

Verfahren zur Kategorisierung von Straßentunneln gemäß ADR 2007

FE 03.0437/2007/FRB
FE 86.0050/2008

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
und der Länder

BUNG Ingenieure AG

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baltzer
Dipl.-Ing. Werner Riepe
Dipl.-Ing. Uwe Zimmermann

Ernst Basler + Partner

Dipl.-Ing. ETH Christoph Zulauf
Dipl.-Ing. ETH Dominique Imhof

Planung Transport Verkehr AG (PTV)

Dr.-Ing. Georg Mayer

Kurzbericht
März 2009

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung und Ausgangslage	1
1.1 Risiken von Gefahrguttransporten durch Straßentunnel	1
1.2 Regulative Forderungen	1
1.3 Umsetzung in Deutschland	2
2 Risikoanalysen für Gefahrguttransporte durch Straßentunnel	2
3 Risikobasiertes Verfahren zur Umsetzung der ADR-Forderungen für Tunnel in Deutschland	2
3.1 Übersicht zum Verfahren	2
3.2 Stufe 1a: Grobselektion	3
3.3 Stufe 1b: Ermittlung des intrinsischen Risikos anhand des OECD/PIARC QRA Modells	3
3.4 Stufe 2a: Vertiefte Analyse des intrinsischen Risiko des Tunnels	4
3.5 Stufe 2b: Überprüfung der Risiken auf Umfahungsstrecken	6
4 Schlussfolgerungen	6

Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Zulässigkeit von Gefahrguttransporten durch Straßentunnel und zur Festlegung etwaiger Transportbeschränkungen sind gemäß geltenden Vorschriften risikobasierte Untersuchungen vorzunehmen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes einer Bund-/Länderarbeitsgruppe wurde unter der Leitung der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt ein mehrstufiges Verfahren entwickelt, anhand dessen die Risiken aus dem Transport gefährlicher Güter durch Straßentunnel analysiert und beurteilt sowie der Bedarf nach Transportbeschränkungen ermittelt werden können. Das entwickelte Verfahren ist ein Hilfsmittel, das einen einheitlichen Umgang mit der Thematik ermöglichen soll. Die Initiative und diese Herangehensweise wurden auf der Verkehrsministerkonferenz vom Oktober 2007 für Deutschland beschlossen.

1 Einleitung und Ausgangslage

1.1 Risiken von Gefahrguttransporten durch Straßentunnel

Vor dem Hintergrund verschiedener schwerer Unfälle in Straßentunneln wurde in den vergangenen Jahren die Frage nach möglichen Risiken bei einer möglichen Beteiligung von Gefahrgütern verstärkt diskutiert. Freisetzungen von Gefahrgut sind zwar erfahrungsgemäß sehr seltene Ereignisse, aufgrund der spezifischen Eigenschaften der Gefahrgüter können sie aber ein erheblich größeres Schadenpotenzial aufweisen, als etwa "herkömmliche" Tunnelbrände.

1.2 Regulative Forderungen

Auf Seiten der regulativen Forderungen sind in der jüngeren Vergangenheit bedeutende Neuerungen im Zusammenhang mit dem Transport von Gefahrgütern durch Straßentunnel erfolgt:

- *ADR 2007/2009* [ADR 2007],[ADR 2009]: Das Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) regelt auf europäischer Ebene die Grundsätze zum Transport von Gefahrgut auf der Straße und bezeichnet die zugehörigen Vorschriften. In der Fassung des ADR von 2007 wurden neue Bestimmungen für Straßentunnel eingeführt. Sie verlangen eine einheitliche Regelung und Kennzeichnung bei Durchfahrtsbeschränkungen von Gefahrguttransporten durch Tunnel. Etwaige Beschränkungen sollen auf einer Risikoanalyse abgestützt werden und die Tunnel – je nach Grad der resultierenden Transportbeschränkung – bis zum 31.12.2009 einer Tunnelkategorie A bis E zugeordnet werden (vgl. Bild 1). Folgende Wirkungsarten von Gefahrguttransporten sind gemäß ADR aus Blickwinkel der (Personen-)Risiken zu berücksichtigen:
 - Explosions-/Druckwirkung
 - Toxizität
 - Brandwirkung
- *Tunnelrichtlinie 2004/54/EG* [EG 2004]: Gemäß der Tunnelrichtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz (TERN) ist für alle Tunnel mit einer Länge von mindestens 500 m, die innerhalb des TERN liegen, vor der Festlegung bzw. Änderungen der Vorschriften bezüglich Gefahrguttransporten eine Risikoanalyse gemäß Artikel 13 durchzuführen. Die Umsetzung der Richtlinie für in Betrieb genommene Tunnel hat bis zum 30.04.2014 zu erfolgen.
- *RABT 2006* [RABT 2006]: In den Deutschen "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln" (RABT 2006) ist geregelt, dass für alle Tunnel mit einer Länge ab 400 m Risikoanalysen durchzuführen sind, wenn Festlegungen bzw. Änderungen der Vorschriften bzgl. Gefahrguttransporte vorgenommen werden. Bei Vorhandensein von Umfahrungstrecken sind diese in das Risikoanalyseverfahren einzubeziehen. Darüber hinaus sind beim Vorliegen einer besonderen Charakteristik des Tunnels hinsichtlich der Gefahrguttransporte ebenfalls Risikoanalysen gefordert.

Tunnel-kategorie ADR	Beschränkung
A	keine Beschränkung für gefährliche Güter (UN 2919 und 3331, siehe ADR, Abs. 8.6.3.1)
B	Beschränkungen für gefährliche Güter, die zu einer sehr grossen Explosion führen können
C	Beschränkungen für gefährliche Güter, die zu einer/einem <ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr grossen Explosion ▪ grossen Explosion ▪ Umfangreiches Freiwerden giftiger Stoffe führen können
D	Beschränkungen für gefährliche Güter, die zu einer/einem <ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr grossen Explosion ▪ grossen Explosion ▪ Umfangreiches Freiwerden giftiger Stoff ▪ grossen Brand führen können
E	Beschränkungen für alle gefährlichen Güter (ausser UN-Nummern 2919, 3291, 3331, 3359 and 3373)

Tab. 1: Tunnelkategorien nach ADR¹

1.3 Umsetzung in Deutschland

Mit den genannten Vorschriften und Richtlinien ergibt sich zur Erlangung einer Rechtssicherheit bei eventuellen Durchfahrtsbeschränkungen für Gefahrguttransporte der Bedarf einer bundeseinheitlichen Anwendungsregelung. Diese soll unabhängig von der Tunnellänge und dem Baulastträger für alle neuen und im Bestand befindlichen Tunnel gelten.

2 Risikoanalysen für Gefahrguttransporte durch Straßentunnel

In der Vergangenheit wurde verschiedentlich, oft ohne auf eine spezifische Risikountersuchung zurückgreifen zu können, anhand pauschaler Einschätzungen über ein generelles Verbot oder

¹ Es gilt darauf hinzuweisen, dass die Einteilung der Tunnelkategorien nach ADR streng genommen nicht auf einer risikobasierten Betrachtung basiert sondern auf einer Betrachtung der Schadenpotenziale, d. h. ohne Berücksichtigung der wahrscheinlichen Häufigkeit der betrachteten Schäden.

eine grundsätzliche Zulassung von Gefahrguttransporten durch Tunnel entschieden. Solche Entscheidungen sind oft maßgeblich beeinflusst von subjektiv geprägten Grundhaltungen, die von Verantwortungsträgern und Beteiligten eingebracht werden. Zudem standen einheitlich anerkannte Verfahren für eine risikobasierte Bewertung nur eingeschränkt zur Verfügung und das Vorgehen zur Entscheidungsfindung war nicht geregelt.

Für die Untersuchung von Risiken beim Transport gefährlicher Güter durch Straßentunnel liegen heute verschiedene Methoden und Anwendungserfahrungen im In- und Ausland vor. Das Spektrum der angewandten Methoden ist sehr breit und reicht von Experteneinschätzungen, bei denen die Risiken von Gefahrguttransporten durch einen Tunnel qualitativ beurteilt werden, über andere qualitative und semiquantitative Verfahren bis hin zu rein quantitativen Verfahren.

Qualitative und vereinfachte quantitative Verfahren können die komplexen Interaktionen zwischen Tunnel, Tunnelnutzern, Sicherheitsausstattung und Gefahrgutwirkungen nur bedingt erfassen. Um die komplexen Zusammenhänge hinreichend abbilden zu können, haben sich in der Praxis vorwiegend quantitative Verfahren durchgesetzt. Durch die Quantifizierung werden die erforderlichen Annahmen und Modellparameter transparent dargelegt. Maßnahmen auf Basis von quantitativen Risikoanalysen haben so den Vorteil, dass sie auf einer objektivierbaren und diskutierbaren Grundlage basieren, auch wenn für die Bewertung der Tragbarkeit von Risiken durchaus Ermessensspielräume bestehen.

3 Risikobasiertes Verfahren zur Umsetzung der ADR-Forderungen für Tunnel in Deutschland

3.1 Übersicht zum Verfahren

Im Rahmen eines Forschungsprojektes einer Bund-/Länderarbeitsgruppe wurde unter der Leitung der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt im Zeitraum von Februar 2008 bis März 2009 ein Vorschlag für ein risikobasiertes, mehrstufiges Verfahren entwickelt, mit dem Straßentunnel einer Tunnelkategorie nach ADR 2007 zugeordnet werden können [ADR 2007]. Eine schematische Übersicht zum Verfahren ist in der nachfolgendem Bild 1 dargestellt.

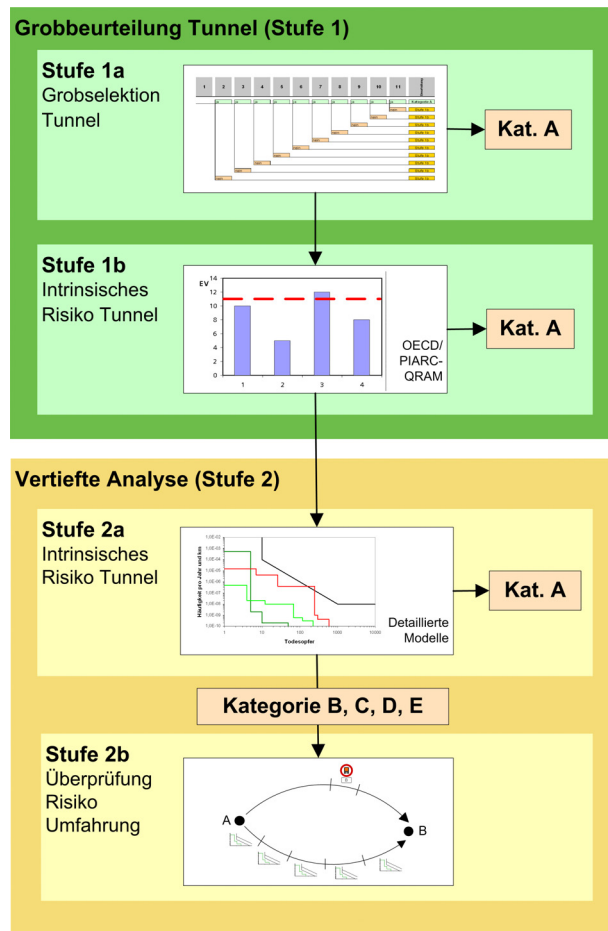


Bild 1: Verfahrensablauf - Schema

Das Verfahren ist mehrstufig aufgebaut und gliedert sich in eine Grobbeurteilung (Stufe 1) und eine vertiefte Analyse (Stufe 2), die wiederum in zwei Substufen unterteilt sind:

- Stufe 1a: Grobselektion
- Stufe 1b: Ermittlung des intrinsischen Risiko anhand des OECD/PIARC QRA Modells
- Stufe 2a: Vertiefte Analyse des intrinsischen Risiko des Tunnels mit detaillierten Modellen
- Stufe 2b: Überprüfung der Risiken auf einer Umfahrgestrecke

3.2 Stufe 1a: Grobselektion

In der Stufe 1a des Verfahrens werden risikorelevante, charakteristische Kenngrößen des zu untersuchenden Tunnels wie beispielsweise Länge, Längsneigung, Sicherheitsausstattung oder Angaben zum Verkehr überprüft (vgl. Entscheidungsbaum in Bild 2).

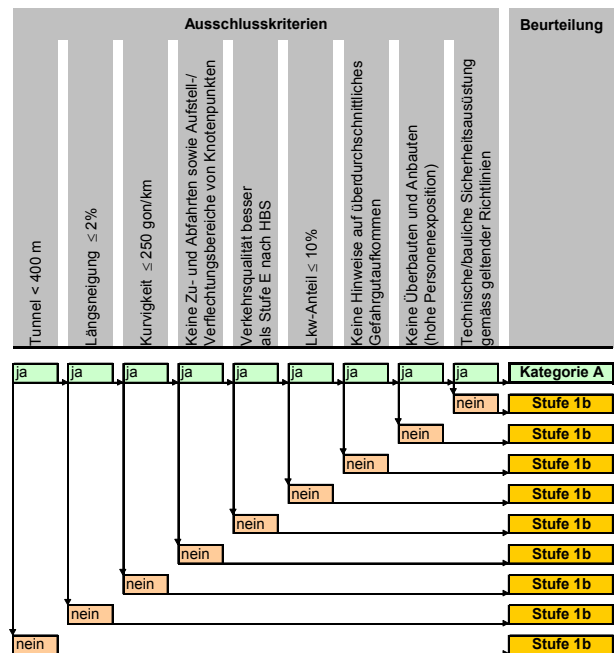


Bild 2: Stufe 1a - Kenngrößenverfahren

Liegen alle Kenngrößen unterhalb der definierten Schwellenwerte, so können Gefahrguttransporte uneingeschränkt durch den Tunnel zugelassen bzw. der Tunnel der Kategorie A gemäß ADR zugeordnet werden. Andernfalls sind weitergehende Abklärungen zur Ermittlung der Risiken bzw. des Bedarfs nach etwaigen Transportbeschränkungen erforderlich (Stufe 1b des Verfahrens).

Die Überprüfung der Tunnel-Kenngrößen basiert auf einer sehr pragmatischen Vorgehensweise, die mit geringem Aufwand ohne vertiefte Kenntnisse zu Risikoanalysen durchgeführt werden kann. Die Festlegung der zu berücksichtigenden Kenngrößen sowie der Schwellenwerte wurde aus Erkenntnissen und Erfahrungen aus verschiedenen bereits durchgeführten detaillierten Risikoanalysen abgeleitet. Weist der Tunnel eine Charakteristik auf, die ggf. sicherheitsrelevant ist aber durch die Grobselektion nicht berücksichtigt wird, ist der Tunnel in einer der nächsten Stufen zu untersuchen, mit der die Besonderheiten abgebildet werden können

3.3 Stufe 1b: Ermittlung des intrinsischen Risikos anhand des OECD/PIARC QRA Modells

In der Stufe 1b des Verfahrens werden die Risiken aus dem Transport gefährlicher Güter für den jeweiligen Tunnel anhand einer kommerziellen

Software, dem OECD/PIARC² QRA Modell, quantitativ ermittelt [INER 2005b]. Mit Hilfe dieses Modells können standardmässig die resultierenden Risiken für 13 Szenarien (davon elf Gefahrgutszenarien) quantifiziert werden (vgl. Tab. 2).

Nr.	Szenario
1	Brand eines Schwerverkehrsfahrzeuges, 20 MW
2	Brand eines Schwerverkehrsfahrzeuges, 100 MW
3	BLEVE ³ einer 50 kg-Propangasflasche
4	Lachenbrand von 28 t freigesetztem Treibstoff
5	Gaswolkenexplosion freigesetzter Treibstoffdämpfe, Freisetzung 28 t
6	Austreten giftiger Gase aus einem Chlortank (20 t)
7	BLEVE von 18 t Propangastank
8	Gaswolkenexplosion von ausgetretenem Propan aus 18 t Gastank
9	Freistrahbrand von unter Druck austretendem Propan aus 18 t Gastank
10	Freisetzung von 18 t Ammoniak aus einem Tank
11	Freisetzung von Acrolein aus einem 25 t Tank
12	Freisetzung von Acrolein 100 l aus Flaschen
13	Druckwirkung einer Gasexplosion von 20 t verflüssigtem CO ₂ („kalter BLEVE“)

Tab. 2: Szenarien des OECD/PIARC QRA Modells⁴

Das OECD/PIARC QRA Modell ist verhältnismässig einfach handhabbar und wird heute bereits in verschiedenen Ländern angewandt. Wie die bisherigen Erfahrungen zeigen, werden die Risiken mit dem vorliegenden Standard-Modell teilweise sehr konservativ bewertet. Dies ist zum einem darauf zurück zu führen, dass das Modell bewusst von konservativen (worst case) Betrachtungen ausgeht, zum anderen können die in der Software hinterleg-

ten Ausbreitungsmodelle die komplexen spezifischen Tunnelcharakteristika nur begrenzt abbilden. Für die Zwecke der Grobanalyse steht mit dem Modell jedoch ein sinnvolles Hilfsmittel zur Verfügung.

Zur Anwendung im vorliegenden Verfahren wurden im Rahmen des Forschungsprojektes spezifische Vorgaben zum einheitlichen Umgang vorgeschlagen. Ferner wurden Schwellenwerte für die mit dem Modell ermittelten Schadenerwartungswerte (kollektive Risiken) empfohlen, bei deren Unterschreitung auf eine weitere Untersuchung des Tunnels verzichtet werden kann und eine Beschränkung von Gefahrguttransporten nicht erforderlich ist. Der Tunnel kann in diesen Fällen der Kategorie A gemäß ADR zugeordnet werden.

3.4 Stufe 2a: Vertiefte Analyse des intrinsischen Risiko des Tunnels

Zeigt sich, dass für einen zu untersuchenden Tunnel auf Basis der Grobbeurteilung (Stufen 1a und 1b) keine Freigabe für Gefahrguttransporte abgeleitet werden kann, werden im Zuge vertiefender Analysen die Risiken detaillierter ermittelt und die gegebenenfalls erforderlichen Beschränkungen nach ADR bestimmt. Um die Freisetzungsvorgänge und die Wirkungsmechanismen eines Gefahrstoffes nach dessen Freisetzung im Tunnel detaillierter abbilden zu können, wurde auf Basis bereits vorliegender Studien eine spezifische Methode entwickelt. Dabei kommen zur Ausmaßermittlung hoch auflösende Strömungs- und Ausbreitungs-, Wirkungs-, Flucht- und Evakuierungs- sowie bei Bedarf Verkehrsflussmodelle zum Einsatz.

Das Spektrum der transportierten Gefahrgüter und der verschiedenen Wirkarten sowie der transportierten Mengen und Transportbinde ist ausgesprochen breit und kann im Rahmen einer Risikoanalyse nicht vollumfänglich abgedeckt werden. Aus diesem Grund wurden mittels repräsentativer Stoffe – so genannter Leitstoffe – die maßgebenden Gefahrgutwirkungen (Explosions-/Druckwirkungen, Toxizität und Brandwirkungen) abgebildet und zugehörige Ereignisszenarien definiert (vgl. Tab. 3). Die Leitstoffe Benzin, Propan, Chlor und Trinitrotoluol stehen dabei stellvertretend für alle Stoffe, deren zu berücksichtigende charakteristische Gefahrgutwirkung vergleichbar ist:

² OECD: Organisation for Economic Cooperation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung); PIARC: Weltstrassenverband

³ Unter einem BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) versteht man den Vorgang, der durch schlagartiges Entzünden nach einer Freisetzung infolge Behälterbersten durch grosse mechanische Einwirkung oder Hitzeeinwirkung erfolgt.

⁴ Bei den Szenarien 1 und 2 handelt es sich um Brände von Schwerverkehrsfahrzeugen ohne Beteiligung von Gefahrgut, die in der Stufe 1b nicht berücksichtigt werden.

Leitstoff	Nr.	Szenario	Menge	Wirkung
Benzin	1	Tanktransport; spontane oder kontinuierliche Freisetzung von rund 20 m ³ .	15 t	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sofortige Zündung und Lachenbrand ▪ Lachenbildung, verzögerte Zündung ▪ Rauchgasausbreitung
	2	Transport in Kleingebinden; spontane oder kontinuierliche Freisetzung von rund 10 m ³ .	8 t	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sofortige Zündung und Lachenbrand ▪ Lachenbildung, verzögerte Zündung ▪ Rauchgasausbreitung
Propan	3	Tanktransport; spontane oder kontinuierliche Freisetzung mit einer Rate von 400 kg/s bzw. 30 kg/s.	12 t	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sofortige Zündung und BLEVE ▪ Verzögerte Zündung und Gaswolkenbrand und / oder Freistrahbrand
	4	Transport in Kleingebinden, spontane oder kontinuierliche Freisetzung mit einer Rate von 400 kg/s bzw. 30 kg/s.	1 t	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sofortige Zündung und BLEVE ▪ Verzögerte Zündung und Gaswolkenbrand und / oder Freistrahbrand
Chlor	5	Tanktransport; spontane Freisetzung von 4 t	4 t	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwergasausbreitung und humantoxische Wirkungen
	6	Transport in Kleingebinden (Gesamtmenge < 50kg); spontane Freisetzung	50 kg ⁵	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwergasausbreitung und humantoxische Wirkungen
TNT	7	Transport von 1.000 kg TNT-Äquivalent. Nach einem Unfall gerät das Transportfahrzeug in Brand, durch den eine Explosion ausgelöst wird.	1 t	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verzögerte Zündung und Detonation (sowie mögliche Verdämmungseffekte)
	8	Transport von 100 kg TNT-Äquivalent. Nach einem Unfall gerät das Transportfahrzeug in Brand, durch den eine Explosion ausgelöst wird.	100 kg	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verzögerte Zündung und Detonation (sowie mögliche Verdämmungseffekte)

Tab. 3: Zu untersuchende Szenarien der Stufe 2 des Verfahrens

Die gewählten Leitstoffe und Szenarien weichen teilweise von denjenigen des für die Stufe 1b des Verfahrens verwendeten OECD/PIARC QRA Modells ab. Zum einen werden die im OECD/PIARC QRA Modell verwendeten Stoffe zur Abbildung der toxischen Wirkung (Acrolein, Ammoniak, Chlor) vereinfachend unter dem Leitstoff Chlor zusammengefasst. Zum anderen werden Druckwirkungen infolge Explosion anstelle von CO₂, welches sich nur bedingt zur Abbildung von Explosionswirkungen eignet, mit dem Leitstoff TNT abgebildet.

Die Leitstoffe und die Szenarien sowie die berücksichtigten Freisetzungsmengen wurden so gewählt, dass die Tunnelkategorien gemäß ADR sinnvoll abgebildet werden. Die Risiken, welche sich aus dem zugelassenen Gefahrguttransport für einen Tunnel einer bestimmten Kategorie nach ADR ergeben, lassen sich durch Kombination der für die

⁵ Vereinfachend wird von einer Freisetzungsmenge von 50 kg des Leitstoffes ausgegangen.

betreffende Tunnelkategorie maßgebenden Szenarien ermitteln. Für die Ermittlung der leitstoffspezifischen risikobestimmenden Häufigkeiten und Schadenausmaße wurden im entwickelten Verfahren Vorgaben wie beispielweise die Struktur von Ereignisbäumen oder zu berücksichtigende Einflussgrößen vorgeschlagen sowie Anforderungen an die Modelle und deren Detaillierungsgrad für die Wirkungs- und Ausmaßermittlung definiert.

Um den Handlungsbedarf hinsichtlich etwaiger Beschränkungen von Gefahrguttransporten zu ermitteln und gegebenenfalls eine Kategorisierung des Tunnels gemäß ADR vornehmen zu können, wurde zur Beurteilung eine so genannte Vergleichskurve vorgeschlagen. Anhand der in Form von Summenkurven in einem Häufigkeits-Ausmaß-Diagramm dargestellten Risiken und der Vergleichskurve kann die jeweils erforderliche Kategorie nach ADR ermittelt werden (vgl. rote Kurve in Bild 3).

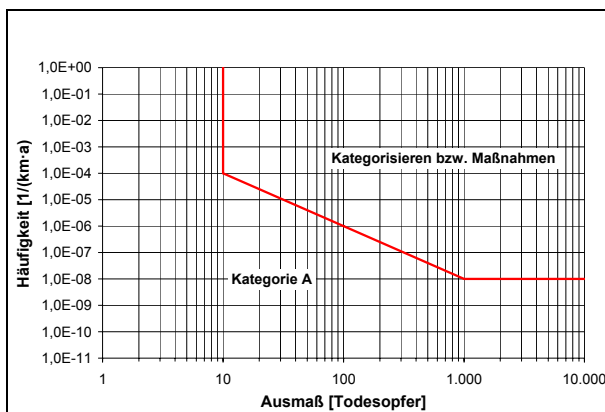


Bild 3: Vergleichskurve zur Festlegung der Tunnelkategorie nach ADR

3.5 Stufe 2b: Überprüfung der Risiken auf Umfahrungsstrecken

Zeigt die Analyse und Bewertung der Risiken gemäß Stufe 2a, dass eine Beschränkung für den zu untersuchenden Tunnel erforderlich ist, so ist nach den Vorgaben von ADR eine Umfahrungsstrecke für den entsprechenden Gefahrguttransport festzulegen. Im Rahmen der Stufe 2b des Verfahrens werden deshalb die resultierenden Risiken für die Umfahrungsstrecke bei einer etwaigen Transportbeschränkung für einen Tunnel untersucht. Das Vorgehen gliedert sich in zwei Schritte:

- Untersuchung der Charakteristik der Umfahrungsstrecke hinsichtlich der risikorelevanten Einflussgrößen und Gliederung der Umfahrungsstrecke in einzelne Untersuchungseinheiten
- Analyse und Bewertung der Risiken für die Untersuchungseinheiten

Analog zum Vorgehen für Tunnelstrecken wurden im Verfahren Vorgaben und zu berücksichtigende Einflussfaktoren vorgeschlagen, welche bei der Ermittlung der Risiken für eine Umfahrungsstrecke einzubeziehen sind. Dies sind beispielsweise Anhaltspunkte zu Verzweigungspunkten in Ereignisbäumen und der Quantifizierung der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten oder Anforderungen an Modelle zu Schadenausmaßermittlung.

Die Beurteilung der ermittelten Risiken für die Umfahrungsstrecke erfolgt – mit Ausnahme des Aspektes der Kategorisierung – analog zum Bewertungsverfahren wie es für Tunnel durchzuführen ist.⁶ Dabei wird wiederum dieselbe Vergleichskurve im Häufigkeits-Ausmaß-Diagramm verwendet wie für die Tunnel (vgl. auch Bild 3). Liegt die Summenkurve für die resultierenden Gesamtrisiken aus dem u. U. bereits vorliegenden Gefahrguttransport sowie dem zusätzlichen durch die Kategorisierung des Tunnels nach ADR umgelagerten Gefahrguttransport über der Vergleichslinie, so ist die Umfahrungsstrecke aus Blickwinkel der Risiken nicht geeignet und es ist eine andere Umfahrungsstrecke zu suchen.

4 Schlussfolgerungen

Das dargelegte Verfahren ermöglicht die Analyse der Risiken sowie die Beurteilung einer ggf. notwendigen Beschränkung von Gefahrguttransporten durch Tunnel, wie sie in den geltenden Vorschriften und Richtlinien für Tunnel (Tunnelrichtlinie 2004/54/EG und RABT 2006) sowie im ADR gefordert sind. Das entwickelte Verfahren ist als Hilfsmittel für die Kategorisierung zu verstehen, das einen einheitlichen Umgang mit der Thematik ermöglichen soll.

Die Gliederung des Verfahrens in mehrere Stufen erlaubt es, dass nicht für alle Tunnel die Risiken a priori mit komplexen Methoden und Modellen untersucht werden müssen und der Analysetiefgang sich an den jeweiligen tunnelspezifischen Gegebenheiten orientiert. Für die einzelnen Stufen

⁶ Die vorgeschlagenen Kriterien zu Bewertung (Vergleichslinie) gelten nur im Zusammenhang mit den vorgeschlagenen Verfahren.

wurden die zu berücksichtigenden anwendungsspezifischen Einflussfaktoren und Randbedingungen hergeleitet und definiert. Bei der Entwicklung des Verfahrens und der Festlegung der Anforderungen an Modelle und Grundlagen wurde darauf geachtet, dass eine einheitliche Umsetzung möglich ist. Grundlage für die methodischen Elemente des entwickelten Verfahrens bildeten Erfahrungen aus bereits vorliegenden Gefahrgutrisikoanalysen sowie Sensitivitätsanalysen mit dem OECD/PIARC QRA Modell hinsichtlich der Eignung im Verfahren.

Die in der Methodik festgelegten Schwellenwerte bzw. Kriterien zur Beurteilung des Handlungsbedarfs wurden auf Grundlage der existierenden vergleichsweise geringen Datenbasis hergeleitet und festgelegt. Sie müssen deshalb nach Vorliegen hinreichender Erfahrungen mit dem beschriebenen Verfahren wieder überprüft, gegebenenfalls angepasst und weiter entwickelt werden.

Literaturverzeichnis

- [ADR 2007]: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, 1. Januar 2007
- [ADR 2009]: 19. Verordnung zur Änderung der Anlagen A und B zum ADR-Übereinkommen (19. ADR-Änderungsverordnung – 19. ADRÄndV) und Anlagen, BGBl 11. September 2008
- [AMUN 1997]: Amundsen, F.; Ranæs, G.
Traffic Accidents and Carfires in Norwegian Road Tunnels
in: Safety in Road and Rail Tunnels. Third International Conference Nice, France, 9-11 March 1998. Bedford, 1998
- [ASTR 2004] Bundesamt für Straßen ASTRA
Richtlinie
Lüftung der Straßentunnel – Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung
Ausgabe 2004
- [BAST 1998a]: Pöppel-Decker, Martin
Straßenverkehrsunfälle beim Transport gefährlicher Güter 1992 bis 1995, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach, 1998
- [BAST 1998b]: Straßenverkehrszählung 1995. Statistik 1: Jahresfahrleistung und mittlere DTV. Auszug erhalten per Fax von der BAST (21.9.00)
- [BAST 2007]: Zulauf, Baltzer, Mayer, Zimmermann, Kündig, Steinauer, Riepe; FE 03.0378/2004/FRB Sicherheitsbewertung von Straßentunneln, abgeschlossen, Schlussbericht Februar 2007 (noch nicht veröffentlicht)
- [BAST 2008]: Zulauf, Baltzer, Mayer, Zimmermann, Kündig, Steinauer, Riepe; Leitfaden für Sicherheitsbewertungen gemäß RABT 2006, Juli 2008 (noch nicht veröffentlicht)
- [CETU 2000] Circulaire interministérielle n°2000-82
Relative à la réglementation des la circulation des Véhicules transportant des marchandises dangereuses dans les tunnels du réseau routier national
25 August 2000
- [CETU 2003] Centre d'Etudes des Tunnels
Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers
Fascicule 4, Les études spécifiques des dangers (ESD)
ENTWURF, September 2003
- [DEST 2004]: Statistische Bundesamt DESTATIS
Schätzung der Gefahrguttransporte der Eisenbahn, der Binnen- und der Seeschifffahrt für zwei aktuelle Jahre sowie Untersuchung der Einbeziehung des Straßengüterverkehrs in das Schätzverfahren
Mai 2004
- [DVV 1999]: Deutscher Verkehrsverlag
Verkehr in Zahlen 1999
- [EG 2004]: Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union
Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über die Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz
29. April 2004
- [EGKO 2007]: Kommission der Europäischen Gemeinschaft
Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über die Anwendung der Richtlinie 95/50/EG des Rates über einheitliche Verfahren für die Kontrolle von Gefahrguttransporten auf der Straße durch die Mitgliedsstaaten *KOM (2007) 795 endgültig*
Dezember 2007
- [HBS 2001]: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; HBS Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2001
- [INER 2005a]: INERIS; Research Report N°20504 Transport of Dangerous Goods through road tunnels Quantitative Risk Assessment Moel (versions 3.60 and 3.61)
Reference Manual, August 2005
- [INER 2005b]: INERIS; Research Report N°20504 Transport of Dangerous Goods through road tunnels Quantitative Risk Assessment Moel (versions 3.60 and 3.61)
User Guide, Dezember 2005
- [KBA 1998]: Statistische Mitteilungen des KBA und des BAG Reihe 8, Heft 12/1998. Übersicht 10 (kum) Verkehrsleistung deutscher Lastkraftfahrzeuge von Januar bis Dezember 1998 nach Gefahrgutklassen. Gesamtverkehr – Fahrten mit Ladung (alle Verkehrsarten)
- [LS 2000] Anet, B.; Binggeli, E.(unter Mitarbeit von Ernst Basler + Partner AG)
Luftstossphänomene infolge nuklearer und konventioneller Explosionen
Gruppe Rüstung, AC-Laboratorium Spiez
Januar 1998

- [MAY 2006]: Mayer, G. (2006)
Brände in Straßentunneln: Abschätzung der Selbststretzungsmöglichkeiten der Tunnelnutzer mittels numerischer Rauchausbreitungssimulation
Dissertation, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Heft 47
- [OECD 2001]: Organisation for Economic Co-Operation and Development OECD, World Road Association PIARC; Safety in Tunnels – Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels
Ausgabe 2001
- [PIARC 2008]: PIARC C 3.3; Analyse des Risques pour les Tunnels Routiers / Risk Analysis for Road Tunnels, 2008
- [PIARC 2009]: Vertrieb des OECE/PIARC QRAM über <http://publications.piarc.org/ressources/documents/QRAM-OrderForm-Jan07.doc>
Stand Januar 2007
- [RABT 2006]: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit
Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT
Ausgabe 2006
- [PRA 1999]: Unterarbeitsgruppe „Beurteilungskriterien Verkehrswege“
Pilotrisikoanalyse für den Transport gefährlicher Güter
Fallbeispiel Autobahn
August 1999
- [StBA 1998]: Statistisches Bundesamt (StBA)
Straßenlänge nach Ortslage und Fahrleistung 1960-98 nach Kraftfahrzeugarten
Fachserie 8, Reihe 7, 1998. Auszug erhalten per Fax von StBA (8.8.00)
- [StBA 1999]: Statistisches Bundesamt (StBA)
Straßenverkehrsunfälle – Zeitreihen: Beteiligte Kraftfahrzeugführer von Gefahrguttransporten nach Gefahrklasse der Ladung.
Auszug erhalten per Fax von StBA (8.8.00)
- [STEI 2002]: Steinbrecher, J; Ellinghaus, D; LKW im Straßenverkehr - Eine Untersuchung über die Beziehungen zwischen Lkw- und Pkw-Fahrern; Uniroyal Verkehrsuntersuchung 27; Hannover 2002
- [STFV 2000]: SR 814.012
Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung StfV) vom 27. Februar 1991
Stand am 28. März 2000
- [THÜR 2000]: Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Infrastruktur
Risikoanalyse zum Transport gefährlicher Güter durch die Tunnelkette der BAB A71 im Bereich des Thüringer Walds

Teilgutachten I: Vergleich zwischen dem Abschnitt Hochwaldtunnel und der Umfahrroute Zella-Mehlis
2000, Ernst Basler + Partner, BUNG Ingenieure, Kündig Ingenieurbüro
- [TNO 1997] TNO: The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research
Methods for the calculation of physical effects – Yellow book
1997