
Verbundprojekt SKRIBT

Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen

Anhang 2: Initialereignisse Tunnel

zum Bericht

Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke



Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin

Projektträger:

VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

<i>Art des Initialereignisses:</i>	BRAND
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TB01a - Kontinuierlicher Lachenbrand (ohne Brand-überschlag) TB01b - Kontinuierlicher Lachenbrand (mit Brand-überschlag)
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Motorenbenzin
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>Benzin ist bei Raumtemperatur (20°C) flüssig.</p> <p>Benzin ist giftig, umweltschädlich und hochentzündlich.</p> <p>Benzin hat eine geringere Dichte als Wasser und schwimmt obenauf.</p> <p>Eine Benzinflamme ist mit Wasser nicht löschbar, sondern muss durch Löschpulver oder-schaum erstickt werden.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	28,0 t
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Leck 100mm ²
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	kontinuierlich 20,6 kg/s
<i>Wirkgrößen</i>	Temperatur (Zeit) Kohlenstoffmonoxid Rauchpartikel
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	<p>Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder Terrorismus bzw. anderen kriminellen Handlungen tritt aus einem Tankwagen kontinuierlich Benzin aus und entzündet sich. Es bildet sich eine Benzinlache, die sich ausbreitet und unter Hitze- und Rauchentwicklung abbrennt. Ein Teil der Benzinlache (max. 100 l/s) wird über die Schlitzrinnen abgeführt.</p> <p>Es besteht ein großes Ausbreitungspotential durch den auslaufenden Kraftstoff und damit große Gefahr eines Feuerübergriffs auf weitere Fahrzeuge oder Anlagenteile (Brandüberschlag) im Tunnel. Die daraus resultierenden Temperatur-Zeit-Verläufe der Brände haben relevant unterschiedliche Wirkungen auf das Bauwerk. Dementsprechend wird das Initialereignis „Kontinuierlicher Lachenbrand“ in die Varianten (a) ohne Brandüberschlag und (b) mit Brandüberschlag unterschieden. Für die direkt betroffenen Nutzer spielt diese Unterscheidung i.d.R. eine untergeordnete Rolle.</p>
<i>Bemerkungen</i>	Benzin steht hier stellvertretend für alle in Deutschland transportierten brennbaren Flüssigkeiten.

<i>Art des Initialereignisses:</i>	BRAND
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TB02a - Spontaner Lachenbrand (ohne Brandüberschlag) TB02b - Spontaner Lachenbrand (mit Brandüberschlag)
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Motorenbenzin
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	Benzin ist bei Raumtemperatur (20°C) flüssig. Benzin ist giftig, umweltschädlich und hochentzündlich. Benzin hat eine geringere Dichte als Wasser und schwimmt obenauf. Eine Benzinflamme ist mit Wasser nicht löschar, sondern muss durch Löschpulver oder-schaum erstickt werden.
<i>Menge des Leitstoffs</i>	28,0 t
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Behälterversagen
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	spontan 300,0 kg/s
<i>Wirkgrößen</i>	Temperatur (Zeit) Kohlenstoffmonoxid Rauchpartikel
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder Terrorismus bzw. anderen kriminellen Handlungen kommt es zu einer großflächigen Beschädigung eines Tankwagens, die zu einem spontanen Austritt von Benzin in einer großen Menge und in einem kurzen Zeitraum führt. Das austretende Benzin entzündet sich sofort und brennt unter großer Hitze- und Rauchentwicklung ab. Es besteht die Gefahr eines Feuerübergriffs auf weitere Fahrzeuge oder Anlagenteile (Brandüberschlag) im Tunnel. Die daraus resultierenden Temperatur-Zeit-Verläufe der Brände haben relevant unterschiedliche Wirkungen auf das Bauwerk. Dementsprechend wird das Initialereignis „Spontaner Lachenbrand“ in die Varianten (a) ohne Brandüberschlag und (b) mit Brandüberschlag unterschieden. Für die direkt betroffenen Nutzer spielt diese Unterscheidung i.d.R. eine untergeordnete Rolle.
<i>Bemerkungen</i>	Benzin steht hier stellvertretend für alle in Deutschland transportierten hochentzündlichen Flüssigkeiten.

<i>Art des Initialereignisses:</i>	BRAND
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TB03a - Freistrahbrand (ohne Brandüberschlag) TB03b - Freistrahbrand (mit Brandüberschlag)
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Propan
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>Propan ist bei Raumtemperatur gasförmig, farb- und geruchlos. Propan ist hochentzündlich und bildet zwischen einem Volumenanteil von 2,12 % bis 9,35 % in Luft explosive Gemische. Seine Zündtemperatur liegt bei 470°C (nach DIN 51794).</p> <p>Propan wird unter Druck verflüssigt, in Gasflaschen oder Tanks gelagert und transportiert.</p> <p>Es löst sich bei 20°C zu 75 mg/l in Wasser. Es ist schwerer als Luft und wirkt in hohen Konzentrationen narkotisierend bis erstickend.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	18,0 t
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Leck 50mm ²
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	kontinuierlich 36,0 kg/s
<i>Wirkgrößen</i>	Temperatur (Zeit) Sauerstoffanteil in der Luft
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	<p>Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder Terrorismus bzw. anderen kriminellen Handlungen kommt es zu einer Beschädigung eines Tankwagens, die zu einem kontinuierlichen Austritt von Propan führt. Das austretende Propan entzündet sich sofort und brennt unter großer lokaler Hitzeentwicklung in Form einer Stichflamme ab.</p> <p>Es besteht die Gefahr eines Feuerübergriffs auf weitere Fahrzeuge oder Anlagenteile (Brandüberschlag) im Tunnel. Die daraus resultierenden Temperatur-Zeit-Verläufe der Brände haben relevant unterschiedliche Wirkungen auf das Bauwerk. Dementsprechend wird das Initialereignis „Freistrahbrand“ in die Varianten (a) ohne Brandüberschlag und (b) mit Brandüberschlag unterschieden. Für die direkt betroffenen Nutzer spielt diese Unterscheidung i.d.R. eine untergeordnete Rolle.</p>
<i>Bemerkungen</i>	Propan steht hier stellvertretend für alle in Deutschland transportierten hochentzündlichen Gase.

<i>Art des Initialereignisses:</i>	EXPLOSION
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TE01 - Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE)
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Propan
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>Propan ist bei Raumtemperatur gasförmig, farb- und geruchlos. Propan ist hochentzündlich und bildet zwischen einem Volumenanteil von 2,12 % bis 9,35 % in Luft explosive Gemische. Seine Zündtemperatur liegt bei 470°C (nach DIN 51794).</p> <p>Propan wird unter Druck verflüssigt, in Gasflaschen oder Tanks gelagert und transportiert.</p> <p>Es löst sich bei 20°C zu 75 mg/l in Wasser. Es ist schwerer als Luft und wirkt in hohen Konzentrationen narkotisierend bis erstickend.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	18,0 t
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Behälterversagen
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	spontan 400,0 kg/s
<i>Wirkgröße</i>	Temperatur (Zeit) Sauerstoffanteil in der Luft
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	<p>Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder Terrorismus bzw. anderen kriminellen Handlungen kommt es zu einer Beschädigung eines Tankwagens in Form eines Lecks, durch das Propan spontan austritt. Das austretende Propan entzündet sich sofort und brennt zunächst ruhig ab. Der Propangastank erhitzt sich stark und das darin enthaltene flüssige Propan beginnt zu verdampfen. Dadurch baut sich im Gastank ein immer größer werdender Druck auf, durch den letztendlich die durch die Hitze geschwächten Tankwände bersten. Die nun austretende, sehr große Gasmenge entzündet sich spontan und es kommt zu einer gewaltigen Explosion in Form eines großen Feuerballs, der brennende Bestandteile sowohl in gasförmiger wie auch in flüssiger Form enthalten kann.</p> <p>Löschversuche konzentrieren sich im Vorfeld deshalb auf die Abkühlung des Tanks von außen, um einen Temperaturanstieg in den kritischen Bereich zu verhindern.</p>
<i>Bemerkungen</i>	Propan steht hier stellvertretend für alle in Deutschland transportierten hochentzündlichen Gase.

<i>Art des Initialereignisses:</i>	EXPLOSION
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TE02 - Detonation Lkw-Ladung
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Trinitrotoluol (TNT)
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>TNT ist bei Raumtemperatur fest in Form von farblosen bis gelblich verfärbten rhomboedrischen Kristallen. TNT ist explosionsgefährlich, giftig, umweltgefährlich.</p> <p>TNT ist ein chemisch homogener (aus einer Komponente) bestehender Explosivstoff, der seine Explosivität seiner chemischen Instabilität und seinem Bestreben zur Bildung wesentlich stabilerer, gasförmiger Produkte verdankt.</p> <p>Wird dem TNT-Molekül durch ein geeignetes Verfahren (Druck- und Wärmeeinwirkung) Energie zugeführt, erfolgt eine exotherme Reaktion. Durch die Zündung einer ausreichenden Menge der Substanz erhält die abgegebene Energie die Reaktion aufrecht, so dass die gesamte Stoffmenge reagiert. Die Umsetzung erfolgt dabei in einer sehr schnellen, schmalen Reaktionszone, die mehrere tausend Meter pro Sekunde erreichen kann. Durch die freigesetzte Energie und die Entstehung von Gasen als Reaktionsprodukte kommt es zu einem extrem steilen Druck- und Temperaturanstieg.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Zündung einer Lkw-Ladung TNT
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	spontan
<i>Wirkgröße</i>	Druck
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Im Rahmen einer terroristischen bzw. kriminellen Handlung wird ein Transportfahrzeug mit Explosivstoff in den Tunnel eingefahren, platziert und gezündet.
<i>Bemerkungen</i>	<p>Da bei diesem Initialereignis von einer vorsätzlich begangenen Tat ausgegangen werden muss, ist für benutzerbezogene Betrachtungen das größtmögliche Personenaufkommen im Tunnel (=maximale Verkehrsstärke) anzusetzen.</p> <p>Die Explosion geht aufgrund der Menge und des notwendigen Transportfahrzeugs von der Fahrbahn aus. Aufgrund des Vorsatzes dieser Tat ist die Explosion in der größtmöglichen Nähe einer Schwachstelle des Tunnels anzunehmen.</p> <p>TNT steht stellvertretend für alle möglichen Explosivstoffe.</p>

<i>Art des Initialereignisses:</i>	EXPLOSION
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TE03 - Detonation Pkw-Ladung
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Trinitrotoluol (TNT)
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>TNT ist bei Raumtemperatur fest in Form von farblosen bis gelblich verfärbten rhomboedrischen Kristallen. TNT ist explosionsgefährlich, giftig, umweltgefährlich.</p> <p>TNT ist ein chemisch homogener (aus einer Komponente) bestehender Explosivstoff, der seine Explosivität seiner chemischen Instabilität und seinem Bestreben zur Bildung wesentlich stabilerer, gasförmiger Produkte verdankt.</p> <p>Wird dem TNT-Molekül durch ein geeignetes Verfahren (Druck- und Wärmeeinwirkung) Energie zugeführt, erfolgt eine exotherme Reaktion. Durch die Zündung einer ausreichenden Menge der Substanz erhält die abgegebene Energie die Reaktion aufrecht, so dass die gesamte Stoffmenge reagiert. Die Umsetzung erfolgt dabei in einer sehr schnellen, schmalen Reaktionszone, die mehrere tausend Meter pro Sekunde erreichen kann. Durch die freigesetzte Energie und die Entstehung von Gasen als Reaktionsprodukte kommt es zu einem extrem steilen Druck- und Temperaturanstieg.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Zündung einer Pkw-Ladung TNT
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	spontan
<i>Wirkgröße</i>	Druck
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Im Rahmen einer terroristischen bzw. kriminellen Handlung wird ein Pkw mit Explosivstoff in den Tunnel eingefahren, platziert und gezündet.
<i>Bemerkungen</i>	<p>Da bei diesem Initialereignis von einer vorsätzlich begangenen Tat ausgegangen werden muss, ist für benutzerbezogene Betrachtungen das größtmöglichen Personenaufkommen im Tunnel (=maximale Verkehrsstärke) anzusetzen.</p> <p>Die Explosion geht aufgrund der Menge und des notwendigen Transportfahrzeugs von der Fahrbahn aus. Aufgrund des Vorsatzes dieser Tat ist die Explosion in der größtmöglichen Nähe einer Schwachstelle des Bauwerks anzunehmen.</p> <p>TNT steht stellvertretend für alle möglichen Explosivstoffe.</p>

<i>Art des Initialereignisses:</i>	EXPLOSION
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TE04 - Detonation Koffer-Ladung
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Trinitrotoluol (TNT)
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>TNT ist bei Raumtemperatur fest in Form von farblosen bis gelblich verfärbten rhomboedrischen Kristallen. TNT ist explosionsgefährlich, giftig, umweltgefährlich.</p> <p>TNT ist ein chemisch homogener (aus einer Komponente) bestehender Explosivstoff, der seine Explosivität seiner chemischen Instabilität und seinem Bestreben zur Bildung wesentlich stabilerer, gasförmiger Produkte verdankt.</p> <p>Wird dem TNT-Molekül durch ein geeignetes Verfahren (Druck- und Wärmeeinwirkung) Energie zugeführt, erfolgt eine exotherme Reaktion. Durch die Zündung einer ausreichenden Menge der Substanz erhält die abgegebene Energie die Reaktion aufrecht, so dass die gesamte Stoffmenge reagiert. Die Umsetzung erfolgt dabei in einer sehr schnellen, schmalen Reaktionszone, die mehrere tausend Meter pro Sekunde erreichen kann. Durch die freigesetzte Energie und die Entstehung von Gasen als Reaktionsprodukte kommt es zu einem extrem steilen Druck- und Temperaturanstieg.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Zündung einer Koffer-Ladung TNT
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	spontan
<i>Wirkgröße</i>	Druck
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Im Rahmen einer terroristischen bzw. kriminellen Handlung wird ein Koffer o.ä. mit Explosivstoff in den Tunnel durch ein Fahrzeug eingefahren oder auf anderem Wege eingebracht, vorsätzlich platziert und gezündet.
<i>Bemerkungen</i>	<p>Da bei diesem Initialereignis von einer vorsätzlich begangenen Tat ausgegangen werden muss, ist für benutzerbezogene Betrachtungen das größtmöglichen Personenaufkommen im Tunnel (=maximale Verkehrsstärke) anzusetzen.</p> <p>Der Explosivstoff kann aufgrund der kleineren, von Personen transportierbaren Menge, in der Nähe von Schwachstellen platziert werden.</p> <p>TNT steht stellvertretend für alle möglichen Explosivstoffe.</p>

<i>Art des Initialereignisses:</i>	KONTAMINATION
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TK01 - Kontinuierliche Kontamination
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Chlor
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>Chlor ist bei Raumtemperatur gasförmig in gelbgrüner Farbe, giftig und umweltgefährlich.</p> <p>Chlor ist ca. 2 ½ mal so schwer wie Luft.</p> <p>Chlor ist nicht brennbar, kann jedoch die Brennbarkeit vieler Stoffe unterstützen. So besteht beim Kontakt von Chlor mit Wasserstoff, Kohlenwasserstoffen, Ammoniak und einigen anderen Stoffen Explosionsgefahr.</p> <p>Chlor ist eines der reaktivsten Elemente.</p> <p>Chlor reagiert mit vielen an-/organischen Stoffen. Chlor ist für den Menschen giftig: >0,5% der Atemluft ist tödlich und > als 0,001% der Atemluft ist schädlich für den Menschen.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	20 t
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Leck mit Durchmesser 50mm
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	kontinuierlich 45,0 kg/s
<i>Wirkgröße</i>	Schadgaskonzentration
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder durch Terrorismus bzw. andere kriminellen Handlungen kommt es zu einer kontinuierlichen Freisetzung von Chlor.
<i>Bemerkungen</i>	Chlor steht stellvertretend für alle in Deutschland transportierten Gase mit Schädwirkung auf Bauwerk und Nutzer.

<i>Art des Initialereignisses:</i>	KONTAMINATION
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TK02 - Spontane Kontamination
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Chlor
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	<p>Chlor ist bei Raumtemperatur gasförmig in gelbgrüner Farbe, giftig und umweltgefährlich.</p> <p>Chlor ist ca. 2 ½ mal so schwer wie Luft.</p> <p>Chlor ist nicht brennbar, kann jedoch die Brennbarkeit vieler Stoffe unterstützen. So besteht beim Kontakt von Chlor mit Wasserstoff, Kohlenwasserstoffen, Ammoniak und einigen anderen Stoffen Explosionsgefahr.</p> <p>Chlor ist eines der reaktivsten Elemente.</p> <p>Chlor reagiert mit vielen an-/organischen Stoffen. Chlor ist für den Menschen giftig: >0,5% der Atemluft ist tödlich und > als 0,001% der Atemluft ist schädlich für den Menschen.</p>
<i>Menge des Leitstoffs</i>	20 t
<i>Beschreibung der Ursache</i>	spontan 400,0 kg/s
<i>Freisetzungsort und -menge</i>	Behälterversagen
<i>Wirkgröße</i>	Schadgaskonzentration
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder durch Terrorismus bzw. andere kriminellen Handlungen kommt es zu einer spontanen Freisetzung von Chlor in großen Mengen innerhalb eines geringen Zeitraums.
<i>Bemerkungen</i>	Chlor steht stellvertretend für alle in Deutschland transportierten Gase mit Schädwirkung auf Bauwerk und Nutzer.

<i>Art des Initialereignisses:</i>	WASSER / TEMPERATUR / WIND
<i>Bezeichnung des Initialereignisses</i>	TN01 - Überflutung
<i>Ort</i>	Tunnel
<i>Leitstoff</i>	Wasser
<i>Erläuterungen zum Leitstoff</i>	Wasser ist bei Raumtemperatur flüssig, farb- und geruchlos.
<i>Menge des Leitstoffs</i>	*unendlich*
<i>Beschreibung der Ursache</i>	Leck in der Tunnelhülle 19,5 cm ²
<i>Freisetzungsart und -menge</i>	Spontan, 300 kg/m ³
<i>Wirkgröße</i>	Sauerstoffanteil Druck
<i>Kurzbeschreibung des Verlaufs</i>	Infolge von menschlich/technischem Versagen (schwerer Unfall) oder durch Terrorismus bzw. andere kriminellen Handlungen kann Wasser durch ein Leck in der Tunnelhülle in das Bauwerk eindringen. Der Tunnel befindet sich im Betrieb. Die Menge des Wassers ist so groß, dass diese nicht durch die Entwässerungseinrichtung komplett abgeführt werden kann.
<i>Bemerkungen</i>	Nur sinnvoll für eine Betrachtung von Tunneln unter Gewässern. Je nach Lage des Lecks sind negativ verstärkende Effekte bei Tunneln mit einem Neigungswechsel (Wanne) zu erwarten. Ein ausreichend großes Leck in der Tunnelhülle kann nur durch eine Explosion erfolgen. Dementsprechend ist bei der Wirkungsermittlung die Wirkung eines relevanten Vorereignisses (z.B. TE02) zu beachten.