunnel, allerdings gingen diese ohne Personenschaden aus. Der Anteil der Unfälle, bei denen es zu Bränden kommt, ist mit knapp über drei Prozent verhältnismäßig gering. Im Erfassungszeitraum kam eine Person bei einem Brand im Plabutschunnel ums Leben, drei Personen wurden bei je einem Brand im Tunnel Bindermichl und im Tunnel Vösendorf verletzt. Bei insgesamt 378 Unfällen mit Personenschaden kamen bei weniger als einem Prozent dieser Unfälle Personen bei Bränden zu Schaden.

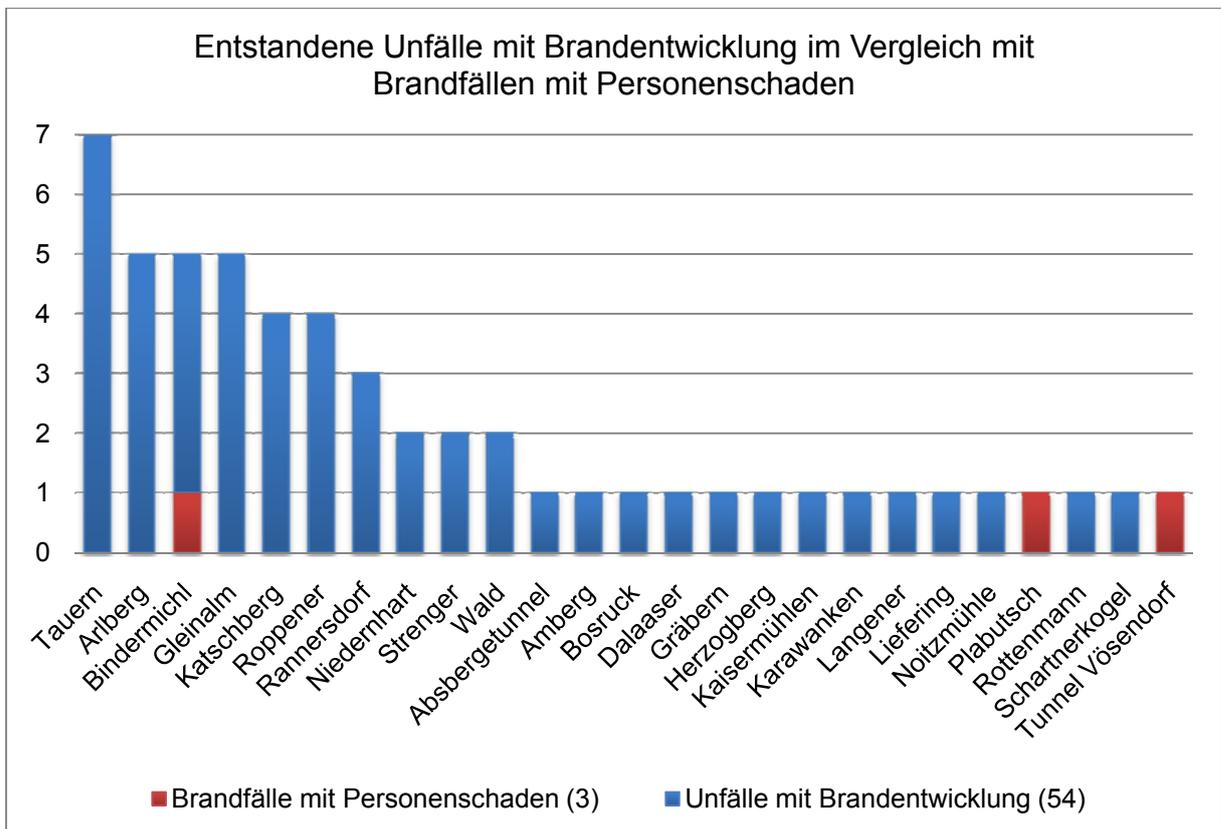


Abb. 16: Tunnel gereiht nach entstandenen Unfällen mit Brandentwicklung mit/ohne Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

7.3. Unfälle und deren Auswirkungen bezogen auf die Tunnellänge

Achtzig aller von der ASFinAG betriebenen AS-Tunnel sind länger als 500 Meter, das entspricht 55%. Insgesamt passieren dort 91% aller Unfälle.

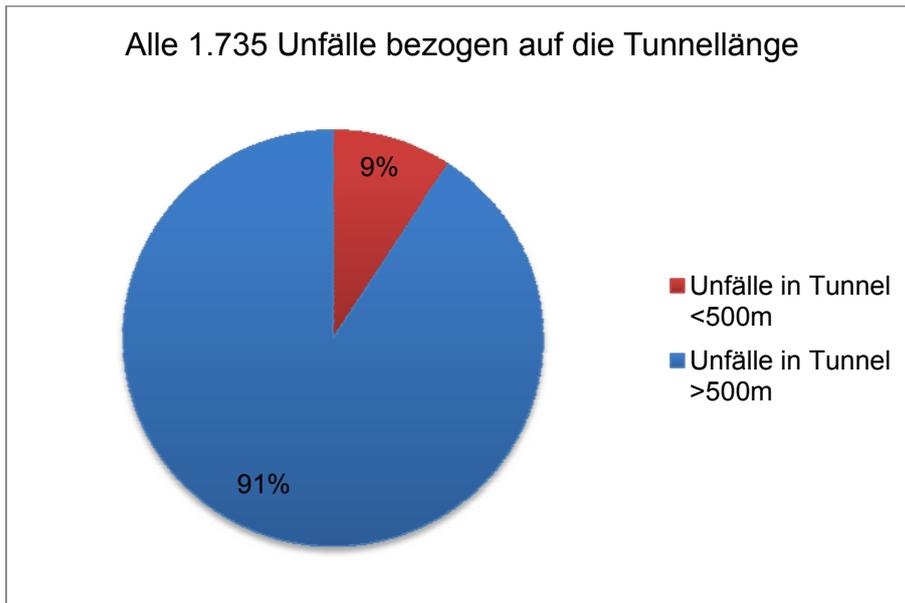


Abb. 17: Schadensfolgen der von Jänner 06 bis Juli 10 erfassten Tunnel-Unfälle, bezogen auf die Tunnellänge (kleiner bzw. größergleich 500m); Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

Der Vergleich der Schadensfolgen in Bezug auf die Tunnellängen, d.h. die Gegenüberstellung der Schadensfolgen aller Unfälle in Tunneln mit einer Länge von weniger als 500 Metern mit jenen in Tunneln länger als 500 Meter zeigt, dass die Schadensfolgen von Unfällen in kürzeren Tunneln gravierender sind (vgl. Abb. 18 und Abb. 19). Insgesamt passieren zwar wesentlich weniger Unfälle in kürzeren Tunneln, etwa ein Zehntel, aber mehr davon gehen mit Personenschaden aus. Bei mehr als einem Viertel aller Unfälle in kürzeren Tunneln kommen Personen zu Schaden, bei längeren Tunneln ist dies bei etwa einem Fünftel der Fall.

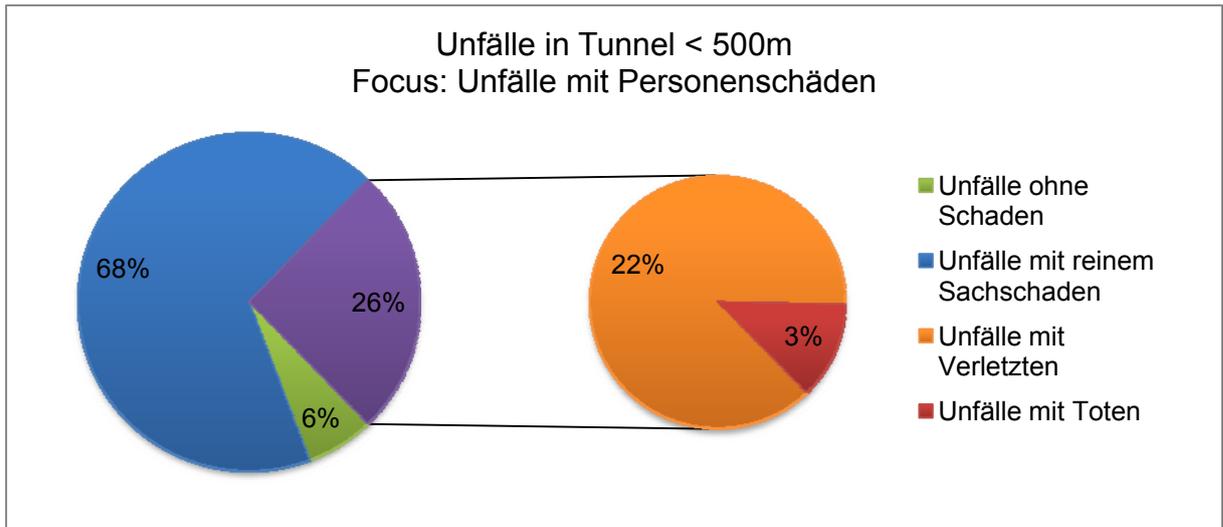


Abb. 18: Schadensfolgen der erfassten Unfälle in Tunneln < 500 Meter mit Schwerpunkt auf jene mit Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

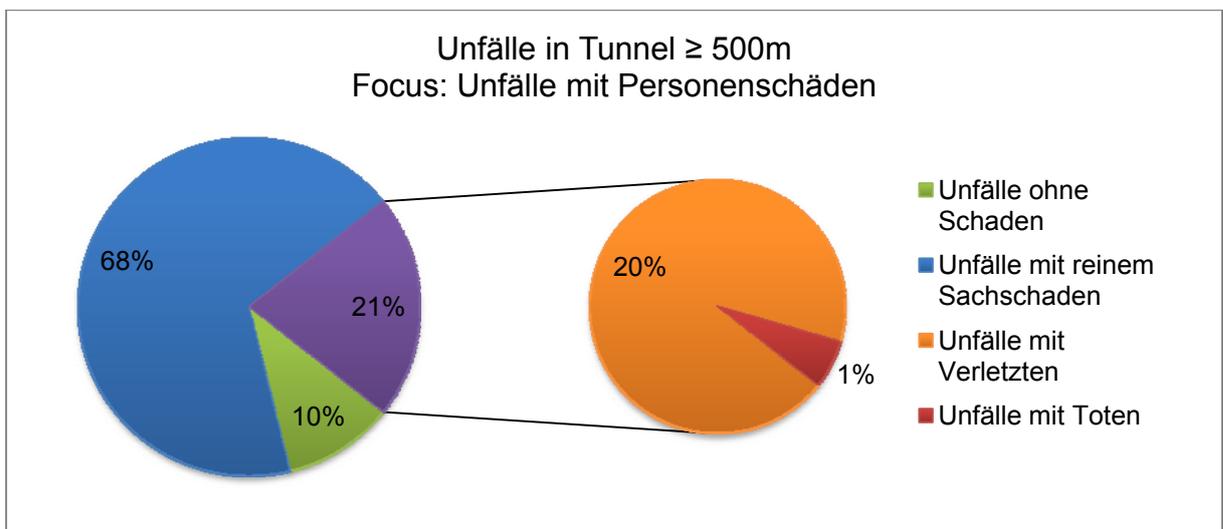


Abb. 19: Schadensfolgen der erfassten Unfälle in Tunneln ≥ 500 Meter mit Schwerpunkt auf jene mit Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

7.4. Unfalltypen und deren Tunnelbereiche

Die Tunnelstatistik der ASFinAG unterscheidet Unfalltypen, wie Alleinunfälle ohne Fremdeinwirkung- und/oder -kontakt, Unfälle in Fahrtrichtung (in der Regel Auffahr-unfälle), Unfälle mit Begegnungsverkehr in Tunneln mit Gegenverkehrsbetrieb und sonstige Unfalltypen, wie zum Beispiel Unfälle initiiert durch äußere Einflüsse, wie Motorschäden, Murenabgänge oder Reifenplatzer. Des Weiteren wird bei jedem Ereignis der Tunnelbereich dokumentiert, in dem es zu dem Zwischenfall gekommen ist. Die Auswertungen in diesem Kapitel unterscheiden zwischen Unfällen im Vorportal-/Portalbereich und Unfällen im Innenbereich eines Tunnels.

7.4.1 ... bezogen auf alle Unfälle

Abb. 20 gibt einen Überblick über die häufigsten Typen von Unfällen (Unfall in Fahrtrichtung, Alleinunfall, Unfall mit Begegnungsverkehr), unterschieden nach deren Unfallbereich (Innenbereich bzw. Vorportal-/Portalbereich des Tunnels).

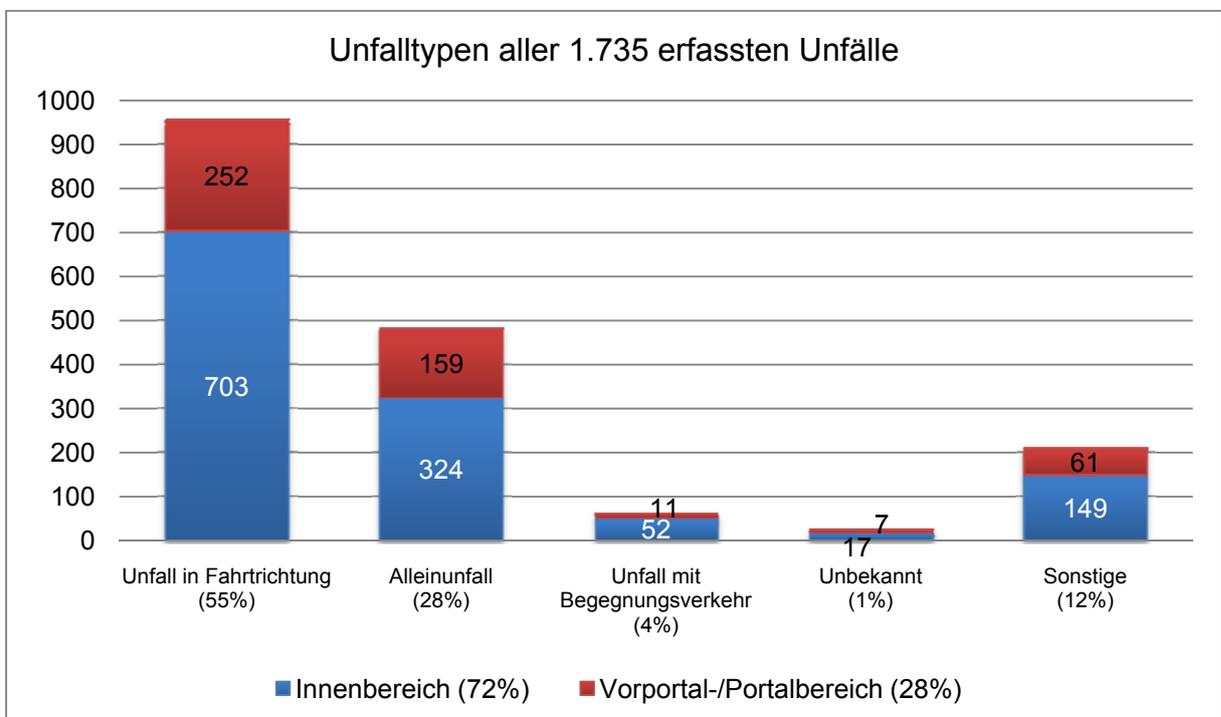


Abb. 20: Unfalltypen aller 1.735 erfassten Unfälle; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10

Insgesamt passieren 28 Prozent aller Unfälle im Vorportal- oder Portalbereich von Tunneln, die restlichen 72 Prozent der Unfälle fordern Verletzte oder Tote im Innen-

bereich der Tunnel. 87 Prozent aller Unfälle in bzw. unmittelbar vor AS-Tunneln sind Folgen von Alleinunfällen, Unfällen in Fahrtrichtung oder Unfällen mit Begegnungsverkehr (siehe Abb. 20).

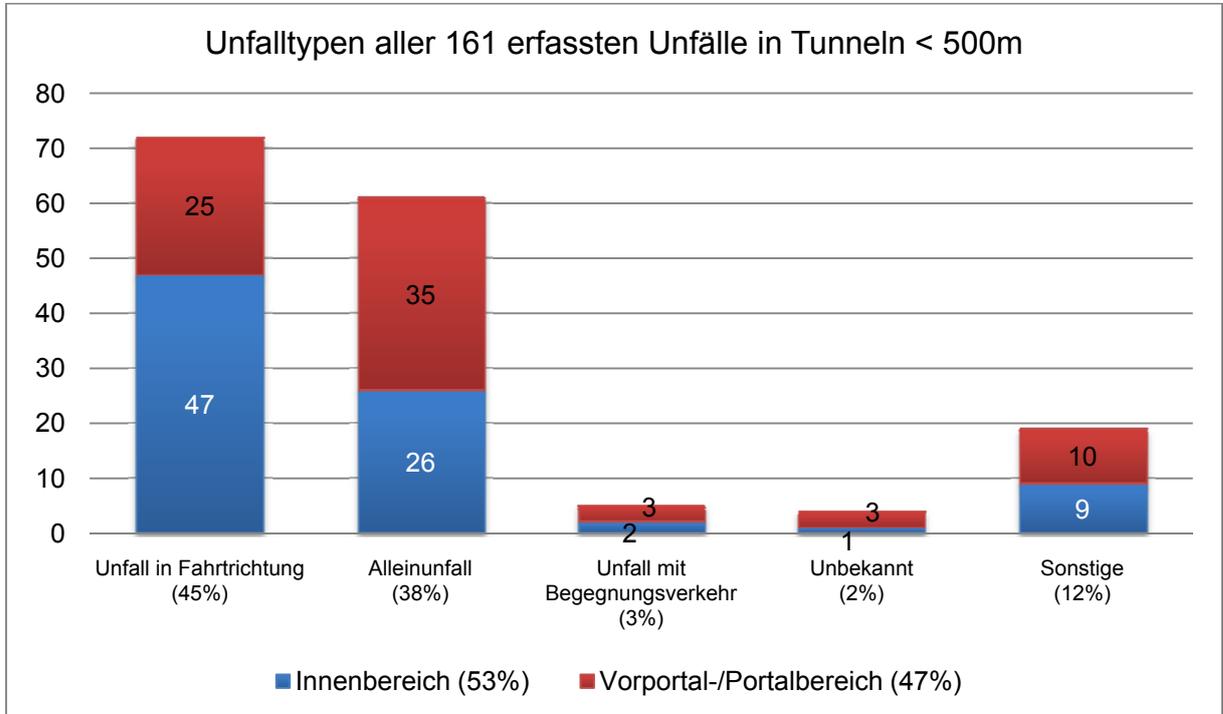


Abb. 21: Unfalltypen aller 1.735 erfassten Unfälle; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10

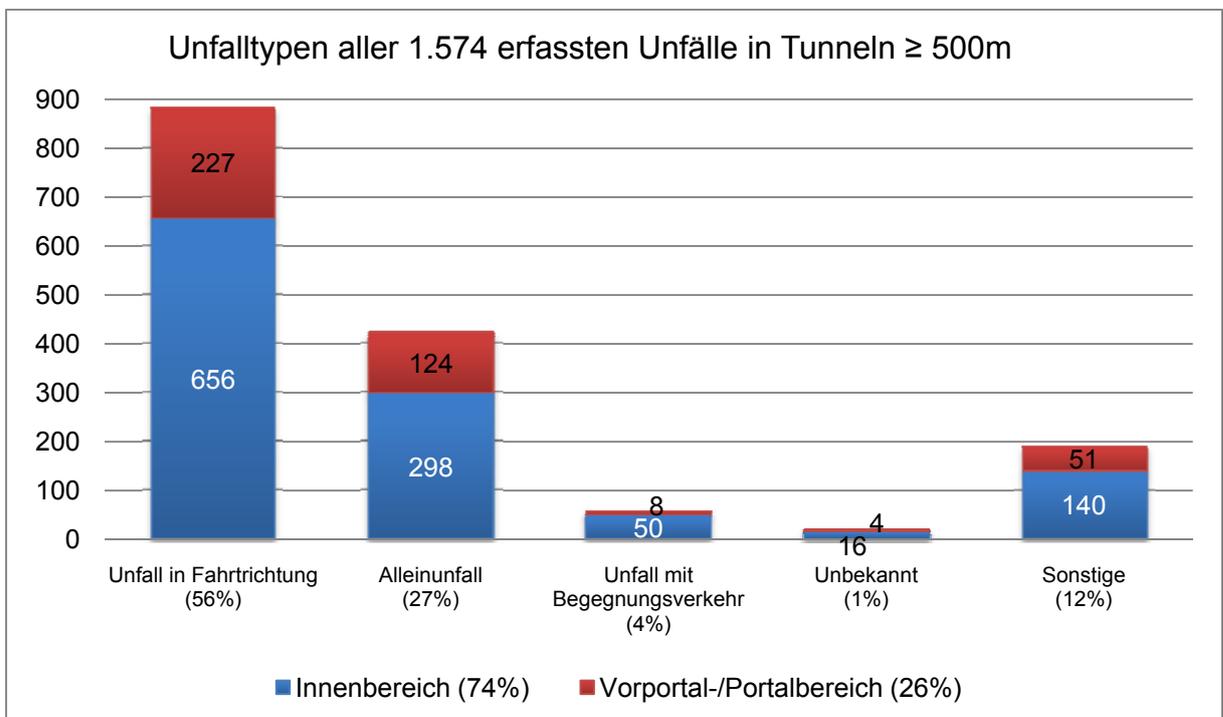


Abb. 22: Unfalltypen aller 1.735 erfassten Unfälle; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10

Die genauere Auswertung der Unfälle und deren Unfalltypen bezogen auf die Tunnellänge (kleiner bzw. größer 500 Meter) zeigt, dass fast die Hälfte aller Unfälle in kürzeren Tunneln, mit einer Länge von bis zu 500 Meter, im Vorportal-/Portalbereich dieser Tunnel passieren (vgl. Abb. 21); hingegen passieren bei Tunneln mit einer Länge von mehr als 500 Meter nur 26 Prozent aller Unfälle in diesem Bereich (vgl. Abb. 22). Außerdem ist der Anteil der Alleinunfälle bei kurzen Tunneln (38%) fast um die Hälfte größer als bei langen Tunneln (27%). Nicht ungewöhnlich erscheint, dass im Gegensatz dazu in langen Tunneln mehr Unfälle in Fahrtrichtung passieren (56%) als in kürzeren Tunneln (45%).

7.4.2 ... bezogen auf Unfälle mit Personenschaden

Bei 378 der 1.735 erfassten Unfälle kamen jeweils eine oder mehrere Personen zu Schaden; insgesamt waren es 28 Tote und 598 Verletzte. Abb. 23 gibt einen Überblick über die häufigsten Typen von Unfällen mit Toten bzw. mit Verletzten, unterschieden nach deren Unfallbereich (Innenbereich bzw. Vorportal-/Portalbereich des Tunnels).

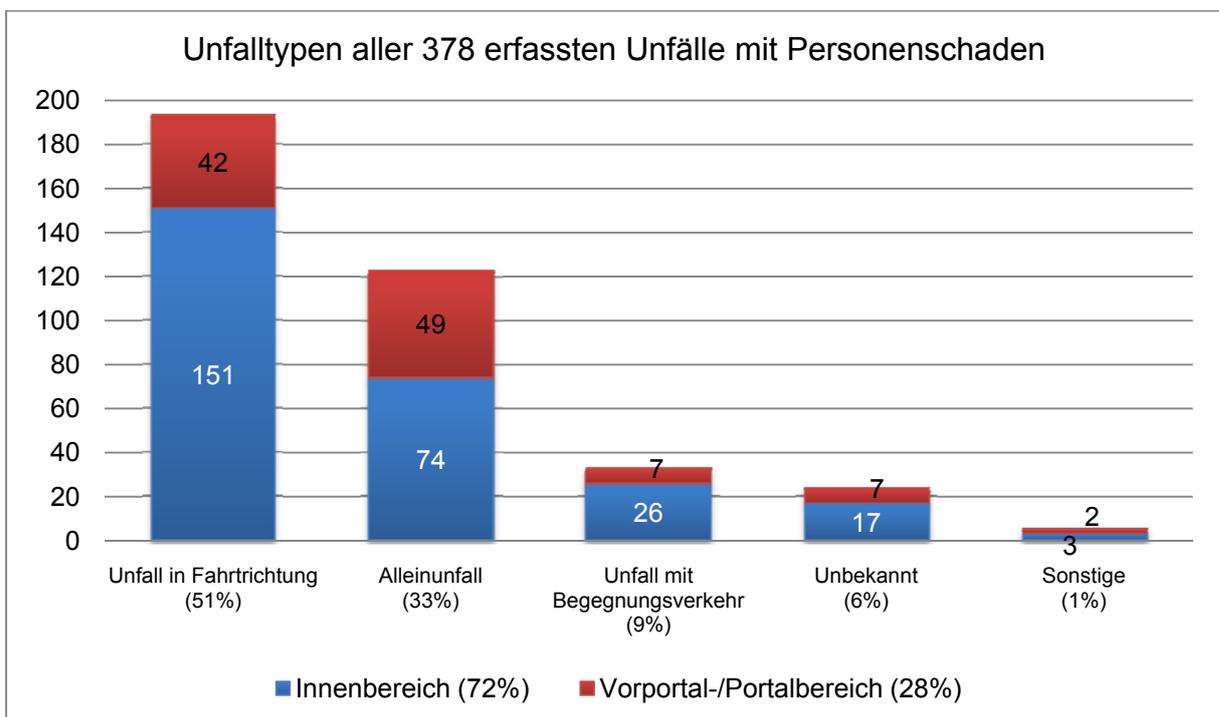


Abb. 23: Unfalltypen der 378 erfassten Unfälle mit Personenschaden; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10

Mehr als drei Viertel aller Toten und Verletzten in bzw. unmittelbar vor AS-Tunneln sind Folgen von Alleinunfällen oder Unfällen in Fahrtrichtung (siehe Abb. 23).

Alleinunfälle resultieren am häufigsten tödlich (46%), gefolgt von Unfällen in Fahrtrichtung (25%) und Unfällen mit Begegnungsverkehr (18%). Die meisten Verletzungen, mehr als die Hälfte, entstehen bei Auffahrunfällen in Fahrtrichtung, gefolgt von Alleinunfällen (27%) und Unfällen mit Begegnungsverkehr (12%).

Die genauere Auswertung der Unfälle mit Personenschaden und deren Unfalltypen bezogen auf die Tunnellänge (kleiner bzw. größer 500 Meter) zeigt, dass 63% der Unfälle mit Personenschaden in kürzeren Tunneln, mit einer Länge von bis zu 500

Meter, im Vorportal-/Portalbereich dieser Tunnel passieren (vgl. Abb. 24); hingegen passieren bei Tunneln mit einer Länge von mehr als 500 Meter nur 24 % aller Unfälle mit Personenschaden in diesem Bereich (vgl. Abb. 25).

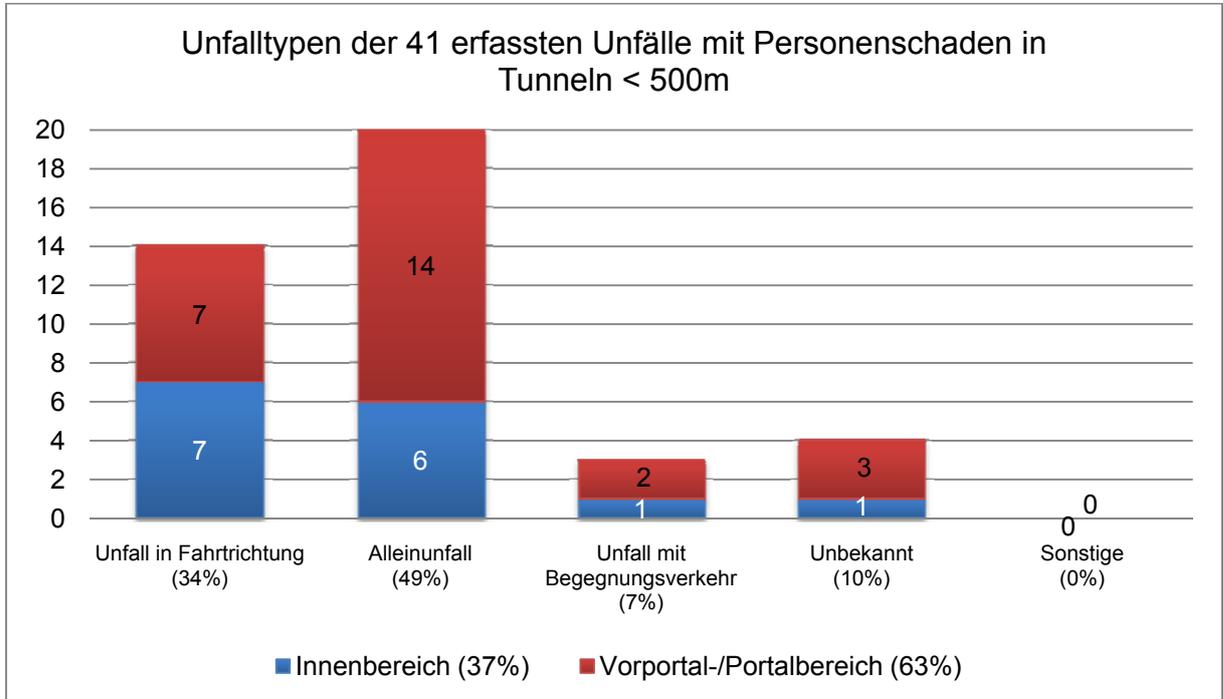


Abb. 24: Unfalltypen der 41 erfassten Unfälle mit Personenschaden in Tunneln < 500m; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10

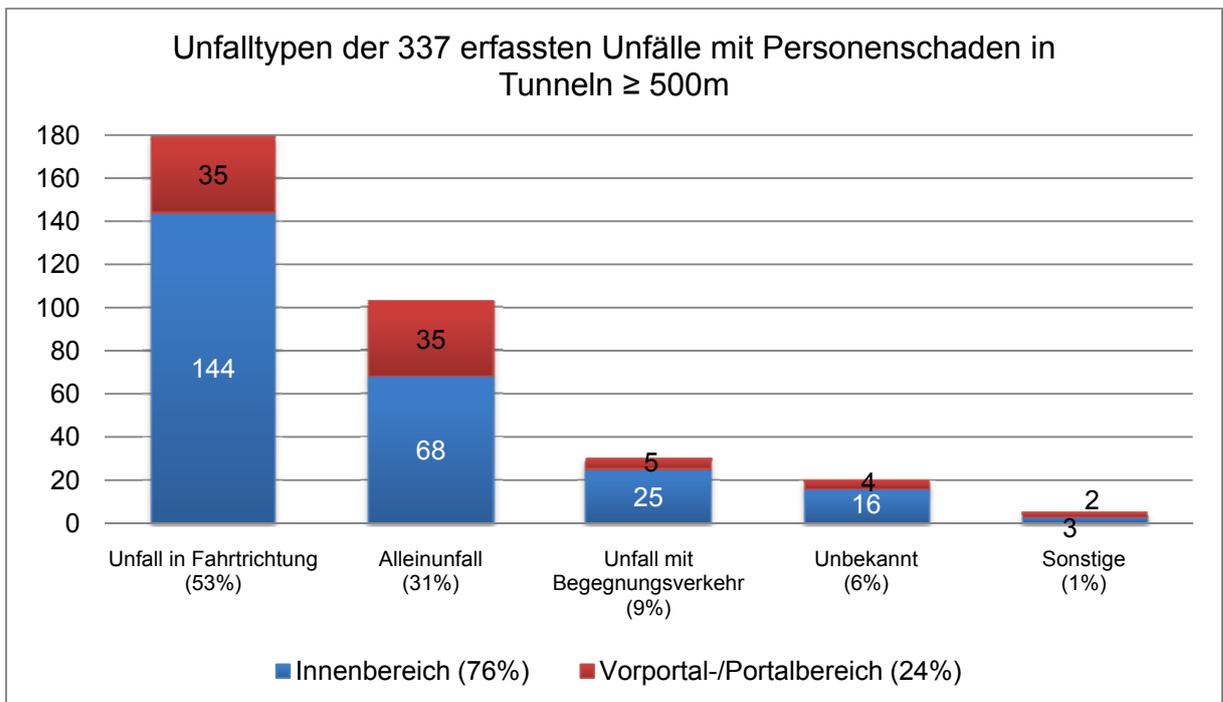


Abb. 25: Todesfälle nach Unfalltypen in Tunneln mit einer Länge kleiner als 500 Meter; Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.10

Insgesamt passieren 28 Prozent aller Unfälle mit Personenschaden im Vorportal- oder Portalbereich von Tunneln, die restlichen 72 Prozent der Unfälle fordern Verletzte oder Tote im Innenbereich des Tunnels (vgl. Abb. 23).

7.5. Die gefährlichsten Tunnel

Tunnel sind dann gefährlich, wenn dort im Verhältnis zu ihrer Tunnellänge und ihrem Verkehrsaufkommen, also ihren Kfz-km, viele Unfälle, viele Unfälle mit Personenschäden oder auch viele Unfälle mit Todesfällen auftreten. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Evaluierung der gefährlichsten Tunnel in jeweils diesen drei Kategorien und ermittelt durch entsprechende Gewichtung die gefährlichsten Tunnel Österreichs.

7.5.1 ... bezogen auf alle Unfälle

Abb. 26 stellt die zwanzig gefährlichsten Tunnel, gereiht nach ihrer Anzahl von Unfällen dar. Zum Vergleich sind die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden, die Verkehrsstärke JDTV [10 Kfz/Tag], die Tunnellänge [m] und die Fahrzeug-Kilometer [10 Kfz-km] dargestellt.

Zwischen den Kfz-km und den Unfallzahlen sind keine direkten Zusammenhänge zu erkennen. Das Verhältnis der Gesamt-Unfallzahlen zu den jeweiligen Kfz-km ergibt die Gefährlichkeit der Tunnel bezogen auf die Unfälle (vgl. Abb. 27).

Der Tunnel Bindermichl ist aufgrund seiner sehr hohen Unfallzahl im Vergleich zu seinen Kfz-km am gefährlichsten, gefolgt vom Niedernhart-, Grasberg- und Hinterburg-Tunnel. Diese Tunnel verfügen offensichtlich über wenige präventive Einrichtungen zur effektiven Unfallvermeidung.

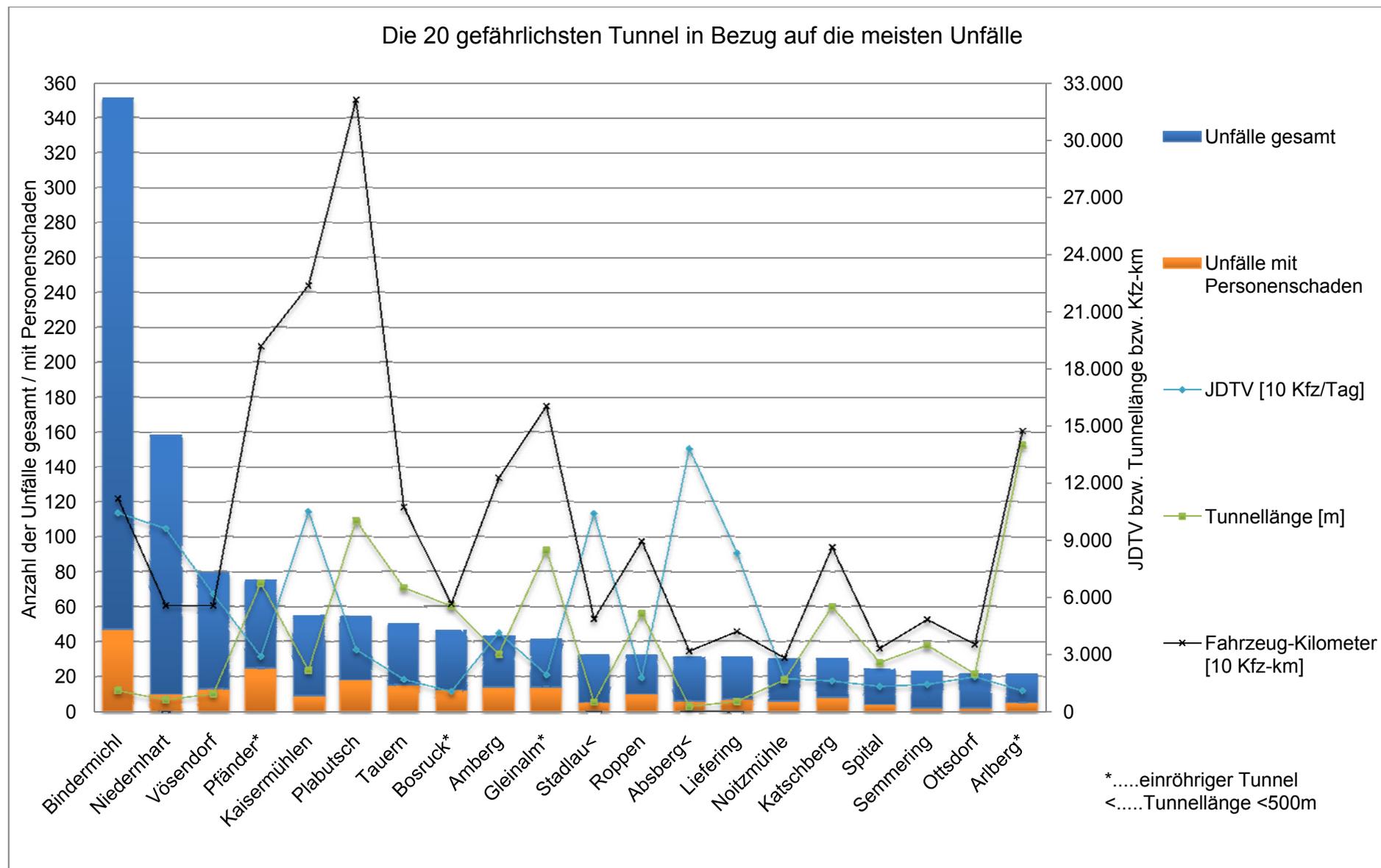


Abb. 26: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Unfälle seit Jänner 2006 im Vergleich, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

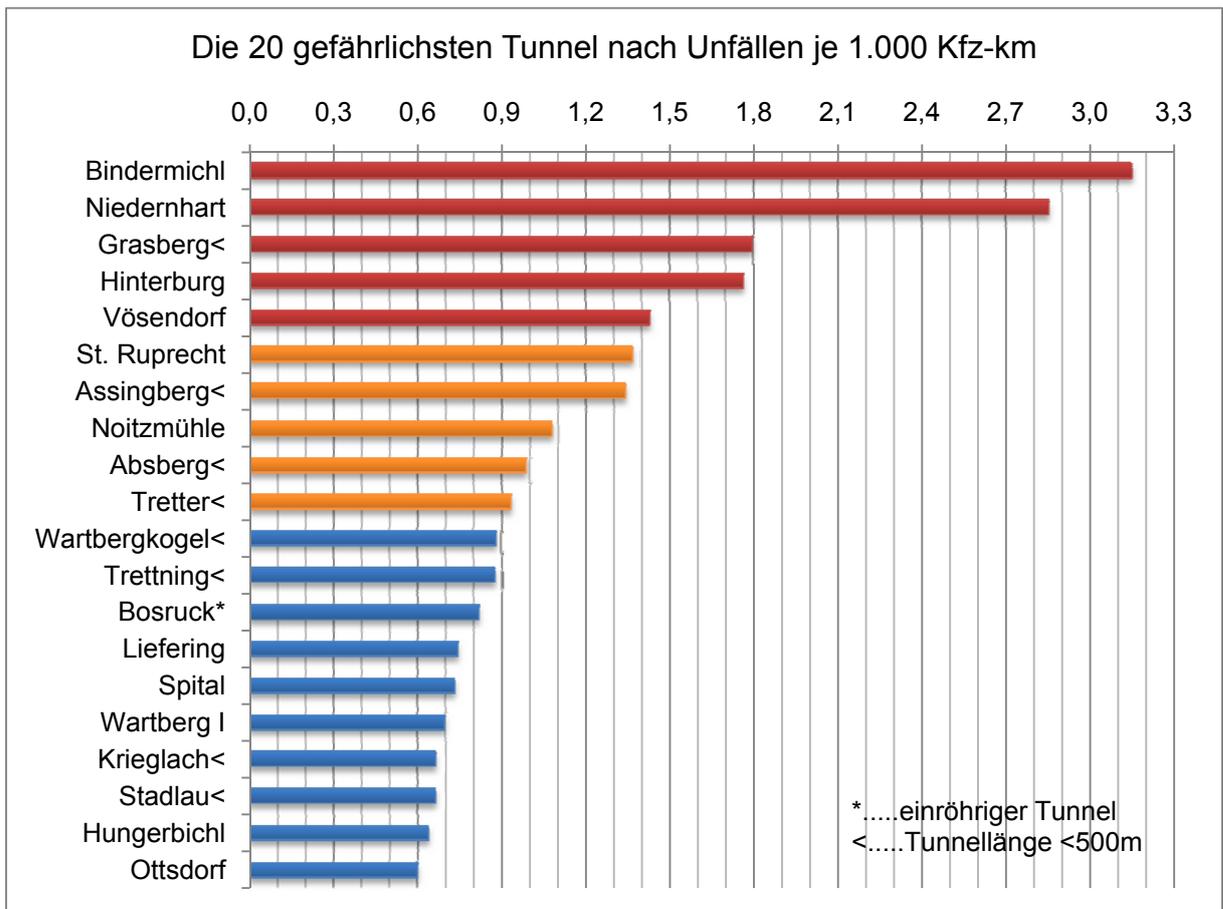


Abb. 27: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Unfälle je 1.000 Kfz-km, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

7.5.2 ... bezogen auf Unfälle mit Personenschaden

Abb. 28 stellt die zwanzig gefährlichsten Tunnel, gereiht nach ihrer Anzahl von Unfällen mit Personenschaden, im Vergleich mit der Gesamtanzahl der Unfälle (mit und ohne Personenschaden), der Verkehrsstärke JDTV [10 Kfz/Tag], der Tunnellänge [m] und den Fahrzeug-Kilometern [10 Kfz-km] dar.

Zwischen den Kfz-km und den UPS-Zahlen sind keine direkten Zusammenhänge zu erkennen. Das Verhältnis der Unfälle mit Personenschaden zu den jeweiligen Kfz-km ergibt die Gefährlichkeit der Tunnel bezogen auf die UPS (vgl. Abb. 29).

Gemäß Abb. 28 hat der Bindermichl die meisten Unfälle mit Personenschaden, aber bezogen auf die Fahrzeug-Kilometer ist der Wartbergkogel am gefährlichsten, gefolgt vom Assingberg-, Krieglach-Tunnel und Bindermichl, wie Abb. 29 veranschaulicht. Diese Tunnel verfügen offensichtlich über wenige Einrichtungen zur effektiven Schadensminderung bei Zwischenfällen im Tunnel.

Jene Tunnel, die nach dem Kriterium der Gesamt-Unfallzahlen je Kfz-km besonders gefährlich waren (vgl. Abb. 27), sind in dieser Abbildung rot/orange dargestellt.

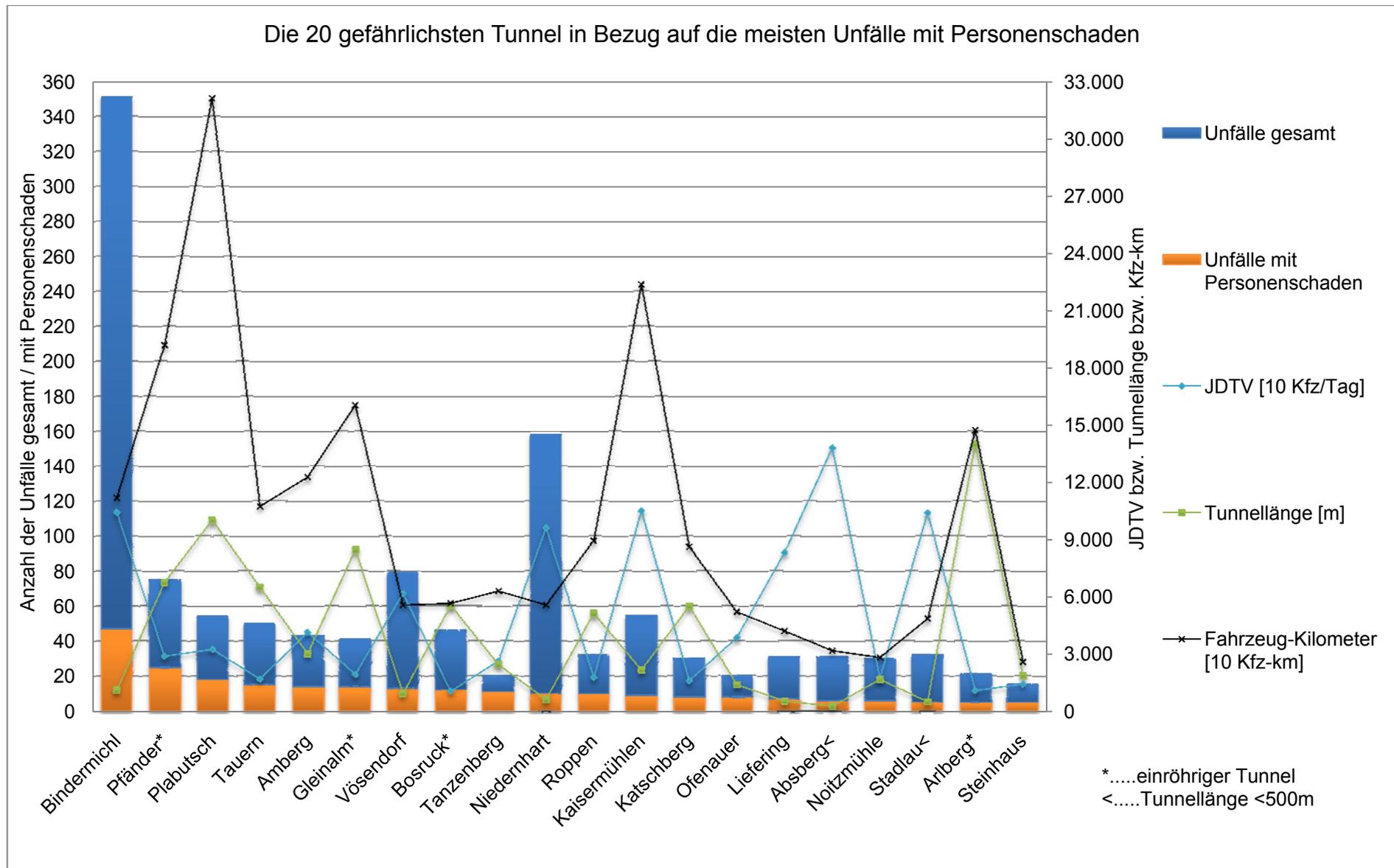


Abb. 28: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf Unfälle mit Personenschaden seit Jänner 2006 im Vergleich, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

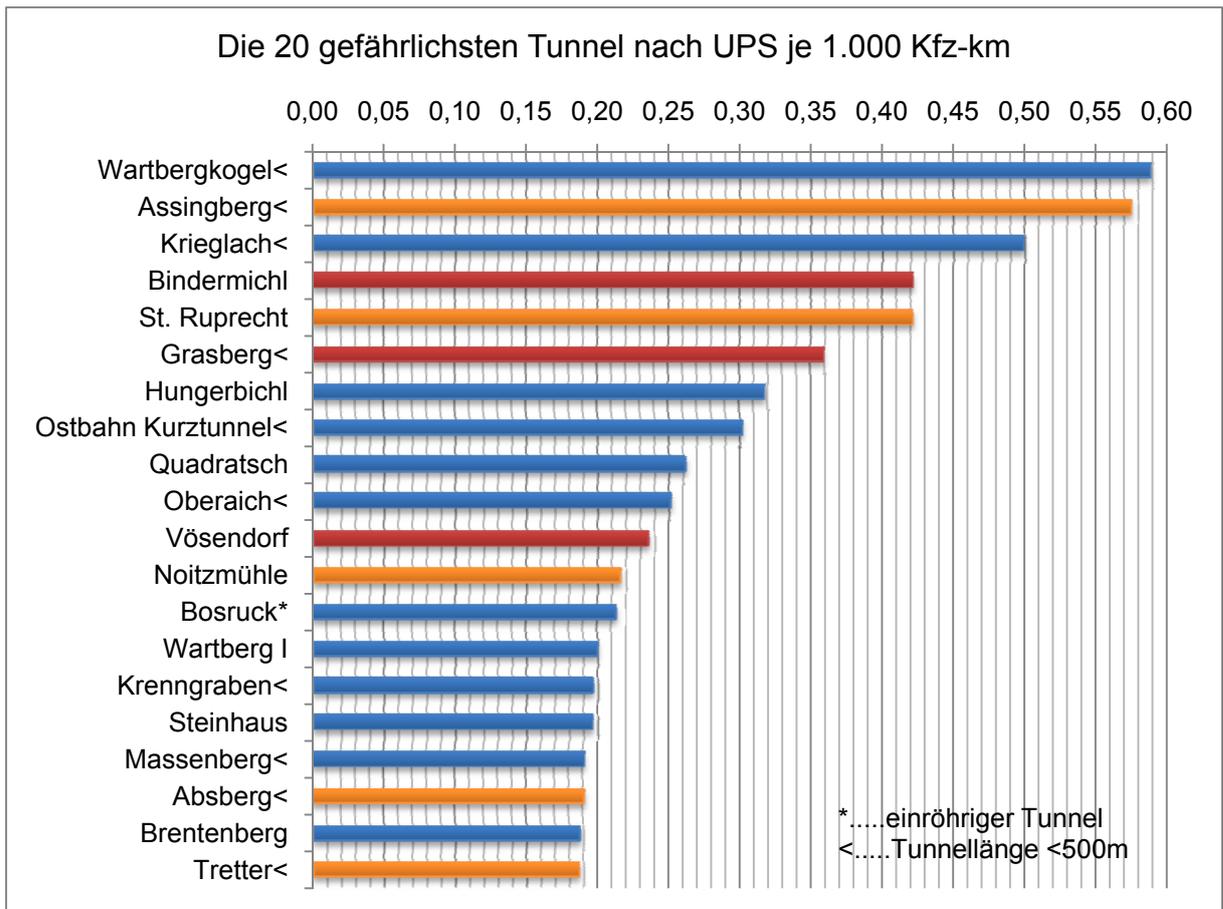


Abb. 29: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Unfälle mit Personenschäden je 1.000 Kfz-km, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

7.5.3 ... bezogen auf die Unfälle mit Todesfolge

Im Zeitraum von Jänner 2006 bis Juli 2010 wurden 28 Todesfälle bei 26 Unfällen in 20 Tunneln erfasst. Abb. 30 veranschaulicht, in welchen Tunneln es zu den äußerst schweren Unfällen mit jeweils ein oder zwei Todesfällen gekommen ist.

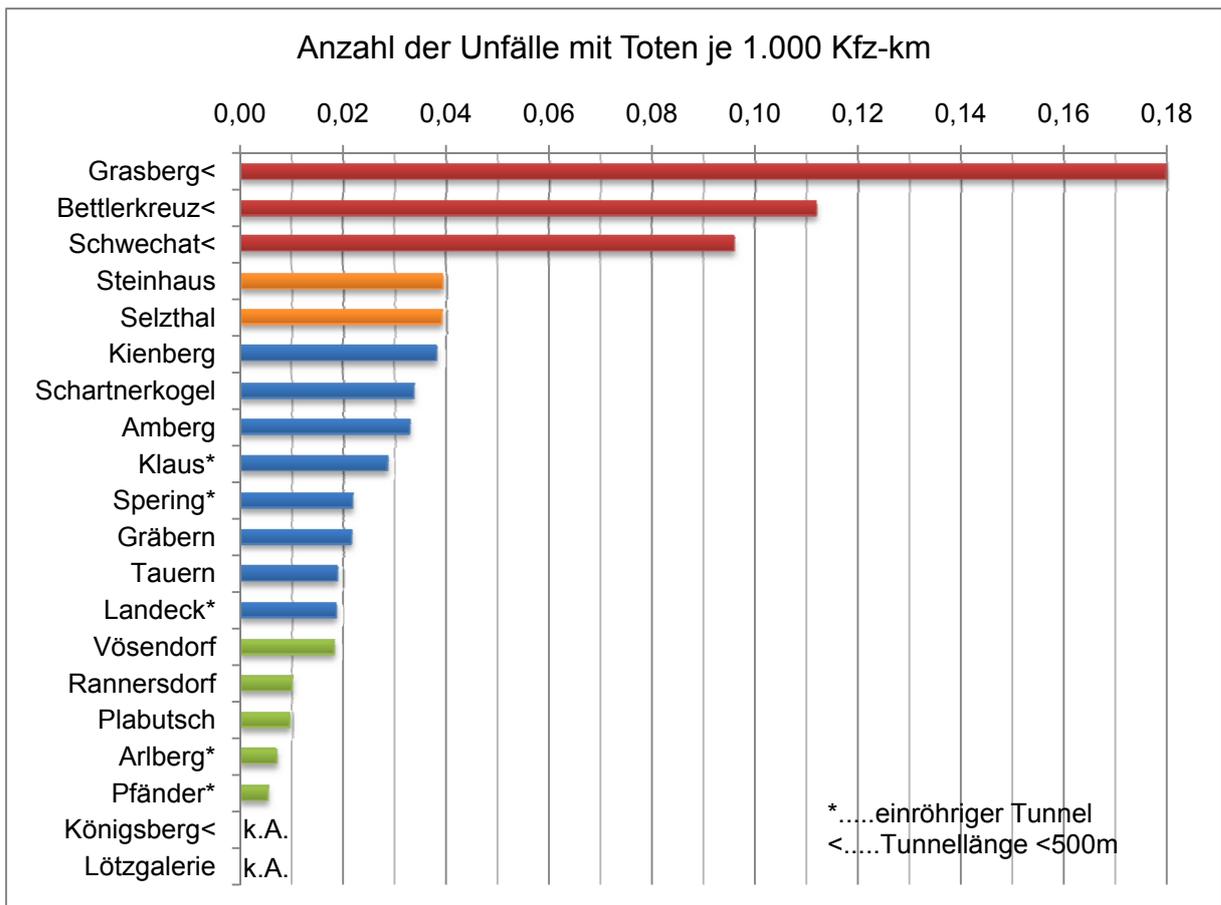


Abb. 30: Die 20 gefährlichsten Tunnel in Bezug auf die Todesfälle seit Jänner 2006, Datenquelle: ASFinAG, Stand: 01.08.2010

Wenn es um den Vergleich der Unfälle mit tödlich verunglückten Personen geht, sind der Grasberg-, der Bettlerkreuz- und der Schwechat-Tunnel am gefährlichsten.

Jene Unfälle mit Todesfolge sind in den Unfällen mit Personenschaden (Kapitel 7.5.2) enthalten und wurden dort ebenso berücksichtigt; Abb. 30 dient der Vollständigkeit halber.

7.5.4 ... bezogen auf alle drei Kriterien

Eine entsprechende Gewichtung der drei Kriterien „Unfälle je 1.000 Kfz-km“, „UPS je 1.000 Kfz-km“ und „Unfälle mit Todesfolge je 1.000 Kfz-km“, jeweils berücksichtigt mit den Faktoren 1, 2 und 3, ergibt eine Reihung der gefährlichsten Tunnel Österreichs (siehe Abb. 31).

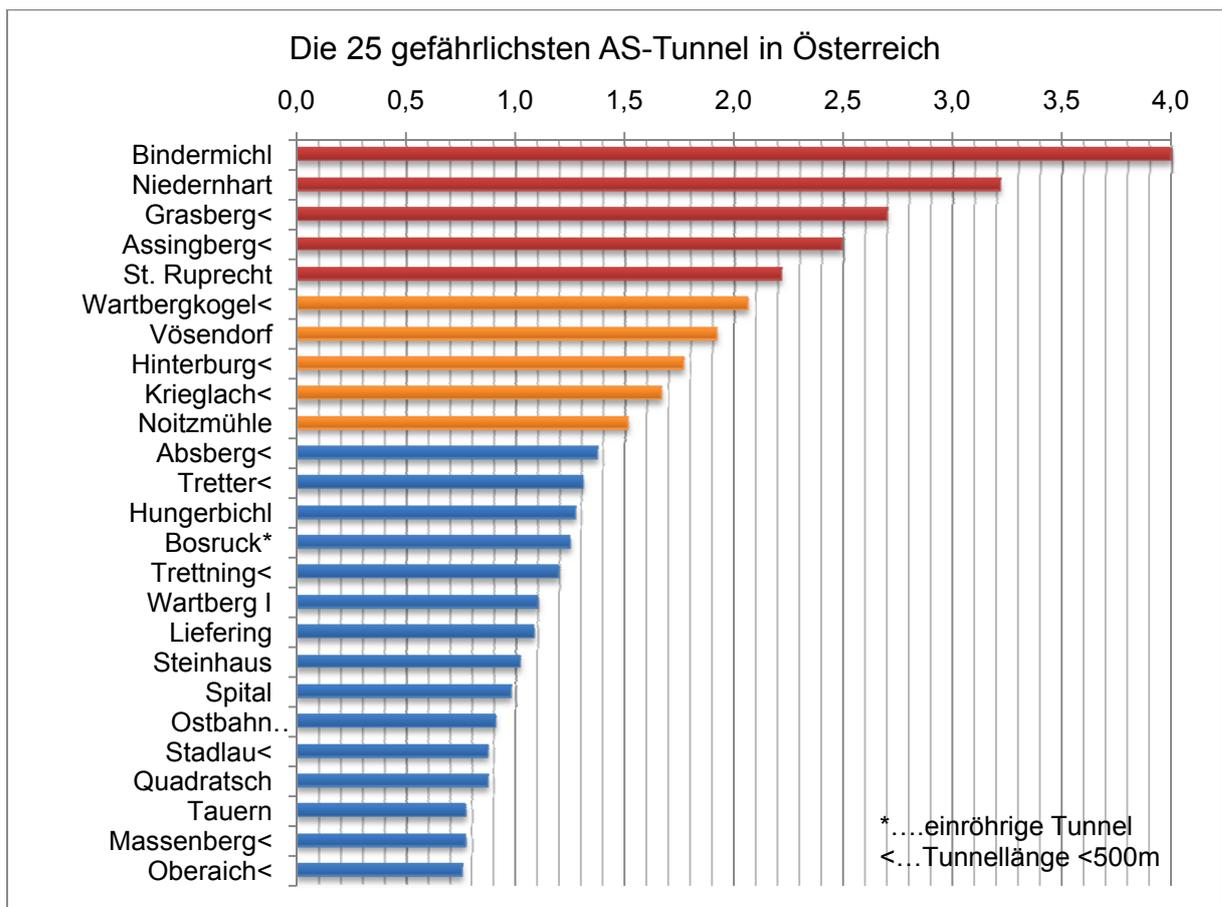


Abb. 31: Die 25 gefährlichsten Tunnel gewertet nach Unfällen, UPS und Unfällen mit Todesfolge, wobei UPS mit dem Faktor 2 und Unfälle mit Toten mit dem Faktor 3 eingehen

Bei diesen Tunneln besteht Handlungsbedarf hinsichtlich ihrer präventiven Einrichtungen zur effektiven Vermeidung von Unfällen oder Einrichtungen zum effektiven Schadensminderung bei Zwischenfällen (vgl. Kapitel 7.5.1 bis 7.5.3).

7.6. Zusammenfassende Anmerkungen

Ein Tunnel kann als vergleichsweise sicher bezeichnet werden, wenn dort entweder wenige Unfälle passieren oder – im Falle eines Unfalls – das Ausmaß durch sinnvolle und in Anspruch genommene Maßnahmen effektiv gemindert werden kann, ausreichend Möglichkeit zur Selbstrettung oder eine wirksame Fremdrettung sichergestellt werden kann, sodass möglichst keine Personen zu Schaden kommen.

Die **Entwicklung der Verkehrsunfälle** ist seit zwei Jahren mit Rückgängen von durchschnittlich etwa 15 Prozent pro Jahr positiv. Eine plausible Erklärung gibt es dafür aber nicht (vgl. Kapitel 7.1).

In Österreich kommen bei 22 Prozent aller Unfälle in AS-Tunneln Personen zu Schaden. 3,1 Prozent aller 1.735 erfassten Unfälle haben einen **Brand im Tunnel** zur Folge, bei denen wiederum bei 5,6 Prozent Personen zu Schaden kommen (drei UPS bei 54 Unfällen mit Brandfolge). Österreichische Tunnel sind diesbezüglich offensichtlich mit ausreichend präventiven Einrichtungen zur Verhinderung von Bränden bzw. zur Unfallminderung im Brandfall ausgestattet (vgl. Kapitel 7.2).

Der Vergleich der Auswertungen bezüglich der **Unfalltypen** aller Unfälle mit jenen mit Personenschaden in Kapitel 7.4 ergibt, dass Unfälle im Portalbereich von kürzeren Tunneln bis zu 500 Meter Länge schwerwiegendere Folgen in Bezug auf das Wohl der Unfallbeteiligten haben, als jene in diesem Bereich bei längeren Tunneln.

Dies bestätigt die Erkenntnis aus Kapitel 7.3, dass der Anteil von UPS bei kürzeren Tunneln höher ist und zeigt, dass diese vor allem im Vorportal-/Portalbereich passieren. 47 Prozent aller erfassten Unfälle in **Tunneln kürzer 500 Meter** passieren im Vorportal-/Portalbereich (vgl. Abb. 21), 63 Prozent dieser resultieren mit Personenschaden (vgl. Abb. 24).

Die Ermittlung der jeweils zwanzig **gefährlichsten Tunnel** nach drei unterschiedlichen Kriterien, der Gesamtzahl aller Unfälle (vgl. 7.5.1), der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (vgl. 7.5.2) und der Anzahl der Unfälle mit Todesfolge (vgl. 7.5.3) zeigt, bei welchen Tunneln Handlungsbedarf hinsichtlich ihrer präventiven Einrichtungen zur effektiven Vermeidung von Unfällen oder hinsichtlich ihrer Einrichtungen zur effektiven Schadensminderung bei Zwischenfällen besteht.

8. VERGLEICH DER BERECHNUNGSERGEBNISSE LAUT RVS MIT DER REALITÄT

Die Methoden zur Berechnung der Risikoerwartungswerte in den RVS geben die Anzahl der zu erwartenden Toten pro Jahr an. Diese Werte sagen nichts über die zu erwartende Gesamtzahl der Unfälle oder Unfälle mit Verletzten aus. Kapitel 7.5 zeigt, dass die Beurteilung der Gefährlichkeit von Tunneln rein nach den Todesfällen nicht plausibel ist.

Aufgrund der Definition des Risikoerwartungswerts in den RVS ist an dieser Stelle der Vergleich der statistisch erwartbaren Toten pro Jahr (berechnete Risikoerwartungswerte) mit den tatsächlichen Toten pro Jahr (tatsächliche Risikowerte) möglich.

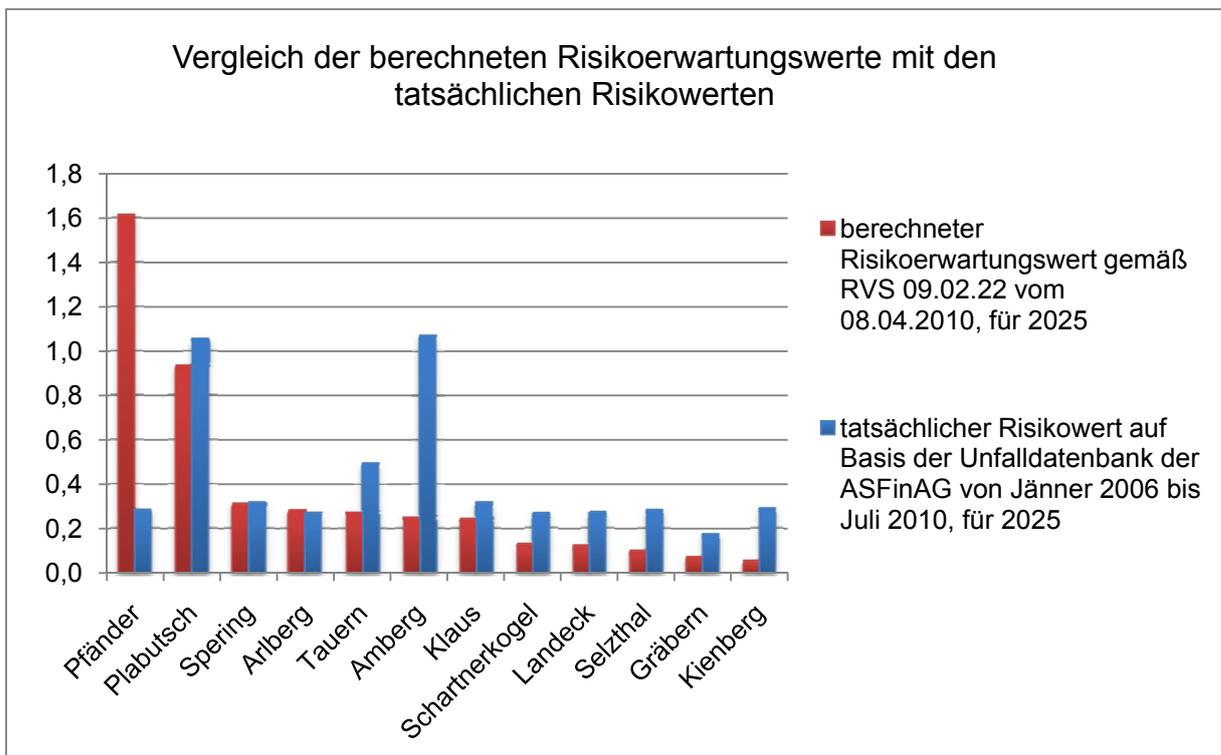


Abb. 32: Vergleich des berechneten Risikoerwartungswerts mit dem berechneten Risikowert von jeweils zwölf Tunneln für 2025; Datenquelle: ASFinAG und ILF ZT GmbH, Stand: 01.08.10

Zu diesem Vergleich werden jene von der ASFinAG bzw. für den Arlberg von der ILF ZT GmbH ermittelten Risikoerwartungswerte und jene Risikowerte aus der Auswer-

tung der Tunnelunfall-Statistik der ASFinAG heran gezogen. Da es im Zeitraum von Jänner 2006 bis Juli 2010 in zwanzig aller AS-Tunnel Todesfälle gab, können die tatsächlichen Risikowerte dieser zwanzig Tunnel ermittelt werden. Die realen Risikowerte aller anderen Tunnel betragen Null. Bei zwölf Tunneln sind sowohl der berechnete Risikoerwartungswert als auch der tatsächliche Risikowert vorhanden und können verglichen werden. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist in Abb. 32 dargestellt. Die Ergebnisse der tatsächlichen Risikowerte wurden auf die geschätzte Verkehrsstärke für das Jahr 2025 hochgerechnet, um sie mit den Berechnungsergebnissen der Risikoerwartungswerte für das Jahr 2025 vergleichbar zu machen.

Bei einigen der Vergleichstunnel beträgt der Unterschied der beiden Risikowerte mehr als hundert Prozent, der Pfänder-Tunnel ist tatsächlich sogar fast sechs Mal sicherer als gemäß RVS berechnet. Beim Spring-, Arlberg- und Plabutsch-Tunnel stimmt jeweils der berechnete Risikoerwartungswert mit dem tatsächlichen Risikowert bis auf ein, fünf bzw. elf Prozent gut überein. Sieben der zwölf Tunnel sind in Wirklichkeit gefährlicher als berechnet. Im Allgemeinen können die Berechnungsergebnisse die Realität unzureichend gut abbilden. Im Mittel betragen die Abweichungen der tatsächlichen Risikowerte von den berechneten Risikoerwartungswerten etwa 80 Prozent. Am Beispiel des Arlberg-Tunnels ist erkennbar, dass die Methode des aufwendigen Tunnel-Risikoanalysemodells der ILF ein realitätsnahes Ergebnis liefert.

Im Allgemeinen ist die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden bei Tunneln mit einer hohen Gesamt-Unfallzahl höher. Dies trifft jedoch nicht auf die Anzahl der Unfälle mit Todesfällen zu. Diese passieren augenscheinlich unabhängig von der Gesamt-Unfallzahl bzw. UPS-Anzahl (vgl. Kapitel 7.5 bzw. Liste im Anhang A2). Dies bestätigt, dass die Gefährlichkeit von Tunneln nicht nur nach deren Todesfällen plausibel ermittelt werden kann, sondern auch jene Unfälle mit reinem Sachschaden und jene mit Verletzten eine große Rolle für die Tunnelsicherheit spielen.

9. ERGEBNISSE

Aufgrund der ohnehin schon sehr umfangreichen Ausschreibungen und häufigen Pauschal-Vergaben bei Tunnel-Bauwerken, sind **keine** nach den einzelnen lt. RVS 09.02.22 [8] bzw. [9] vorgeschriebenen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen **aufgeschlüsselte Kosten-Informationen vorhanden**. So war es im Zuge dieser Arbeit leider nicht möglich, aussagekräftige Informationen über die Kosten der einzelnen BuS' zu ermitteln und diese mit deren Nutzen gegenüberzustellen (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Ein Tunnel kann als vergleichsweise sicher bezeichnet werden, wenn dort entweder aufgrund effizienter präventiver Maßnahmen wenige Unfälle passieren oder – im Falle eines Unfalls – das Ausmaß durch sinnvolle und in Anspruch genommene Maßnahmen effektiv gemindert werden kann, ausreichend Möglichkeit zur Selbstrettung oder eine wirksame Fremdrettung sichergestellt werden kann, sodass möglichst keine Personen zu Schaden kommen. Im Allgemeinen wird in allen RVS zur Tunnelsicherheit zu wenig auf **präventive Maßnahmen** zur Verhinderung von Unfällen Wert gelegt. Hinsichtlich der vorgeschriebenen BuS' in Hinblick auf vermehrt präventive Maßnahmen gibt es im Begutachtungsentwurf der RVS 09.02.22 vom 08.04.2010 [9] keine Fortschritte oder wesentliche Veränderungen. Die in den RVS 09.02.22 [8] bzw. [9] je nach Gefährdungsklasse vorgeschriebenen BuS dienen hauptsächlich der Schadensminderung, Hilfestellung zur Selbstrettung bzw. zur Unterstützung der Rettung von verunglückten Personen im Tunnel. Von den zehn übergeordneten Einrichtungsgruppen wirken lediglich die Verkehrslenkung, die Tunnelbeleuchtung und eventuelle Steuerungssysteme mit den damit verbundenen Energieversorgungsanlagen präventiv und dienen dazu, Zwischenfälle erst gar nicht zu Stande kommen zu lassen (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 6).

Die **vereinfachte Methode zur Risikobewertung** (Kapitel 6.2.1) ist derzeit die einfachste und die am häufigsten angewendete Methode zur Ermittlung des Risikoäquivalentwerts R bzw. des Risikoerwartungswerts, wie er meist genannt wird. Sie hat das Ziel, das Risiko eines Tunnels schnell abschätzen und ihn einer Gefährdungs-

klasse zuordnen zu können, für die in RVS 09.02.22 [9] technische Mindeststandards definiert sind. Diese Form der Berechnung ist für Standardtunnel zulässig, die bestimmte Kriterien erfüllen müssen. Der Risikowert aller anderen Tunnel muss lt. RVS mit Hilfe des aufwendigeren **Tunnel-Risikoanalysemodells** (Kapitel 6.2.2) ermittelt werden. Die Basisstruktur dieser Methodik besteht aus zwei Kernelementen, der quantitativen Häufigkeitsanalyse (Ereignisbaumanalyse) und der quantitativen Unfallfolgenanalyse (Schadensausmaßanalyse). In RVS 09.03.11 [11] sind die Erwartungswerte für jedes Schadensausmaß in statistisch erwartbaren Toten pro Ereignis angegeben, die ausschließlich auf der Auswertung von 447 Tunnelunfällen mit Personenschaden im Zeitraum von 1999 bis 2003 basieren (vgl. Kapitel 6).

Beide in den genannten RVS vorgeschriebenen **Berechnungsverfahren** zur Ermittlung des Risikoerwartungswert R je Tunnel basieren ausschließlich auf der Untersuchung von Szenarien mit Personenschaden und resultieren in statistisch erwartbaren Toten pro Jahr eines Tunnels: die Formel zur Ermittlung des Häufigkeitsäquivalents H gemäß RVS 09.02.31 vom 04.12.2008 [10] beinhaltet eine spezifische Unfallrate U_R , die mit der Anzahl der erfassten Unfälle mit Personenschaden pro Million Kfz-km definiert ist. Auch die Häufigkeitsanalyse gemäß RVS 09.03.11 vom 01.06.2008 [11] basiert auf der Auswertung von Schadensszenarien mit Personenschaden. Zur Ermittlung des Risikoerwartungswerts R wird jeweils das Häufigkeitsäquivalent H mit dem Schadensausmaßäquivalent S multipliziert, das die statistisch erwartbaren Toten pro Million Kfz-Kilometer und Jahr repräsentiert. Die Berechnungen beruhen also zu einem Teil auf Auswertungen von Personenschäden und zum anderen Teil auf Auswertungen von Todesfällen und resultieren im Risikoerwartungswert R , der die erwartbaren Todesfälle pro Jahr angibt, vollkommen unabhängig von der Gesamtzahl der Unfälle (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 6). Die Unfälle mit Todesfolge bzw. die Todesfälle allein stellen keine repräsentativen Größen zur Ermittlung der Gefährlichkeit eines Tunnels dar und sind daher auch nicht für Kosten-Nutzen-Berechnungen von Sicherheitsmaßnahmen geeignet.

Der **Begutachtungsentwurf der RVS 09.02.22 vom 08.04.2010** [9] und dessen vorgeschriebene Berechnungsverfahren basieren im Gegensatz zur veralteten Norm nicht auf quantitativ zueinander gewählten Gewichtungsfaktoren, sondern auf der

Auswertung von realen Unfalldaten und den dadurch ermittelten Formeln und Faktoren. Diese stellen zur RVS 09.02.22 vom 04.07.2002 [8] eine wesentlich realitätsnähere Methode zur Ermittlung des Gefährdungspotentials eines Tunnels dar, wenn diese auch wie oben erwähnt lediglich auf die Todesfälle und teilweise auf Unfälle mit Personenschaden fokussieren und die Gesamtzahl der Unfälle nicht berücksichtigen (vgl. Kapitel 6).

Die **Entwicklung der Verkehrsunfälle** ist seit zwei Jahren mit Rückgängen von durchschnittlich etwa 15 Prozent pro Jahr positiv. In Österreich kommen in den letzten viereinhalb Jahren bei 22 Prozent aller Unfälle in AS-Tunneln Personen zu Schaden.

Die Brandgefahr ist die wohl meist gefürchtete Gefahr in Tunneln. 3,1 Prozent aller 1.735 erfassten Unfälle haben einen **Brand im Tunnel** zur Folge, von denen wiederum bei 5,6 Prozent Personen zu Schaden kommen. Österreichische Tunnel sind offensichtlich mit ausreichend präventiven Einrichtungen zur Verhinderung von Bränden bzw. zur Unfallminderung im Brandfall ausgestattet, sodass das Brandrisiko in Österreich relativ gering ist.

Gemäß dem **Amtsblatt 2004/54/EG der Europäischen Union** [2] spielen lediglich Tunnel mit einer Länge von mehr als 500 Meter eine wichtige Rolle für die wirtschaftliche Entwicklung. Aus diesem Grund werden Tunnel unter einer **Länge von 500 Meter** in den Vorschriften nicht behandelt. Sie bedürfen keiner Untersuchung und/oder besonderen Ausstattung in Hinblick auf ihre Sicherheit (vgl. Kapitel 6).

Der Vergleich der Auswertungen aller Unfälle bezüglich der **Tunnellängen** (länger und kürzer 500 Meter) ergibt, dass Unfälle in kürzeren Tunneln (bis zu 500 Meter Länge) schwerwiegendere Folgen in Bezug auf die Gesundheit der Unfallbeteiligten haben, als jene bei längeren Tunneln. Weitere Auswertungen ergeben, dass diese vor allem im **Vorportal-/Portalbereich** passieren. Zur Berücksichtigung der Tatsache, dass mehr Unfälle am Beginn eines Tunnels passieren, geht ein Korrekturfaktor für die Tunnellänge in die RVS-Berechnungen der vereinfachten Methode ein. Dieser Faktor verläuft indirekt proportional zur Tunnellänge, das heißt der Basiswert für die Unfallrate – und damit auch das Häufigkeitsäquivalent H – werden bei zunehmender

Tunnellänge abgemindert. Diese Form der Berechnung bewirkt, dass rein rechnerisch weniger häufig Unfälle in längeren Tunneln passieren, als in kürzeren.

Die Ermittlung der jeweils **zwanzig gefährlichsten Tunnel** nach der Gesamtzahl aller Unfälle je 1.000 Fahrzeug-Kilometer, nach der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden je 1.000 Fahrzeug-Kilometer und nach der Anzahl der Unfälle mit Todesfällen je 1.000 Fahrzeug-Kilometer zeigt, bei welchen Tunneln Handlungsbedarf bezüglich ihrer präventiven Maßnahmen zur Unfallvermeidung und bei welchen Tunneln Handlungsbedarf bezüglich ihrer Einrichtungen zur effektiven Schadensminderung bei Zwischenfällen besteht.

Lt. Abb. 27 sind vor allem der Bindermichl, der Niedernhart- und der Grasberg-Tunnel wegen ihrer **hohen Unfallzahlen** verglichen mit ihren relativ geringen Tunnelnängen und geringen Verkehrsaufkommen besonders gefährlich. Bei diesen Tunneln können präventive Maßnahmen zur Unfallvermeidung besonders effektiv sein.

Abb. 29 veranschaulicht die Gefährlichkeit jener zwanzig Tunnel mit den meisten **Unfällen mit Personenschaden** bezogen auf deren Fahrzeug-Kilometer. Beim Wartbergkogel-, Assingberg- und Krieglach-Tunnel können Einrichtungen zur Schadensminderung bei Zwischenfällen im Tunnel besonders effektiv sein.

Bei den Ergebnissen der Auswertungen ist aufgefallen, dass der Karawanken-, der Landeck-, der Arlberg- und auch der Plabutsch-Tunnel trotz (oder auch wegen) ihrer großen Tunnellängen nicht besonders gefährlich sind. Der Kaisermühlen- und der Laaerberg sind trotz ihrem sehr hohen Verkehrsaufkommen verhältnismäßig sicher.

Es kann **keine allgemeine Regel** aus den Auswertungs-Ergebnissen abgeleitet werden, wie zum Beispiel jene, dass mehr Unfälle und/oder Personenschäden in längeren Tunneln bzw. in Tunneln mit höherem Verkehrsaufkommen oder in einröhrigen Tunneln mit Gegenverkehr zustande kommen.

Im Allgemeinen ist die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden bei Tunneln mit einer hohen Gesamt-Unfallzahl höher. Dies trifft jedoch nicht auf die Anzahl der Unfälle mit Todesfällen zu. Diese passieren augenscheinlich vollkommen unabhängig von der Gesamt-Unfallzahl bzw. UPS-Anzahl.

10. VORSCHLÄGE ZUR UMSETZUNG

Investitionsentscheidungen sollten auf Grundlage der Auswertungen aktueller Unfall-Statistiken mit besonderem Augenmerk auf die grundsätzliche Vermeidung von Unfällen basieren. Jeder Tunnel ist anders. Generelle Formeln oder Einrichtungen erscheinen wenig sinnvoll, um den unterschiedlichen Tunnel-Beschaffenheiten gerecht zu werden. Eine laufende Untersuchung in Form von Unfalldaten-Auswertungen und individuell gezieltes Handeln sind unumgänglich, um eine kontinuierliche Verbesserung der Tunnelsicherheit in Österreich gewährleisten zu können (vgl. Abb. 33). In Zukunft soll die **Unfall-Datenbank** jedenfalls weiterhin gewissenhaft und detailliert geführt und ausgewertet werden.



Abb. 33: Optimaler Ablauf zur gezielten und effizienten Verbesserung der Tunnelsicherheit

Möglicherweise ist bei künftigen Tunnel-Baustellen eine detaillierte **Aufschlüsselung der Kosten** nach den lt. RVS 09.02.22 vom 08.04.2010 [9] vorgeschriebenen BuS-Kategorien durchführbar, um aussagekräftige Kosten-Nutzen-Vergleiche der einzelnen Einrichtungen zu ermöglichen.

Die Richtlinien sollten hinsichtlich der Berechnungen zur Ermittlung der Gefährlichkeit eines Tunnels in der Art überarbeitet werden, dass sie **alle Unfälle berücksichtigen** und nicht nur jene mit Personenschaden. Derzeit beruhen die Berechnungsmethoden auf der Auswertung von 447 Tunnelunfällen mit Personenschaden im Zeitraum von 1999 bis 2003. Die Daten sollten erweitert und die Auswertungen aktualisiert werden.

Die Richtlinien zur Tunnelsicherheit sollten mehr Wert auf **präventiven Maßnahmen** zur Verhinderung von Unfällen legen. Die in RVS 09.02.22 [9] je nach Gefährdungsklasse vorgeschriebenen BuS dienen derzeit hauptsächlich der Schadensminderung, Hilfestellung zur Selbstrettung bzw. zur Unterstützung der Rettung von verunglückten Personen im Tunnel. Präventive Maßnahmen sollten als am wirkungsvollsten für die Sicherheit im Tunnel angesehen und bewertet werden. Mögliche präventiv gegen Unfälle wirkende Maßnahmen, die sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Tunneln effektiv sein könnten und in den Richtlinien derzeit nicht in den BuS-Listen vorgesehen sind, wären eine Akustische Fahrstreifenmarkierung, der Ausbau des GSM-Netzes innerhalb von Tunneln, eine wetterbedingte Steuerung der Tunnelbeleuchtung und Maßnahmen gegen das plötzliche Beschlagen von Windschutzscheiben bei der Tunneleinfahrt, z.B. durch Warnhinweise und/oder ausreichende Lüftungen.

Die Auswertungen ergeben, dass Unfälle in kürzeren Tunneln (bis zu 500 Meter Länge) schwerwiegendere Folgen in Bezug auf die Gesundheit der Unfallbeteiligten haben, als jene bei längeren Tunneln. Diese UPS passieren außerdem vor allem im Vorportal-/Portalbereich der kürzeren Tunnel. Auf der Liste der gefährlichsten Tunnel Österreichs befinden sich 10 Tunnel mit einer Länge unter 500 Meter unter den 25 gefährlichsten Tunneln, darunter der Grasberg-, der Assingberg- und der Wartbergkogel-Tunnel (vgl. Abb. 31). Gemäß den untersuchten Richtlinien werden solche Tunnel nicht hinsichtlich ihres Risikos behandelt. Diese sollten aber in Hinblick auf die Untersuchung ihrer Sicherheit nicht vollkommen vernachlässigt werden. Das BMVIT hat eine Richtlinie zur baulichen Gestaltung des Vorportalbereichs erarbeitet,

RVS 09.01.2579, die für Neubau-Tunnel mit einer Länge ab 80 Meter anzuwenden ist. Da diese Richtlinie erst im November 2009 in Kraft trat und damit relativ jung ist, könnten sich ihre Maßnahmen noch in absehbarer Zeit positiv auf die Unfallstatistik auswirken. Diese RVS sollte dennoch in Bezug auf die vorgeschriebenen präventiven Maßnahmen und auf die Gültigkeitsbeschränkung für kurze Tunnel überprüft und gegebenenfalls überarbeitet werden, um möglicherweise das Unfallrisiko der Alleinunfälle bei kurzen Tunneln im Vorportal-/Portalbereich minimieren zu können.

Zur Berücksichtigung der Tatsache, dass mehr Unfälle am Beginn eines Tunnels passieren, geht ein Korrekturfaktor für die Tunnellänge in die RVS-Berechnungen der vereinfachten Methode ein. Diese Form der Berechnung bewirkt, dass rein rechnerisch weniger häufig Unfälle in längeren Tunneln passieren, als in kürzeren. Dass mehr **Unfälle am Beginn eines Tunnels** passieren, ist unabhängig von der Tunnelnänge und sollte daher anders berücksichtigt werden.

Lt. Abb. 27 sind vor allem der Bindermichl, der Niedernhart- und der Grasberg-Tunnel wegen ihrer **hohen Unfallzahlen** verglichen mit ihren relativ geringen Tunnelnängen (der Grasbergtunnel ist sogar kürzer als 400 Meter) und relativ geringen Verkehrsaufkommen **besonders gefährlich**. Bei diesen Tunneln sollten präventive Maßnahmen zur Unfallvermeidung gesetzt werden.

Abb. 29 veranschaulicht die Gefährlichkeit jener zwanzig Tunnel mit den meisten **Unfällen mit Personenschaden** bezogen auf deren Fahrzeug-Kilometer. Beim Wartbergkogel-, Assingberg- und Krieglach-Tunnel sollten Einrichtungen zur Schadensminderung bei Zwischenfällen effektiver gemacht oder nachgerüstet werden.

Bei den Ergebnissen der Auswertungen ist aufgefallen, dass der Karawanken-, der Landeck-, der Arlberg- und auch der Plabutsch-Tunnel trotz (oder auch wegen) ihrer großen Tunnellängen **nicht besonders gefährlich** sind. Der Kaisermühlen- und der Laaerberg sind trotz ihrem sehr hohen Verkehrsaufkommen verhältnismäßig sicher. Eine Untersuchung dieser Tunnel hinsichtlich ihrer Einrichtungen kann möglicherweise Informationen über die Effektivität mancher präventiver oder schadensmindernder

⁷⁹ [7] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.01.25; Tunnelbau – Bauliche Gestaltung Vorportalbereich. Wien, 20.11.2009

Einrichtungen geben, die bei der Nachrüstung gefährlicher Tunnel hilfreich für den **gezielten Einsatz von Maßnahmen** sein können.

Im Allgemeinen ist die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden bei Tunneln mit einer hohen Gesamt-Unfallzahl höher. Dies trifft jedoch nicht auf die Anzahl der Unfälle mit Todesfällen zu. Diese passieren augenscheinlich vollkommen unabhängig von der Gesamt-Unfallzahl bzw. UPS-Anzahl. Dies bestätigt einerseits, dass die Gefährlichkeit von Tunneln nicht nur nach deren Todesfällen plausibel ermittelt werden kann, sondern auch jene Unfälle mit reinem Sachschaden und jene mit Verletzten eine große Rolle für die Tunnelsicherheit spielen und andererseits, dass präventive Maßnahmen zur Unfallvermeidung vermehrt in die RVS-Berechnungen eingehen sollten. Die Richtlinien sollten dahingehend überarbeitet werden.

11. ZUSAMMENFASSUNG

In einem Tunnel sind die Auswirkungen eines Zwischenfalls aufgrund der vorgegebenen Wege zur Selbstrettung bzw. der nur eingeschränkt möglichen Zugangswege für Hilfs- und Rettungskräfte wesentlich gravierender als auf freier Strecke. Selbst ein kleiner Zwischenfall in einem Tunnel kann katastrophale Auswirkungen haben.

Nach einigen folgenschweren Unfällen in österreichischen, aber auch in ausländischen Tunneln, ist die Sensibilität der Bevölkerung bezüglich der Sicherheit in Tunneln, insbesondere in Verbindung mit Brandentwicklung, in den letzten Jahren gestiegen. Dies hat möglicherweise auch dazu beigetragen, dass Investitionen in die Tunnelsicherheit oft nicht in Frage gestellt werden und daher auch kaum argumentiert werden (müssen). Die Folgen sind – zumindest laut Medienmeldungen – im Allgemeinen sichere österreichische Tunnel (im europäischen Vergleich), aber auch, einer Untersuchung des Rechnungshofs [12] zufolge, sehr hohe (zu hohe?) Investitionskosten.

Mit zunehmendem Verkehr und höheren Anforderungen an die Sicherheit werden das Straßen- und Tunnelnetz in Österreich weiter ausgebaut werden; bestehende Tunnel werden gewartet und entsprechend nachgerüstet. Sowohl die Tunnelsicherheit als auch deren Investitionen werden an Bedeutung gewinnen. Damit steigt auch der Bedarf an effizienten Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in österreichischen Tunneln.

Ziel dieser Arbeit war, mit Hilfe der Analyse der aktuellen Gesetzeslage und Auswertung der aktuellen Unfall-Statistik unter Berücksichtigung betriebs- und volkswirtschaftlicher Grundsätze gezielte Umsetzungshinweise für Maßnahmen geben zu können, die Österreichs bestehende, aber auch geplante Tunnel langfristig und möglichst wirtschaftlich sicherer machen.

Ein Tunnel kann als vergleichsweise sicher bezeichnet werden, wenn dort entweder in erster Linie wenige Unfälle passieren oder – im Falle eines Unfalls – das Ausmaß durch sinnvolle und in Anspruch genommene Maßnahmen effektiv gemindert werden kann, ausreichend Möglichkeit zur Selbstrettung oder eine wirksame Fremdrettung sichergestellt werden kann, sodass möglichst keine Personen zu Schaden kommen.

Die **Analyse der gesetzlichen Richtlinien** hat ergeben, dass diese in einigen Punkten entsprechend überarbeitet und angepasst werden sollten:

Derzeit bedürfen Tunnel mit einer Länge von **weniger als 500 Meter** keiner Untersuchung und/oder besonderen Ausstattung hinsichtlich ihrer Sicherheit. Dabei hat die Auswertung der Unfall-Statistik ergeben, dass gerade bei kürzeren Tunneln verhältnismäßig schwerwiegendere Unfälle passieren, vor allem im Vorportal-/Portalbereich.

Grundsätzlich sehen sämtliche Richtlinien zur Tunnelsicherheit **zu wenige präventive Maßnahmen** zur Vermeidung von Unfällen vor. Die in RVS 09.02.22 [8] bzw. [9] je nach Gefährdungsklasse vorgeschriebenen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen dienen hauptsächlich der Schadensminderung, Hilfestellung zur Selbstrettung bzw. zur Unterstützung der Rettung von verunglückten Personen im Tunnel. Präventive Maßnahmen, wie z.B. die automatische Stau-, Gefahrgut- und Schwelbranderkennung und die damit verbunden erforderliche Handlungskette (Informationsübertragung) zur Verhinderung von Unfällen, sollten als am wirkungsvollsten für die Sicherheit im Tunnel angesehen und bewertet werden. Die Liste der BuS könnte durch weitere Sicherheits-Maßnahmen erweitert werden, wie z.B. durch akustische Fahrstreifenmarkierungen oder den Ausbau des GSM-Netzes in Tunneln.

Der Nutzen von Investitionen und Maßnahmen für die Tunnelsicherheit beschränkt sich nicht nur auf die mögliche Rettung von Menschenleben. Investitionen und Maßnahmen sollen in erster Linie so eingesetzt werden, dass sie möglichst **Unfälle aller Art** verhindern. Der Nutzen von Maßnahmen für die Tunnelsicherheit betrifft also auch alle anderen damit verhinderten Unfälle – jene mit Verletzten und auch jene mit reinem Sachschaden, die bei einer Kosten-Nutzen-Rechnung nicht zu vernachlässigen sind.

Der überarbeitete Begutachtungsentwurf vom 08.04.2010 [9] verweist u.a. auf die in RVS 09.02.31 [10] beschriebene vereinfachte Methode zur Gefährdungsklassen-

Ermittlung, bei der Faktoren in die Berechnung eingehen, die auf Auswertungen erfasster **Tunnel-Unfalldaten** basieren. Dies stellt eine wesentliche Verbesserung zur vorangegangenen Ausgabe dieser Richtlinie vom 04.07.2002 [8] dar, bei der gewählte Gewichtungsfaktoren in die Berechnungen eingingen. Die Berechnungen beruhen dennoch nur auf Auswertungen von Unfällen mit Personenschaden und resultieren in einem Risikoerwartungswert, der sich, unabhängig von der Gesamtzahl der Unfälle, lediglich auf die Todesfälle pro Jahr bezieht.

Die **Auswertung der Unfall-Datenbank** hat ergeben, dass die Verkehrsunfälle in Tunneln seit zwei Jahren um durchschnittlich 15 Prozent pro Jahr rückläufig sind. Im Erfassungszeitraum von Jänner 2006 bis Juli 2010 wurden 1.735 Unfälle erfasst, von denen bei 22 Prozent Personen zu Schaden kamen. In 54 Fällen ist ein Brand im Tunnel ausgebrochen, von denen bei 3 Bränden Personen zu Schaden kamen. Österreichische Tunnel sind diesbezüglich offensichtlich mit ausreichend präventiven Einrichtungen zur Verhinderung von Bränden bzw. zur Unfallminderung im Brandfall ausgestattet.

Der Vergleich der Auswertungen bezüglich der **Unfalltypen** aller Unfälle mit jenen mit Personenschaden in Kapitel 7.4 ergibt, dass Unfälle im Portalbereich von kürzeren Tunneln bis zu 500 Meter Länge schwerwiegendere Folgen in Bezug auf das Wohl der Unfallbeteiligten haben, als jene in diesem Bereich bei längeren Tunneln. Dies bestätigt die Erkenntnis aus Kapitel 7.3, dass der Anteil von UPS bei kürzeren Tunneln höher ist und zeigt, dass diese vor allem im Vorportal-/Portalbereich passieren.

Die Ermittlung der jeweils zwanzig **gefährlichsten Tunnel** nach drei unterschiedlichen Kriterien, der Gesamtzahl aller Unfälle (vgl. 7.5.1), der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (vgl. 7.5.2) und der Anzahl der Unfälle mit Todesfolge (vgl. 7.5.3) zeigt, bei welchen Tunneln Handlungsbedarf hinsichtlich ihrer präventiven Einrichtungen zur effektiven Vermeidung von Unfällen oder hinsichtlich ihrer Einrichtungen zur effektiven Schadensminderung bei Zwischenfällen besteht. Die Untersuchung dieser und auch der Vergleich mit besonders sicheren Tunneln können Aufschluss darüber geben, ob und welche präventive oder schadensmindernde Maßnahmen nachgerüstet werden können, um den jeweiligen Tunnel gezielt und effektiv sicherer zu machen.

Kosten-Nutzen-Abwägungen von Sicherheitseinrichtungen in Tunneln und Maßnahmen zur Senkung des Tunnelrisikos sind und bleiben bedeutend für Investitionsentscheidungen. „In einem großen Teil der ökonomischen Literatur wird der WSL, der Wert eines statistischen Lebens (siehe dazu Kapitel 5.1), als ein sinnvolles Instrument für Kosten-Nutzen-Rechnungen im öffentlichen Finanzwesen beschrieben.“⁸⁰ Der WSL in Österreich beträgt derzeit zwischen drei und fünf Millionen Euro.⁸¹ Investitionen bis fünf Millionen Euro sind also in Österreich aus volkswirtschaftlicher Sicht lohnend, wenn sie mit statistischer Wahrscheinlichkeit mindestens ein Menschenleben retten.

Investitionsentscheidungen sollten auf Grundlage der Auswertungen aktueller Unfall-Statistiken mit besonderem Augenmerk auf die grundsätzliche Vermeidung von Unfällen basieren.

Effiziente Maßnahmen für die Tunnelsicherheit müssen nicht immer mit aufwendigen und kostspieligen Einrichtungen, also mit hohen Investitionen in Verbindung gebracht werden. Oft helfen einfache, weniger aufwendige Maßnahmen, um Unfälle zu vermeiden und die Sicherheit zu erhöhen – und damit die Effizienz zu steigern.

⁸⁰ vgl. [3] KLARE, Seite 48

⁸¹ vgl. [3] KLARE, Seite 47, 50

12. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] EUROFORUM Deutschland GmbH Düsseldorf; Dokumentation der 3. EUROFORUM-Veranstaltung „Brandschutz im Tunnelwesen“ von 14. bis 16. Januar 2008 in Berlin; Eigenverlag, Januar 2008
- [2] Europäische Union; Richtlinie 2004/54/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz. Amtsblatt der Europäischen Union L 167, 30.04.2004
- [3] J. KLARE; Was bin ich wert? Eine Preisermittlung. Suhrkamp Verlag, Berlin, 2010
- [4] Kuratorium für Verkehrssicherheit – Verkehrstechnik Forschung; Sicherheitsvergleich von Tunnels – Verkehrssicherheitsvergleich von Tunneln mit Gegenverkehr und Tunneln mit Richtungsverkehr mit anderen Straßenarten, Bericht im Auftrag des BMVIT, Eigenverlag, 25.04.2005
- [5] R. MOSER, F. GRAF; Akustisches Tunnelmonitoring AKUT – Die weltweit erste Pilotumsetzung ist in Betrieb. F&E Schriftenreihe der ASFINAG Nr. 2, erstellt in Kooperation mit Joanneum Research; Eigenverlag, Wien, Juni 2010
- [6] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.01.24; Tunnelbau – Bauliche Anlagen. Wien, 18.08.2009
- [7] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.01.25; Tunnelbau – Bauliche Gestaltung Vorportalbereich. Wien, 20.11.2009
- [8] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.02.22; Tunnelausrüstung, Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen. Wien, 04.07.2002
- [9] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.02.22; Tunnelausrüstung, Betrieb und Sicherheit, Begutachtungsentwurf. Wien, 08.04.2010
- [10] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.02.31; Tunnelausrüstung, Belüftung, Grundlagen. Wien, 04.12.2008

- [11] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr FSV; RVS 09.03.11: Tunnelsicherheit, Tunnel-Risikoanalysemodell. Wien, 01.06.2008
- [12] Rechnungshof; Investitionen in die Tunnelsicherheit. Eigenverlag, Wien, Februar 2010

13. QUELLENVERZEICHNIS

- [1] ASFinAG, Tunneldaten, Stand: Juli 2010
- [2] ASFinAG, Unfalldaten, Stand: 1. August 2010
- [3] ASFinAG, Risikoerwartungswerte, Stand: Juli 2010
- [4] ILF ZT GmbH, Risikoerwartungswerte, Stand: Mai 2010
- [5] Statistik Austria, <http://www.statistik.at/>

ANHANG

A1 TUNNELLISTEN

A1.1 Einröhrige AS-Tunnel in Betrieb – in alphabetischer Reihenfolge

Nr.	Tunnelname	Strecke	Länge	JDTV10	Röhren	Eröffnung
1	Altmannsdorf	A 23	89	k.A.	1	1978
2	Arlberg	S 16	13.972	10.518	1	1978
3	Bosruck	A 9	5.509	10.213	1 (2. in Bau)	1983
4	Citytunnel Bregenz	A 14	1.311	15.240	1	1984
5	Dalaas	S 16	1.810	12.065	1 (2. in Pl.)	1979
6	Donau City Straße	A 22	344	k.A.	1	1996
7	Eben	A 10	1.300	k.A.	1	2009
8	Falkenstein	A 9	783	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
9	Flirsch	S 16	1.518	11.265	1 (2. in Pl.)	1979
10	Gleinalm	A 9	8.431	18.982	1 (2. in Pl.)	1978
11	Gondebach	S 16	354	k.A.	1	1979
12	Hirschstetten Rampe	A 23	196	82.431	1	1993
13	Islam. Zentrum	A 22	344	102.247	1	1985
14	Karawanken Nord	A 11	7.864	6.913	1	1991
15	Klaus	A 9	2.192	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
16	Landeck	A 12	6.955	7.841	1	2000
17	Mixnitz	S 35	670	14.915	1	2005
18	Perjen	S 16	2.993	12.527	1 (2. in Pl.)	1983
19	Pettneuer	S 16	285	10.518	1	1980
20	Pfänder	A 14	6.718	28.510	1 (2. in Bau)	1980
21	Spering	A 9	2.862	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
22	Stadlau Rampe	A 23	412	103.683	1	1993
23	Traunfried	A 9	447	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
24	Vösendorf Rampe 101	S 1	265	61.404	1	2006
25	Vösendorf Rampe 106	S 1	265	61.404	1	2006
26	Waldnerberg	A 9	237	15.681	1	1995

A1.2 Zweiröhrige AS-Tunnel in Betrieb – in alphabetischer Reihenfolge

Nr.	Tunnelname	Strecke	Länge	JDTV10	Röhren	Eröffnung
1	Absberg	A 23	228	137.654	2	2000
2	Amberg	A 14	2.983	41.030	2	1985
3	Assingberg	A 2	251	20.798	2	1982
4	Bärentunnel	A 2	93	21.978	2	2004
5	Bergisel	A 13	479	32.310	2	1967
6	Bettlerkreuz	A 2	350	25.553	2	1999
7	Bindermichl	A 7	1.072	103.987	2	2004
8	Brentenberg	A 10	567	37.710	2	1977
9	Bruck	S 6	1.244	15.311	2	1987
10	Donnersberg	A 2	869	25.814	2	1990
11	Ehrentalerberg	A 2	3.338	26.079	2	1996
12	Eibesbrunn	A 5	460	k.A.	2	2010
13	EN12	A 22	130	80.560	2	1981
14	EN13	A 22	98	80.560	2	1981
15	Eselstein	S 6	175	14.961	2	1989
16	Falkenberg	A 2	1.130	27.943	2	1995
17	Farchern Ost	A 2	230	29.250	2	1999
18	Farchern West	A 2	140	29.250	2	1999
19	Ganzstein	S 6	2.118	17.024	2	1980
20	Gols	A 4	100	k.A.	2	1994
21	Gräbern	A 2	2.145	21.682	2	1986
22	Grasberg	S 6	372	14.961	2	1989
23	Gratkorn Nord	A 9	673	41.892	2	1982
24	Gratkorn Süd	A 9	794	41.892	2	1982
25	Großliedl	A 2	397	19.708	2	1982
26	Gschwendnerberg	A 9	100	15.681	2	2003
27	Gurnau	S 16	355	14.393	2	1994
28	Haberberg	A 2	407	25.814	2	1990
29	Haidach	A 2	450	29.250	2	1999
30	Helbersberg	A 10	805	37.710	2	1977
31	Herzogberg	A 2	1.987	20.791	2	1982
32	Hiefler	A 10	1.995	38.284	2	1974
33	Hinterburg	A 9	221	17.956	2	2004
34	Hirschstetten	A 23	390	82.431	2	1993
35	Hungerbichl	A 9	526	17.956	2	2003
36	Kaisermühlen	A 22	2.135	104.630	2	1989
37	Kalcherkogel	A 2	1.981	20.470	2	1982
38	Kaltenbachtal	S 35	1.088	k.A.	2	2010
39	Katschberg	A 10	5.470	15.701	2	1974
40	Kienberg	A 9	1.458	17.956	2	2003
41	Kirchdorf	S 35	2.730	k.A.	2	2010
42	Kollmann	A 2	633	25.814	2	1990
43	Königsberg	A 2	176	k.A.	2	1997
44	Kremsursprung	A 9	903	17.956	2	2004

45	Krenngraben	A 9	325	15.681	2	2003
46	Kreuzenstein	S 1	1.465	k.A.	2	2010
47	Kreuzergegend	A 2	600	25.814	2	1999
48	Krieglach	S 6	275	21.865	2	1989
49	Kroislerwand	A 10	679	23.450	2	1986
50	Laaerberg	A 23	290	134.265	2	1978
51	Lainberg	A 9	2.205	15.681	2	1997
52	Langen	S 16	2.357	11.808	2	1991
53	Lendorf	A 2	800	27.943	2	1995
54	Liefering	A 1	503	82.861	2	2000
55	Malfonbach	S 16	370	12.335	2	1979
56	Massenberg	S 6	413	12.648	2	1965
57	Mils	A 12	1.753	19.235	2	1988
58	Mitterberg	A 2	1.139	20.470	2	1982
59	Mönchhof	A 4	100	k.A.	2	1994
60	Mötz-Kirchenriese	A 12	175	20.456	2	1986
61	Mötz-Schlenzenmure	A 12	240	20.456	2	1986
62	Mötz-Simmering	A 12	860	20.456	2	1986
63	Mötz-Steinbruchmure	A 12	180	20.456	2	1986
64	Neusiedl	A 4	100	k.A.	2	1994
65	Niedernhart	A 7	579	95.742	2	2005
66	Niklasdorf	S 6	1.273	19.679	2	1986
67	Noitzmühle	A 8	1.633	17.045	2	2003
68	Oberaich	S 6	195	20.499	2	1987
69	Ofenauer	A 10	1.353	38.284	2	1974
70	Ostbahn Kurztunnel	S 1	120	55.242	2	2006
71	Oswaldiberg	A 10	4.302	22.496	2	1988
72	Ottsdorf	A 9	1.944	17.956	2	2004
73	Parndorf	A 4	100	k.A.	2	1994
74	Pianner	S 16	698	14.393	2	1994
75	Plabutsch	A 9	9.989	32.126	2	1987
76	Pretallerkogel	A 9	495	21.435	2	1993
77	Quadratsch	S 16	798	14.393	2	1994
78	Rannersdorf	S 1	1.880	53.258	2	2006
79	Reigersdorf	A 2	300	29.250	2	1999
80	Reit	A 10	416	31.824	2	1979
81	Roppen	A 12	5.100	17.463	2	1990
82	Roßleithen	A 9	247	15.681	2	1997
83	Rottenmann	A 9	400	k.A.	2	1990
84	Rustenfeld	S 1	300	60.272	2	2006
85	Schartnerkogel	A 9	1.291	23.137	2	1978
86	Schölmberg	A 9	170	15.681	2	2003
87	Schönberg	A 13	884	42.447	2	1992
88	Schwechat Tieflage	S 1	190	54.842	2	2006
89	Selzthal	A 9	983	26.126	2	1980
90	Semmering	S 6	3.452	13.898	2	2004
91	Sonnenburgerhof	A 13	164	14.811	2	1974

92	Spital	S 6	2.544	12.887	2	2003
93	St. Andrä	A 10	470	28.183	2	1988
94	St. Niklas	A 11	700	8.846	2	1992
95	St. Pankraz	A 9	125	15.681	2	2003
96	St. Ruprecht	S 6	620	15.311	2	1987
97	Stadlau	A 23	465	103.683	2	1993
98	Steinhaus	S 6	1.838	13.898	2	2004
99	Steinhaus Taxlberg	A 8	2.347	17.045	2	2003
100	Stetten	S 1	2.619	k.A.	2	2010
101	Strengen	S 16	5.813	11.967	2	2005
102	Tanzenberg	S 6	2.415	25.937	2	1983
103	Tauern	A 10	6.474	16.529	2	1975
104	Tradenberg	S 1	2.441	k.A.	2	2010
105	Trebesing	A 10	848	21.292	2	2006
106	Tretter	A 9	299	17.956	2	2004
107	Trettning	A 2	450	27.943	2	1995
108	Übelskogel	A 2	370	19.708	2	1982
109	Vösendorf	S 1	901	61.404	2	2006
110	Wald	A 9	2.826	21.435	2	1993
111	Wartberg I	A 9	527	19.008	2	1990
112	Wartberg II	A 9	211	19.008	2	1990
113	Wartberg III	A 9	255	19.008	2	1990
114	Wartbergkogel	S 6	151	22.590	2	1989
115	Weiden	A 4	100	k.A.	2	1994
116	Wilten	A 12	509	38.742	2	1977
117	Wolfsberg	A 10	813	23.067	2	1973
118	Zetzenberg	A 10	548	37.710	2	1977
119	Zurndorf	A 4	100	k.A.	2	1994

A1.3 AS-Tunnel < 500 Meter in Betrieb – geordnet nach Länge, aufsteigend

Nr.	Tunnelname	Strecke	Länge	JDTV10	Röhren	Eröffnung
1	Altmannsdorf	A 23	89	k.A.	1	1978
2	Bärentunnel	A 2	93	21.978	2	2004
3	EN13	A 22	98	80.560	2	1981
4	Gols	A 4	100	k.A.	2	1994
5	Gschwendnerberg	A 9	100	15.681	2	2003
6	Mönchhof	A 4	100	k.A.	2	1994
7	Neusiedl	A 4	100	k.A.	2	1994
8	Parndorf	A 4	100	k.A.	2	1994
9	Weiden	A 4	100	k.A.	2	1994
10	Zurndorf	A 4	100	k.A.	2	1994
11	Ostbahn Kurztunnel	S 1	120	55.242	2	2006
12	St. Pankraz	A 9	125	15.681	2	2003
13	EN12	A 22	130	80.560	2	1981
14	Farchern West	A 2	140	29.250	2	1999
15	Wartbergkogel	S 6	151	22.590	2	1989
16	Sonnenburgerhof	A 13	164	14.811	2	1974
17	Schölmberg	A 9	170	15.681	2	2003
18	Eselstein	S 6	175	14.961	2	1989
19	Mötz-Kirchenriese	A 12	175	20.456	2	1986
20	Königsberg	A 2	176	k.A.	2	1997
21	Mötz-Steinbruchmure	A 12	180	20.456	2	1986
22	Schwechat Tieflage	S 1	190	54.842	2	2006
23	Oberaich	S 6	195	20.499	2	1987
24	Hirschstetten Rampe	A 23	196	82.431	1	1993
25	Wartberg II	A 9	211	19.008	2	1990
26	Hinterburg	A 9	221	17.956	2	2004
27	Absberg	A 23	228	137.654	2	2000
28	Farchern Ost	A 2	230	29.250	2	1999
29	Waldnerberg	A 9	237	15.681	1	1995
30	Mötz-Schlenzenmure	A 12	240	20.456	2	1986
31	Roßleithen	A 9	247	15.681	2	1997
32	Assingberg	A 2	251	20.798	2	1982
33	Wartberg III	A 9	255	19.008	2	1990
34	Vösendorf Rampe 101	S 1	265	61.404	1	2006
35	Vösendorf Rampe 106	S 1	265	61.404	1	2006
36	Krieglach	S 6	275	21.865	2	1989
37	Pettneuer	S 16	285	10.518	1	1980
38	Laaerberg	A 23	290	134.265	2	1978
39	Tretter	A 9	299	17.956	2	2004
40	Reigersdorf	A 2	300	29.250	2	1999
41	Rustenfeld	S 1	300	60.272	2	2006
42	Krenngraben	A 9	325	15.681	2	2003
43	Donau City Straße	A 22	344	k.A.	1	1996
44	Islam. Zentrum	A 22	344	102.247	1	1985

45	Bettlerkreuz	A 2	350	25.553	2	1999
46	Gondebach	S 16	354	k.A.	1	1979
47	Gurnau	S 16	355	14.393	2	1994
48	Malfonbach	S 16	370	12.335	2	1979
49	Übelskogel	A 2	370	19.708	2	1982
50	Grasberg	S 6	372	14.961	2	1989
51	Hirschstetten	A 23	390	82.431	2	1993
52	Großliedl	A 2	397	19.708	2	1982
53	Rottenmann	A 9	400	k.A.	2	1990
54	Haberberg	A 2	407	25.814	2	1990
55	Stadlau Rampe	A 23	412	103.683	1	1993
56	Massenberg	S 6	413	12.648	2	1965
57	Reit	A 10	416	31.824	2	1979
58	Traunfried	A 9	447	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
59	Haidach	A 2	450	29.250	2	1999
60	Trettning	A 2	450	27.943	2	1995
61	Eibesbrunn	A 5	460	k.A.	2	2010
62	Stadlau	A 23	465	103.683	2	1993
63	St. Andrä	A 10	470	28.183	2	1988
64	Bergisel	A 13	479	32.310	2	1967
65	Pretallerkogel	A 9	495	21.435	2	1993

A1.4 AS-Tunnel \geq 500 Meter in Betrieb – geordnet nach Länge, aufsteigend

Nr.	Tunnelname	Strecke	Länge	JDTV10	Röhren	Eröffnung
1	Liefering	A 1	503	82.861	2	2000
2	Wilten	A 12	509	38.742	2	1977
3	Hungerbichl	A 9	526	17.956	2	2003
4	Wartberg I	A 9	527	19.008	2	1990
5	Zetzenberg	A 10	548	37.710	2	1977
6	Brentenberg	A 10	567	37.710	2	1977
7	Niederhart	A 7	579	95.742	2	2005
8	Kreuzergegend	A 2	600	25.814	2	1999
9	St. Ruprecht	S 6	620	15.311	2	1987
10	Kollmann	A 2	633	25.814	2	1990
11	Mixnitz	S 35	670	14.915	1	2005
12	Gratkorn Nord	A 9	673	41.892	2	1982
13	Kroislerwand	A 10	679	23.450	2	1986
14	Pianner	S 16	698	14.393	2	1994
15	St. Niklas	A 11	700	8.846	2	1992
16	Falkenstein	A 9	783	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
17	Gratkorn Süd	A 9	794	41.892	2	1982
18	Quadratsch	S 16	798	14.393	2	1994
19	Lendorf	A 2	800	27.943	2	1995
20	Helbersberg	A 10	805	37.710	2	1977
21	Wolfsberg	A 10	813	23.067	2	1973
22	Trebesing	A 10	848	21.292	2	2006
23	Mötz-Simmering	A 12	860	20.456	2	1986
24	Donnersberg	A 2	869	25.814	2	1990
25	Schönberg	A 13	884	42.447	2	1992
26	Vösendorf	S 1	901	61.404	2	2006
27	Kremsursprung	A 9	903	17.956	2	2004
28	Selzthal	A 9	983	26.126	2	1980
29	Bindermichl	A 7	1.072	103.987	2	2004
30	Kaltenbachtal	S 35	1.088	k.A.	2	2010
31	Falkenberg	A 2	1.130	27.943	2	1995
32	Mitterberg	A 2	1.139	20.470	2	1982
33	Bruck	S 6	1.244	15.311	2	1987
34	Niklasdorf	S 6	1.273	19.679	2	1986
35	Schartnerkogel	A 9	1.291	23.137	2	1978
36	Eben	A 10	1.300	k.A.	1	2009
37	Citytunnel Bregenz	A 14	1.311	15.240	1	1984
38	Ofenauer	A 10	1.353	38.284	2	1974
39	Kienberg	A 9	1.458	17.956	2	2003
40	Kreuzenstein	S 1	1.465	k.A.	2	2010
41	Flirsch	S 16	1.518	11.265	1 (2. in Pl.)	1979
42	Noitzmühle	A 8	1.633	17.045	2	2003
43	Mils	A 12	1.753	19.235	2	1988
44	Dalaas	S 16	1.810	12.065	1 (2. in Pl.)	1979

45	Steinhaus	S 6	1.838	13.898	2	2004
46	Rannersdorf	S 1	1.880	53.258	2	2006
47	Ottsdorf	A 9	1.944	17.956	2	2004
48	Kalcherkogel	A 2	1.981	20.470	2	1982
49	Herzogberg	A 2	1.987	20.791	2	1982
50	Hiefler	A 10	1.995	38.284	2	1974
51	Ganzstein	S 6	2.118	17.024	2	1980
52	Kaisermühlen	A 22	2.135	104.630	2	1989
53	Gräbern	A 2	2.145	21.682	2	1986
54	Klaus	A 9	2.192	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
55	Lainberg	A 9	2.205	15.681	2	1997
56	Steinhaus Taxlberg	A 8	2.347	17.045	2	2003
57	Langen	S 16	2.357	11.808	2	1991
58	Tanzenberg	S 6	2.415	25.937	2	1983
59	Tradenberg	S 1	2.441	k.A.	2	2010
60	Spital	S 6	2.544	12.887	2	2003
61	Stetten	S 1	2.619	k.A.	2	2010
62	Kirchdorf	S 35	2.730	k.A.	2	2010
63	Wald	A 9	2.826	21.435	2	1993
64	Spering	A 9	2.862	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
65	Amberg	A 14	2.983	41.030	2	1985
66	Perjen	S 16	2.993	12.527	1 (2. in Pl.)	1983
67	Ehrentalerberg	A 2	3.338	26.079	2	1996
68	Semmering	S 6	3.452	13.898	2	2004
69	Oswaldiberg	A 10	4.302	22.496	2	1988
70	Roppen	A 12	5.100	17.463	2	1990
71	Katschberg	A 10	5.470	15.701	2	1974
72	Bosruck	A 9	5.509	10.213	1 (2. in Bau)	1983
73	Strengen	S 16	5.813	11.967	2	2005
74	Tauern	A 10	6.474	16.529	2	1975
75	Pfänder	A 14	6.718	28.510	1 (2. in Bau)	1980
76	Landeck	A 12	6.955	7.841	1	2000
77	Karawanken Nord	A 11	7.864	6.913	1	1991
78	Gleinalm	A 9	8.431	18.982	1 (2. in Pl.)	1978
79	Plabutsch	A 9	9.989	32.126	2	1987
80	Arlberg	S 16	13.972	10.518	1	1978

A1.5 AS-Tunnel – geordnet nach Verkehrsaufkommen (JDTV), absteigend

Nr.	Tunnelname	Strecke	Länge	JDTV10	Röhren	Eröffnung
1	Absberg	A 23	228	137.654	2	2000
2	Laaerberg	A 23	290	134.265	2	1978
3	Kaisermühlen	A 22	2.135	104.630	2	1989
4	Bindermichl	A 7	1.072	103.987	2	2004
5	Stadlau	A 23	465	103.683	2	1993
6	Stadlau Rampe	A 23	412	103.683	1	1993
7	Islam. Zentrum	A 22	344	102.247	1	1985
8	Niedernhart	A 7	579	95.742	2	2005
9	Liefering	A 1	503	82.861	2	2000
10	Hirschstetten	A 23	390	82.431	2	1993
11	Hirschstetten Rampe	A 23	196	82.431	1	1993
12	EN12	A 22	130	80.560	2	1981
13	EN13	A 22	98	80.560	2	1981
14	Vösendorf	S 1	901	61.404	2	2006
15	Vösendorf Rampe 101	S 1	265	61.404	1	2006
16	Vösendorf Rampe 106	S 1	265	61.404	1	2006
17	Rustenfeld	S 1	300	60.272	2	2006
18	Ostbahn Kurztunnel	S 1	120	55.242	2	2006
19	Schwechat Tieflage	S 1	190	54.842	2	2006
20	Rannersdorf	S 1	1.880	53.258	2	2006
21	Schönberg	A 13	884	42.447	2	1992
22	Gratkorn Nord	A 9	673	41.892	2	1982
23	Gratkorn Süd	A 9	794	41.892	2	1982
24	Amberg	A 14	2.983	41.030	2	1985
25	Wilten	A 12	509	38.742	2	1977
26	Hiefler	A 10	1.995	38.284	2	1974
27	Ofenauer	A 10	1.353	38.284	2	1974
28	Brentenberg	A 10	567	37.710	2	1977
29	Helbersberg	A 10	805	37.710	2	1977
30	Zetzenberg	A 10	548	37.710	2	1977
31	Bergisel	A 13	479	32.310	2	1967
32	Plabutsch	A 9	9.989	32.126	2	1987
33	Reit	A 10	416	31.824	2	1979
34	Farchern Ost	A 2	230	29.250	2	1999
35	Farchern West	A 2	140	29.250	2	1999
36	Haidach	A 2	450	29.250	2	1999
37	Reigersdorf	A 2	300	29.250	2	1999
38	Pfänder	A 14	6.718	28.510	1 (2. in Bau)	1980
39	St. Andrä	A 10	470	28.183	2	1988
40	Falkenberg	A 2	1.130	27.943	2	1995
41	Lendorf	A 2	800	27.943	2	1995
42	Trettning	A 2	450	27.943	2	1995
43	Selzthal	A 9	983	26.126	2	1980
44	Ehrentalerberg	A 2	3.338	26.079	2	1996

45	Tanzenberg	S 6	2.415	25.937	2	1983
46	Donnersberg	A 2	869	25.814	2	1990
47	Haberberg	A 2	407	25.814	2	1990
48	Kollmann	A 2	633	25.814	2	1990
49	Kreuzergegend	A 2	600	25.814	2	1999
50	Bettlerkreuz	A 2	350	25.553	2	1999
51	Kroislerwand	A 10	679	23.450	2	1986
52	Schartnerkogel	A 9	1.291	23.137	2	1978
53	Wolfsberg	A 10	813	23.067	2	1973
54	Wartbergkogel	S 6	151	22.590	2	1989
55	Oswaldiberg	A 10	4.302	22.496	2	1988
56	Bärentunnel	A 2	93	21.978	2	2004
57	Krieglach	S 6	275	21.865	2	1989
58	Gräbern	A 2	2.145	21.682	2	1986
59	Pretallerkogel	A 9	495	21.435	2	1993
60	Wald	A 9	2.826	21.435	2	1993
61	Trebesing	A 10	848	21.292	2	2006
62	Assingberg	A 2	251	20.798	2	1982
63	Herzogberg	A 2	1.987	20.791	2	1982
64	Oberaich	S 6	195	20.499	2	1987
65	Kalcherkogel	A 2	1.981	20.470	2	1982
66	Mitterberg	A 2	1.139	20.470	2	1982
67	Mötz-Kirchenriese	A 12	175	20.456	2	1986
68	Mötz-Schlenzenmure	A 12	240	20.456	2	1986
69	Mötz-Simmering	A 12	860	20.456	2	1986
70	Mötz-Steinbruchmure	A 12	180	20.456	2	1986
71	Großliedl	A 2	397	19.708	2	1982
72	Übelskogel	A 2	370	19.708	2	1982
73	Niklasdorf	S 6	1.273	19.679	2	1986
74	Mils	A 12	1.753	19.235	2	1988
75	Wartberg I	A 9	527	19.008	2	1990
76	Wartberg II	A 9	211	19.008	2	1990
77	Wartberg III	A 9	255	19.008	2	1990
78	Gleinalm	A 9	8.431	18.982	1 (2. in Pl.)	1978
79	Hinterburg	A 9	221	17.956	2	2004
80	Hungerbichl	A 9	526	17.956	2	2003
81	Kienberg	A 9	1.458	17.956	2	2003
82	Kremsursprung	A 9	903	17.956	2	2004
83	Ottsdorf	A 9	1.944	17.956	2	2004
84	Tretter	A 9	299	17.956	2	2004
85	Roppen	A 12	5.100	17.463	2	1990
86	Noitzmühle	A 8	1.633	17.045	2	2003
87	Steinhaus Taxlberg	A 8	2.347	17.045	2	2003
88	Ganzstein	S 6	2.118	17.024	2	1980
89	Tauern	A 10	6.474	16.529	2	1975
90	Falkenstein	A 9	783	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
91	Klaus	A 9	2.192	16.061	1 (2. in Pl.)	2003

92	Spering	A 9	2.862	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
93	Traunfried	A 9	447	16.061	1 (2. in Pl.)	2003
94	Katschberg	A 10	5.470	15.701	2	1974
95	Gschwendnerberg	A 9	100	15.681	2	2003
96	Krenngraben	A 9	325	15.681	2	2003
97	Lainberg	A 9	2.205	15.681	2	1997
98	Roßleithen	A 9	247	15.681	2	1997
99	Schölmburg	A 9	170	15.681	2	2003
100	St. Pankraz	A 9	125	15.681	2	2003
101	Waldnerberg	A 9	237	15.681	1	1995
102	Bruck	S 6	1.244	15.311	2	1987
103	St. Ruprecht	S 6	620	15.311	2	1987
104	Citytunnel Bregenz	A 14	1.311	15.240	1	1984
105	Eselstein	S 6	175	14.961	2	1989
106	Grasberg	S 6	372	14.961	2	1989
107	Mixnitz	S 35	670	14.915	1	2005
108	Sonnenburgerhof	A 13	164	14.811	2	1974
109	Gurnau	S 16	355	14.393	2	1994
110	Pianner	S 16	698	14.393	2	1994
111	Quadratsch	S 16	798	14.393	2	1994
112	Semmering	S 6	3.452	13.898	2	2004
113	Steinhaus	S 6	1.838	13.898	2	2004
114	Spital	S 6	2.544	12.887	2	2003
115	Massenberg	S 6	413	12.648	2	1965
116	Perjen	S 16	2.993	12.527	1 (2. in Pl.)	1983
117	Malfonbach	S 16	370	12.335	2	1979
118	Dalaas	S 16	1.810	12.065	1 (2. in Pl.)	1979
119	Strengen	S 16	5.813	11.967	2	2005
120	Langen	S 16	2.357	11.808	2	1991
121	Flirsch	S 16	1.518	11.265	1 (2. in Pl.)	1979
122	Arlberg	S 16	13.972	10.518	1	1978
123	Pettneuer	S 16	285	10.518	1	1980
124	Bosruck	A 9	5.509	10.213	1 (2. in Bau)	1983
125	St. Niklas	A 11	700	8.846	2	1992
126	Landeck	A 12	6.955	7.841	1	2000
127	Karawanken Nord	A 11	7.864	6.913	1	1991
128	Altmannsdorf	A 23	89	k.A.	1	1978
129	Donau City Straße	A 22	344	k.A.	1	1996
130	Eben	A 10	1.300	k.A.	1	2009
131	Eibesbrunn	A 5	460	k.A.	2	2010
132	Gols	A 4	100	k.A.	2	1994
133	Gondebach	S 16	354	k.A.	1	1979
134	Kaltenbachtal	S 35	1.088	k.A.	2	2010
135	Kirchdorf	S 35	2.730	k.A.	2	2010
136	Königsberg	A 2	176	k.A.	2	1997
137	Kreuzenstein	S 1	1.465	k.A.	2	2010
138	Mönchhof	A 4	100	k.A.	2	1994

139	Neusiedl	A 4	100	k.A.	2	1994
140	Parndorf	A 4	100	k.A.	2	1994
141	Rottenmann	A 9	400	k.A.	2	1990
142	Stetten	S 1	2.619	k.A.	2	2010
143	Tradenberg	S 1	2.441	k.A.	2	2010
144	Weiden	A 4	100	k.A.	2	1994
145	Zurndorf	A 4	100	k.A.	2	1994

A2 DIE GEFÄHRLICHSTEN TUNNEL

A2.1 AS-Tunnel mit ihrer relativen Gefährlichkeit (farblich dargestellt) unterschiedlicher Kategorien (Unfälle U, Unfälle mit Personenschaden UPS und Unfälle mit Todesfällen UT) je 1.000 Fahrzeug-Kilometer – geordnet nach ihrer Gesamtgefährlichkeit (U + UPS mit dem Faktor 2 + UT mit dem Faktor 3)

Nr.	Tunnelname	Strecke	Kfz-km	U/1000 kfz-km	UPS/1000 kfz-km	UT/1000 kfz-km	Gefährlichkeit
1	Bindermichl	A 7	111.474	3,15	0,42	0,00	3,99
2	Niedernhart	A 7	55.387	2,85	0,18	0,00	3,21
3	Grasberg<	S 6	5.565	1,80	0,36	0,18	2,70
4	Assingberg<	A 2	5.220	1,34	0,57	0,00	2,49
5	St. Ruprecht	S 6	9.493	1,37	0,42	0,00	2,21
6	Wartbergkogel<	S 6	3.400	0,88	0,59	0,00	2,06
7	Vösendorf	S 1	55.325	1,43	0,23	0,02	1,92
8	Hinterburg<	A 9	3.968	1,76	0,00	0,00	1,76
9	Krieglach<	S 6	6.013	0,67	0,50	0,00	1,66
10	Noitzmühle	A 8	27.834	1,08	0,22	0,00	1,51
11	Absberg<	A 23	31.385	0,99	0,19	0,00	1,37
12	Tretter<	A 9	5.369	0,93	0,19	0,00	1,30
13	Hungerbichl	A 9	9.436	0,64	0,32	0,00	1,27
14	Bosruck*	A 9	56.263	0,82	0,21	0,00	1,24
15	Trettning<	A 2	12.574	0,87	0,16	0,00	1,19
16	Wartberg I	A 9	10.017	0,70	0,20	0,00	1,10
17	Liefering	A 1	41.679	0,74	0,17	0,00	1,08
18	Steinhaus	S 6	25.545	0,59	0,20	0,04	1,02
19	Spital	S 6	32.785	0,73	0,12	0,00	0,98
20	Ostbahn Kurztunnel<	S 1	6.629	0,30	0,30	0,00	0,91
21	Stadlau<	A 23	48.213	0,66	0,10	0,00	0,87
22	Quadratsch	S 16	11.486	0,35	0,26	0,00	0,87
23	Tauern	A 10	107.000	0,47	0,14	0,02	0,77
24	Massenberg<	S 6	5.224	0,38	0,19	0,00	0,77
25	Oberaich<	S 6	3.987	0,25	0,25	0,00	0,75
26	Brentenberg	A 10	21.382	0,37	0,19	0,00	0,75
27	Langen	S 16	27.826	0,50	0,11	0,00	0,72
28	Ottsdorf	A 9	34.906	0,60	0,06	0,00	0,72
29	Flirsch*	S 16	17.100	0,47	0,12	0,00	0,70
30	Ofenauer	A 10	51.779	0,39	0,15	0,00	0,70
31	Tanzenberg	S 6	62.638	0,32	0,18	0,00	0,67
32	Pfänder*	A 14	191.530	0,39	0,13	0,01	0,66
33	St. Niklas	A 11	6.192	0,32	0,16	0,00	0,65
34	Dalaas*	S 16	21.838	0,37	0,14	0,00	0,64
35	Helbersberg	A 10	30.338	0,49	0,07	0,00	0,63
36	Amberg	A 14	122.392	0,35	0,11	0,03	0,61

37	Krenngraben<	A 9	5.096	0,20	0,20	0,00	0,59
38	Roppen	A 12	89.061	0,36	0,11	0,00	0,58
39	Haberberg<	A 2	10.506	0,38	0,10	0,00	0,57
40	Semmering	S 6	47.969	0,48	0,04	0,00	0,56
41	Katschberg	A 10	85.884	0,35	0,09	0,00	0,54
42	Steinhaus Taxlberg	A 8	40.005	0,37	0,07	0,00	0,52
43	St. Pankraz<	A 9	1.960	0,51	0,00	0,00	0,51
44	Wilten	A 12	19.720	0,20	0,15	0,00	0,51
45	Kremsursprung	A 9	16.205	0,37	0,06	0,00	0,49
46	Gratkorn Süd	A 9	33.262	0,18	0,15	0,00	0,48
47	Schwechat Tieflage<	S 1	10.420	0,19	0,10	0,10	0,48
48	Klaus*	A 9	35.206	0,20	0,11	0,03	0,45
49	St. Andrä<	A 10	13.246	0,15	0,15	0,00	0,45
50	Citytunnel Bregenz*	A 14	19.980	0,15	0,15	0,00	0,45
51	Bettlerkreuz<	A 2	8.944	0,11	0,11	0,11	0,45
52	Herzogberg	A 2	41.312	0,34	0,05	0,00	0,44
53	Gleinalm*	A 9	160.037	0,26	0,09	0,00	0,43
54	Zetzenberg	A 10	20.665	0,29	0,05	0,00	0,39
55	Mitterberg	A 2	23.305	0,30	0,04	0,00	0,39
56	Eselstein<	S 6	2.618	0,38	0,00	0,00	0,38
57	Schartnerkogel	A 9	29.858	0,27	0,03	0,03	0,37
58	Ganzstein	S 6	36.048	0,19	0,08	0,00	0,36
59	Laaerberg<	A 23	38.937	0,26	0,05	0,00	0,36
60	Strengen	S 16	69.564	0,24	0,06	0,00	0,36
61	Kalcherkogel	A 2	40.541	0,30	0,02	0,00	0,35
62	Reigersdorf<	A 2	8.775	0,34	0,00	0,00	0,34
63	Kaisermühlen	A 22	223.333	0,25	0,04	0,00	0,33
64	Mils	A 12	33.709	0,21	0,06	0,00	0,33
65	Kreuzergegend	A 2	15.488	0,19	0,06	0,00	0,32
66	Wolfsberg	A 10	18.742	0,21	0,05	0,00	0,32
67	Niklasdorf	S 6	25.042	0,24	0,04	0,00	0,32
68	Bruck	S 6	19.039	0,21	0,05	0,00	0,32
69	Ehrentalerberg	A 2	87.039	0,23	0,03	0,00	0,30
70	Farchern Ost<	A 2	6.728	0,30	0,00	0,00	0,30
71	Wald	A 9	60.575	0,20	0,05	0,00	0,30
72	Plabutsch	A 9	320.907	0,17	0,06	0,01	0,29
73	Falkenberg	A 2	31.576	0,22	0,03	0,00	0,29
74	Pretallerkogel<	A 9	10.610	0,09	0,09	0,00	0,28
75	Hiefler	A 10	76.377	0,17	0,05	0,00	0,27
76	Übelskogel<	A 2	7.292	0,27	0,00	0,00	0,27
77	Kienberg	A 9	26.180	0,15	0,04	0,04	0,27
78	Wartberg II<	A 9	4.011	0,25	0,00	0,00	0,25
79	Kollmann	A 2	16.327	0,24	0,00	0,00	0,24
80	Perjen*	S 16	37.493	0,19	0,03	0,00	0,24
81	Spering*	A 9	45.967	0,09	0,07	0,02	0,24
82	Rannersdorf	S 1	100.125	0,18	0,02	0,01	0,23
83	Trebesing	A 10	18.056	0,22	0,00	0,00	0,22

84	Arlberg*	S 16	146.957	0,14	0,03	0,01	0,22
85	Hirschstetten<	A 23	32.148	0,16	0,03	0,00	0,22
86	Gratkorn Nord	A 9	28.172	0,14	0,04	0,00	0,21
87	Oswaldiberg	A 10	96.778	0,14	0,03	0,00	0,21
88	Selzthal	A 9	25.682	0,08	0,04	0,04	0,19
89	Lainberg	A 9	34.569	0,12	0,03	0,00	0,17
90	Islam. Zentrum*<	A 22	35.173	0,06	0,06	0,00	0,17
91	Rustenfeld<	S 1	18.082	0,17	0,00	0,00	0,17
92	Falkenstein*	A 9	12.576	0,16	0,00	0,00	0,16
93	Traunfried*<	A 9	7.179	0,14	0,00	0,00	0,14
94	Lendorf	A 2	22.354	0,13	0,00	0,00	0,13
95	Gräbern	A 2	46.497	0,06	0,02	0,02	0,13
96	Großliedl<	A 2	7.814	0,13	0,00	0,00	0,13
97	Kroislerwand	A 10	15.923	0,13	0,00	0,00	0,13
98	Landeck*	A 12	54.534	0,06	0,02	0,02	0,11
99	Reit<	A 10	13.223	0,08	0,00	0,00	0,08
100	Donnersberg	A 2	22.432	0,04	0,00	0,00	0,04
101	Karawanken Nord*	A 11	54.364	0,04	0,00	0,00	0,04
102	Stadlau Rampe*<	A 23	42.717	0,00	0,00	0,00	0,00
103	Schönberg	A 13	37.523	0,00	0,00	0,00	0,00
104	Mötz-Simmering	A 12	17.592	0,00	0,00	0,00	0,00
105	Vösendorf Rampe 101*<	S 1	16.272	0,00	0,00	0,00	0,00
106	Vösendorf Rampe 106*<	S 1	16.272	0,00	0,00	0,00	0,00
107	Hirschstetten Rampe*<	A 23	16.156	0,00	0,00	0,00	0,00
108	Bergisel<	A 13	15.460	0,00	0,00	0,00	0,00
109	Haidach<	A 2	13.163	0,00	0,00	0,00	0,00
110	EN12<	A 22	10.473	0,00	0,00	0,00	0,00
111	Pians	S 16	10.046	0,00	0,00	0,00	0,00
112	Mixnitz*	S 35	9.993	0,00	0,00	0,00	0,00
113	EN13<	A 22	7.855	0,00	0,00	0,00	0,00
114	Gurnau<	S 16	5.110	0,00	0,00	0,00	0,00
115	Mötz-Schlenzenmure<	A 12	4.909	0,00	0,00	0,00	0,00
116	Wartberg III<	A 9	4.847	0,00	0,00	0,00	0,00
117	Malfonbach<	S 16	4.564	0,00	0,00	0,00	0,00
118	Farchern West<	A 2	4.095	0,00	0,00	0,00	0,00
119	Roßleithen<	A 9	3.873	0,00	0,00	0,00	0,00
120	Waldnerberg*<	A 9	3.716	0,00	0,00	0,00	0,00
121	Mötz-Steinbruchmure<	A 12	3.682	0,00	0,00	0,00	0,00
122	Mötz-Kirchenriese<	A 12	3.580	0,00	0,00	0,00	0,00
123	Pettneuer*<	S 16	2.998	0,00	0,00	0,00	0,00
124	Schölmburg<	A 9	2.658	0,00	0,00	0,00	0,00
125	Sonnenburgerhof<	A 13	2.429	0,00	0,00	0,00	0,00
126	Bärentunnel<	A 2	2.044	0,00	0,00	0,00	0,00
127	Gschwendnerberg<	A 9	1.568	0,00	0,00	0,00	0,00
128	Altmannsdorf*<	A 23	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
129	Donau City Straße*<	A 22	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
130	Eben*	A 10	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

131	Eibesbrunn<	A 5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
132	Gols<	A 4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
133	Gondebach*<	S 16	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
134	Kaltenbachtal	S 35	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
135	Kirchdorf	S 35	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
136	Königsberg<	A 2	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
137	Kreuzenstein	S 1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
138	Mönchhof<	A 4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
139	Neusiedl<	A 4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
140	Parndorf<	A 4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
141	Rottenmann<	A 9	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
142	Stetten	S 1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
143	Tradenberg	S 1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
144	Weiden<	A 4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
145	Zurndorf<	A 4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

*einröhrige Tunnel

<.....Tunnellänge <500m

A2.2 AS-Tunnel nach ihrer relativen Gesamtgefährlichkeit (U + UPS mit dem Faktor 2 + UT mit dem Faktor 3)

