

# **Analyse und Risikobetrachtung von Brandereignissen in schienengebundenen ÖPNV-Tunnelanlagen FE-Nummer: 70.0788/2009/ - Kurzbericht -**

## **1 Aufgabenstellung**

Bislang wurde der Rauchschutznachweis in unterirdischen Haltestellen durch den Vergleich von Verrauchungs- und Räumungszeit geführt. Wenn die Räumungszeit kürzer als die Verrauchungszeit ist, dann werden Personen durch Brandgase nicht gefährdet. Anderenfalls sind geeignete Brandschutzmaßnahmen zu ergreifen. Dieser Nachweis erfolgte ohne Risikobetrachtung. Wenn jedoch mit geeigneten Risikoanalysen für ausgewählte Szenarien das jeweilige Risiko abgeschätzt werden kann, sind optimal an das Risiko angepasste Brandschutzmaßnahmen möglich. Die zur Verfügung stehenden Mittel für den Brandschutz können dann gezielt an den Risikoschwerpunkten eingesetzt werden.

Da derzeit keine verbindlichen Vorgaben zur Durchführung von Risikoanalysen für Tunnelanlagen des schienengebundenen ÖPNV und überdies in diesem Bereich nur wenige Erfahrungen vorliegen, kann ein solcher auch allgemein anerkannter Nachweis nur sehr schwer geführt werden. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, die STUVAtec GmbH, Köln, und die Fa. Ernst Basler + Partner, Zollikon (Schweiz), ein geeignetes Risikoanalyseverfahren für den vorgesehenen Anwendungsfall auszuwählen und an einem fiktiven Beispiel zu erläutern.

## **2 Untersuchungsmethode**

In einer Recherche wurden die im Ausland für vergleichbare Anwendungsfälle eingesetzten Risikoanalyseverfahren gesichtet und ausgewertet. Diese Analyse ergab, dass ein breites Spektrum von unterschiedlichen Risikoanalyseverfahren je nach Themengebiet und Land zum Einsatz kommt. Es werden bei Risikoanalyseverfahren Expertenschätzungen sowohl bei qualitativen als auch bei quantitativen Risiko-

analysen in der Regel erforderlich, da die zur Verfügung stehenden Daten nur selten ausreichend sind.

Mit Bezug auf das vorliegende Forschungsvorhaben zeigt sich, dass im Ausland (z.B. Niederlande, Österreich und Schweiz) für vergleichbare Fragestellungen meist quantitative Risikoanalyseverfahren verwendet werden.

In Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurden Anforderungen an das Risikoanalyseverfahren formuliert. Es zeigte sich, dass für den vorgesehenen Anwendungsfall eine Abschätzung der Risiken auf der Basis einer Ereignisbaumanalyse praktikabel ist. Zur Ermittlung des monetarisierten Risikos ist die Festlegung von Grenzkosten erforderlich. Mit den monetarisierten Risiken kann eine Kosten-Wirksamkeits-Untersuchung durchgeführt werden, um die Verhältnismäßigkeit einer Sicherheitsmaßnahme zu bestimmen. Die Grenzkosten wurden auf der Basis einer umfangreichen Literaturrecherche festgelegt.

Die Eingangsgröße in den Ereignisbaum ist die Häufigkeit des Initialereignisses [Brände pro Jahr], die mit Hilfe einer Brandrate bestimmt werden kann. Hierzu wurde eine Fragebogenaktion bei 18 deutschen Verkehrsunternehmen und der DB AG mit einem speziellen Fragebogen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Fragebogenaktion konnten auch als Entscheidungshilfe für die Eintrittswahrscheinlichkeit an den Verzweigungspunkten Brandort und Brandtyp genutzt werden.

Auf der Basis dieser Grundlage wurde die Vorgehensweise einer Risikoanalyse an einem fiktiven Beispiel erläutert. Dieses Beispiel enthält auch eine Kosten-Wirksamkeits-Untersuchung.

### **3 Untersuchungsergebnisse**

Anfangs musste geklärt werden, ob eine qualitative oder quantitative Risikoanalyse für den vorgesehenen Anwendungsfall geeignet ist. Eine qualitative Risikoanalyse beruht ausschließlich auf einer Expertenschätzung. Es sind keine vergleichbaren Aussagen über die Risiken verschiedener Tunnelanlagen möglich, da Bewertungszahlen fehlen. Mit einer qualitativen Risikoanalyse kann deshalb eine Kosten-Wirksamkeits-Untersuchung nicht durchgeführt werden. Daher wurde für den vorgesehenen Anwendungsfall eine quantitative Risikoanalyse gewählt. Die quantitative Risikoanalyse beruht auf statistischen Daten (Literatur, Erhebungen) und Expertenschätzungen. Die Risikoermittlung erfolgt durch eine konkrete Zahl, so dass eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Wenn die mit Hilfe der quantitativen Risikoanalyse ermittelten Risiken monetarisiert werden, ist auch eine Kos-

ten-Wirksamkeits-Analyse möglich. Mit der Kosten-Wirksamkeits-Analyse ist der Nachweis der Verhältnismäßigkeit einer zusätzlichen Sicherheitsmaßnahme möglich. Für die gewählte quantitative Risikoanalyse auf der Grundlage einer Ereignisbaumanalyse müssen die Häufigkeit des Initialereignisses, Verzweigungspunkte im Ereignisbaum, das Schadensausmaß und Grenzkosten festgelegt werden. Die Häufigkeit des Initialereignisses als Eingangsgröße für den Ereignisbaum kann mit Hilfe der Brandrate bestimmt werden.

Aus den Angaben im genannten Fragebogen (Abschnitt 2) konnte eine mittlere Brandrate zu  $0,0656 \times 10^{-6}$  [Brände pro Zugkilometer] ermittelt werden. Jedes Verkehrsunternehmen sollte für seinen Betrieb die jeweilige Brandrate bestimmen, wenn eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt werden soll. Verkehrsunternehmen ohne bisherigen Zugbrand (Brandrate = 0) sollten die mittlere Brandrate verwenden. Wenn hiervon abgewichen wird, dann muss das jeweilige Expertenteam des Verkehrsunternehmens dies begründen.

Als wichtige Verzweigungspunkte im Ereignisbaum konnten der Brandort, der Brandtyp, die Brandentwicklung, die involvierte Personenanzahl und die Fluchtbeeinträchtigung identifiziert werden. Diese Verzweigungspunkte müssen bei der praktischen Anwendung Berücksichtigung finden. Wichtige Einflussgrößen für die Eintrittswahrscheinlichkeit in den Verzweigungspunkten wurden als Hilfestellung für die späteren Anwender des Analyseverfahrens erarbeitet.

Aus der Fragebogenaktion konnte ein Mittelwert für die Eintrittswahrscheinlichkeiten an den Verzweigungspunkten Brandort (Haltestelle: ca. 95 %; Strecke: ca. 5 %) und für den Brandtyp (Typ I: 96 %, Typ II: 4 %) bestimmt werden.

Für eine pragmatische Vorgehensweise wurden für den Schadensindikator Todesopfer und Verletzte Schadensklassen definiert, mit deren Hilfe den jeweiligen Szenarien das entsprechende Schadensausmaß zugeordnet werden kann. Die jeweiligen Sachschäden sollen jedoch in der Höhe des tatsächlich zu erwartenden Schadens in Ansatz gebracht werden.

Zur Bestimmung der monetarisierten Risiken sind Grenzkosten erforderlich. Es gibt keine allgemeingültigen Werte für Grenzkosten. Auf der Basis einer umfangreichen Recherche konnten jedoch folgende Grenzkosten vorgeschlagen werden:

- (1) Grenzkosten je geretteten Menschenleben: 5 Millionen Euro
- (2) Grenzkosten je verhinderten Verletzten: ca. 100.000 Euro und
- (3) Grenzkosten: 2,5 Euro je 1 Euro verhinderten Sachschaden.

Mit Hilfe dieser Grenzkosten ist es möglich, das monetarisierte Gesamtrisiko (Personen- und Sachrisiken) zu ermitteln. Für eine Kosten-Wirksamkeits-Untersuchung müssen noch die sogenannten Jahreskosten bestimmt werden. Diese jährlichen Kosten setzen sich aus den mittels Annuitätenmethode abgezinsten Investitionskosten sowie den jährlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten zusammen. Diese Jahreskosten sind für die zusätzliche Sicherheitsmaßnahme (z.B. Löschsysteme in Fahrzeugen) zu ermitteln. Durch den Einsatz zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen wird das Ausgangsrisiko vermindert. Mit Hilfe der Jahreskosten für die Zusatzmaßnahme  $\Delta K$  und der zugehörigen Risikominderung  $\Delta R$  kann das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis  $\Delta K/\Delta R$  bestimmt werden. Wenn das Verhältnis  $\Delta K/\Delta R$  kleiner 1 ist, ist die zusätzliche Sicherheitsmaßnahme kostenwirksam. Dies bedeutet, dass die zusätzliche Sicherheitsmaßnahme realisiert werden sollte. Bei einem Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis  $\Delta K/\Delta R \geq 1 \leq 2$  ist eine Realisierung der Zusatzmaßnahme wegen einer gewissen Unschärfe (z.B. Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten) des Analyseverfahrens zu überprüfen. Bei einem Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis  $\geq 2$  ist eine Realisierung der Zusatzmaßnahme nicht kostenwirksam und daher auch nicht empfehlenswert.

#### **4 Folgerungen für die Praxis**

Für die Praxis können folgende Empfehlungen gegeben werden:

##### **(1) Methode des risikobasierten Verfahrens**

Die Verhältnismäßigkeit von Brandschutzmaßnahmen für ÖPNV-Tunnelanlagen kann mit Hilfe des Verhältnisses der Jahreskosten  $\Delta K$  für eine Zusatzmaßnahme und der zugehörigen Risikominderung  $\Delta R$  beurteilt werden. Die Risiken und Maßnahmenkosten müssen mit der selben Maßeinheit ermittelt und quantifiziert werden. Dies erfordert die Darstellung der Risiken in quantitativer Form. Zur Monetarisierung des Risikos sind die vorgeschlagenen Grenzkosten (Abschnitt 3) zu verwenden.

##### **(2) Ereignisbaumanalyse**

Für die quantitative Risikoanalyse wird die Bestimmung der Szenarienhäufigkeit und der Abschätzung der monetarisierten Risiken auf Basis einer Ereignisbaumanalyse vorgeschlagen. Als wichtige Verzweigungspunkte im Ereignisbaum müssen der Brandort, der Brandtyp, die Brandentwicklung, die involvierte Personenanzahl und die Fluchtbeeinträchtigung beachtet werden.

### (3) Häufigkeit des Initialereignisses

Mit der Brandrate kann die Häufigkeit des Initialereignisses berechnet werden, die als Eingangsgröße im Ereignisbaum der Risikoanalyse benötigt wird. Jedes Verkehrsunternehmen sollte für seinen Betrieb die jeweilige Brandrate ermitteln. Betriebe ohne bisherigen Zugbrand (Brandrate = 0) sollten die mittlere Brandrate von  $0,0656 \times 10^{-6}$  [Brände pro Zugkilometer] verwenden. Wenn hiervon abgewichen wird, dann muss das jeweilige Expertenteam des Verkehrsunternehmens dies begründen.

### (4) Erfassung von Brandereignissen

Die Erfahrungen aus realen Brandereignissen, die die wesentliche Grundlage für die Eingangsdaten der Risikoanalyse bilden, werden heute sehr unterschiedlich erfasst und ausgewertet. Es wird daher empfohlen, das für die Auswertung vorliegende Erfahrungen und zur besseren statistischen Auswertung einheitliche Ereignisauswertungen vorgenommen werden.

### (5) Empfehlung zur Aufnahme in Regelwerke

Das vorgeschlagene Risikoanalyseverfahren ist in die TR Brandschutz aufgenommen worden und steht damit der Praxis zur Erprobung zur Verfügung.

Das vorgeschlagene Risikoanalyseverfahren kann von einem Team des jeweiligen Verkehrsunternehmens ohne Einschaltung externer Gutachter in vielen Fällen angewendet werden. Der hierfür erforderliche Arbeitsaufwand ist überschaubar. Mit diesem Verfahren können Risikoschwerpunkte identifiziert werden. Brandschutzmaßnahmen können daher gezielt an diesen Risikoschwerpunkten vorgenommen werden. Die zur Verfügung stehenden Mittel für den Brandschutz können dann optimaler eingesetzt werden.

Eine praktische Erprobung des vorgeschlagenen Risikoanalyseverfahrens an bestehenden oder geplanten Objekten wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht durchgeführt und steht daher noch aus. Die praktische Erprobung muss zeigen, ob sich die vorgeschlagene quantitative Risikoanalyse für den vorgesehenen Anwendungsfall eignet und eventuell Korrekturen (z.B. Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaßklassen, Grenzkosten) erforderlich sind. Zu beachten ist, dass eine Risikoanalyse ein zusätzliches Hilfsinstrument ist und keine klaren Vorgaben z.B. in der BOStrab oder TR Brandschutz ersetzen soll. Risikoanalysen können jedoch dann eingesetzt werden, wenn eine vergleichende Betrachtung unterschiedlicher Lösungsansätze durchgeführt oder aber die Verhältnismäßigkeit einer Sicherheitsmaßnahme nachgewiesen werden soll.