

# **Wirtschaftliche Aspekte neuer Sicherheitstechnologie in Verkehrstunneln**

Ergebnisse aus qualitativer und  
quantitativer Forschung

Ulrich Hartung  
Alice Schiffer



## **Wirtschaftliche Aspekte neuer Sicherheitstechnologie in Verkehrstunneln**

Ergebnisse aus qualitativer und quantitativer Forschung

Juli 2011

Ulrich Hartung

Alice Schiffer

Alle Rechte vorbehalten

© 2011 Emergent Actio KG

[www.emergent-actio.de](http://www.emergent-actio.de)

ISBN 978-3-00-036163-0

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde im Rahmen des Programms der Bundesregierung "Forschung für die zivile Sicherheit" als Teil der Hightech-Strategie mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert (Förderkennzeichen 13N9604). Es war Bestandteil des Verbundforschungsprojekts AISIS ([www.aisis-innovation.org](http://www.aisis-innovation.org)). Projektträger war die VDI Technologiezentrum GmbH.

# Inhalt

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I. Einleitung .....</b>                                   | <b>3</b>  |
| <b>1. Hintergrund .....</b>                                  | <b>3</b>  |
| <b>2. Übergreifender Forschungsansatz.....</b>               | <b>3</b>  |
| <b>3. Methodik .....</b>                                     | <b>4</b>  |
| <b>II. Zusammenfassung .....</b>                             | <b>7</b>  |
| <b>III. Betriebswirtschaftliche Aspekte .....</b>            | <b>10</b> |
| <b>1. Marktübersicht.....</b>                                | <b>10</b> |
| 1.1 Bestand und Gliederung.....                              | 10        |
| 1.2 Spezifikation.....                                       | 11        |
| a) Neubau .....  | 11        |
| b) Bauweise .....  | 12        |
| c) Einsatz von Tübbings .....                                | 13        |
| d) Nutzungsdauer.....  | 15        |
| e) Stromversorgung .....                                     | 18        |
| f) Einsatz von Sensoren .....                                | 19        |
| <b>2. Entscheidungskriterien .....</b>                       | <b>20</b> |
| 2.1 Produktbezogene Kriterien .....                          | 20        |
| 2.2 Markt- und Umweltbezogene Kriterien.....                 | 24        |
| <b>3. Nachfragebarrieren .....</b>                           | <b>28</b> |
| 3.1 Herstellungskosten .....                                 | 28        |
| 3.2 Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Entwicklungen ..... | 29        |
| <b>4. Beispiele.....</b>                                     | <b>30</b> |
| 4.1 Entscheidungskriterien bezüglich Tübbings.....           | 30        |
| a) Allgemein .....   | 30        |
| b) Entwicklungspotenziale .....                              | 31        |
| c) Tübbings aus Hochleistungsbeton .....                     | 32        |
| 4.2 Entscheidungskriterien bezüglich Sensoren .....          | 36        |
| a) Allgemein .....   | 36        |
| b) Informationen für den laufenden Betrieb .....             | 37        |
| c) Kabellose Sensoren .....                                  | 38        |
| <b>IV. Volkswirtschaftliche Aspekte .....</b>                | <b>39</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Bewertung des Themas Sicherheit .....</b>                                     | <b>39</b> |
| 1.1 Sicherheitsmaßnahmen in Verkehrstunneln .....                                   | 39        |
| 1.2 Ursachen für Implementierung neuer Sicherheitsmaßnahmen .....                   | 40        |
| 1.3 Vorkehrungen für terroristische Bedrohungen.....                                | 43        |
| <b>2. Volkswirtschaftliche Bewertung .....</b>                                      | <b>44</b> |
| 2.1 Methodik.....   | 44        |
| 2.2 Mengen- / Wertgerüst.....   | 47        |
| <b>3. Beispiele .....</b>   | <b>54</b> |
| 3.1 Kosten-Nutzen-Bilanz bzgl. des Einsatzes von Tübbings im normalen Betrieb ..... | 54        |
| 3.2 Kosten-Nutzen-Bilanz bzgl. des Einsatzes von Tübbings im Katastrophenfall ..... | 57        |
| a) Wirtschaftlich wichtiger Verkehrstunnel .....                                    | 58        |
| b) Wirtschaftlich weniger wichtiger Verkehrstunnel .....                            | 59        |
| 3.3 Aggregierte Kosten-Nutzen-Bilanz für den Einsatz von Tübbings .....             | 60        |
| <b>V. Schlussfolgerungen .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>VI. Anlagen .....</b>  | <b>66</b> |
| <b>VII. Abbildungsverzeichnis .....</b>   | <b>73</b> |
| <b>VIII. Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>75</b> |

## **I. Einleitung**

### **1. Hintergrund**

Stetig wachsendes Verkehrsaufkommen sowie schwere Tunnelunfälle regen stets die Diskussion nach höheren Sicherheitsstandards und verbesserten Sicherheitsvorkehrungen an.

Forschungseinrichtungen und Industrie nehmen sich dieser Herausforderung an und entwickeln neue Technologie. Doch nicht jede neue Entwicklung hat das Potenzial, erfolgreich auf dem Markt eingeführt zu werden. Ausschlaggebend hierfür ist zunächst die Marktfähigkeit. Diese setzt die Orientierung am Nutzen und den Anforderungen potentieller Nachfrager voraus.

Im Rahmen von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen, in die häufig öffentliche Träger involviert sind, spielt neben Aspekten des Produkts und des Markts aber auch die Frage nach den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eine wesentliche Rolle. Verkehrswege sind von erheblicher Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung von Regionen auf nationaler und internationaler Ebene. Jedoch sind mit der Gewährleistung einer effizienten, sicheren Verkehrsinfrastruktur auch erhebliche Investitionen in Erstellung und Unterhalt verbunden. Um diesbezüglich den Beitrag einzelner Technologien messen zu können, müssen deshalb neben betriebswirtschaftlichen Aspekten auch volkswirtschaftliche Indikatoren berücksichtigt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu erforschen, welche Kriterien neue, sicherheitsrelevante Produkte erfüllen müssen, um gleichermaßen betriebs- wie volkswirtschaftlich sinnvolle Lösungen darzustellen und so zur Anhebung des Sicherheitsniveaus beizutragen.

Die Untersuchung erfolgte am Beispiel von zwei Entwicklungen, Tübbings aus Hochleistungsbeton sowie neuartiger Sensoren.

### **2. Übergreifender Forschungsansatz**

Um die Rahmenbedingungen und Ausgangskriterien für Neuentwicklungen im Bereich der Sicherheit von Verkehrstunnelanlagen zu ermitteln, wurden für die Produkte Tübbings und Sensoren eine Marktanalyse durchgeführt, um wesentliche Entscheidungskriterien sowie mögliche Potenziale aufdecken zu können.

Hierfür wurden sowohl qualitative als auch quantitative Primärdaten erhoben. Vorbereitend sowie ergänzend erfolgten Sekundäranalysen.

Konkret bilden Verkehrstunnelanlagen aus den Bereichen Straße, Bahn und U-Bahn den Untersuchungsgegenstand. Potentielle Nachfrager sind Betreiber von Verkehrstunnelanlagen sowie Entscheider bei Tunnelbauten (Bahn-, Straßentunnel sowie U-Bahnanlagen).

Zusätzlich zur Marktanalyse wurden im Wege einer Kosten-Nutzen-Analyse weitere betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.

Die wesentlichen Resultate dieser Forschungsarbeit werden inhaltlich strukturiert wiedergegeben.

Diese Studie ist Bestandteil des Teilprojekts „Markt- und Wettbewerbsfähigkeit sowie Kosten-Nutzen-Analyse“ der Emergent-Actio KG im Rahmen des Verbundforschungsprojekts AISIS<sup>1</sup>. Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde im Rahmen des Programms der Bundesregierung "Forschung für die zivile Sicherheit" als Teil der Hightech-Strategie mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert (Förderkennzeichen 13N9604).

### 3. Methodik

Von Innovation spricht man, wenn aus einer Idee ein neuartiges Produkt, eine Dienstleistung oder ein Prozess entwickelt wird, der sich erfolgreich am Markt behauptet. Dies setzt voraus, dass Marktteilnehmer bereit wären, die geplante Leistung abzunehmen. Kann eine konkrete Nachfrage festgestellt oder prognostiziert werden, spricht man von der Marktfähigkeit einer Entwicklung.

Zur Ermittlung wird auf die Marktsituation und -entwicklung, auf Informationen über die Zielgruppe, deren Nutzen, Bedarf und mögliche Nachfragebarrieren zurückgegriffen.

Diese wie auch weitere Kriterien (Zahl der potentiellen Nachfrager) bilden wesentliche Indikatoren des Marktpotenzials. Das Marktpotenzial gibt die tatsächliche Aufnahmefähigkeit eines Marktes für ein Produkt an, d.h. die Gesamtheit möglicher Absatzmengen für eine bestimmte Produktgattung auf diesem Markt.<sup>2</sup>

Mit dem Bedarf wird die künftige Nachfrage nach dem Produkt ermittelt. Hierfür müssen zunächst die Vorteile und Alleinstellungsmerkmale<sup>3</sup> der Entwicklungen herausgearbeitet und deren Bedeutung für potenzielle Kunden ermittelt werden. Nachfragebarrieren fassen mögliche Aspekte zusammen, warum ein potentieller Nachfrager sich nicht für die Entwicklung entscheidet, d.h. es trotz eines vorhandenen Bedarfs nicht zur Beschaffung kommt.

Je höher die Zahl der absetzbaren Einheiten, desto attraktiver wird der Markt für den Anbieter dieser Produkte. Für die untersuchten Beispiele Tübbings und Sensoren errechnet sich die Anzahl der theoretisch absetzbaren Einheiten aus der Tunnellänge sowie der Sensordichte.

Bezogen auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand können für die Marktanalyse folgende relevante Themen abgeleitet werden:

- Struktur der Betreiber von Verkehrstunneln
- Sicherheitsvorkehrungen in Verkehrstunneln
- Durchführung von Sicherheitsmaßnahmen
- Ursachen für Implementierung neuer Sicherheitsmaßnahmen

---

<sup>1</sup> Siehe: <http://www.aisis-innovation.org/>

<sup>2</sup> Vgl. Meffert, H. (2000), S. 171.

<sup>3</sup> Unique selling proposition – USP

- Markteinführung neuer Sicherheitsmaßnahmen
- Entscheidungskriterien im Rahmen der Produktauswahl im Tunnelbau

Um auf fundierte Informationen zurückzugreifen, wurden neben der Sekundäranalyse auch qualitative und quantitative Primärdatenerhebungen durchgeführt.

### **Qualitative Forschung**

Im ersten Schritt wurden im Zeitraum vom November 2009 bis März 2010 insgesamt 16 persönliche Interviews in Deutschland, Österreich sowie in der Schweiz geführt und analysiert: mit Infrastrukturbetreiber von Bahn (3 Interviews), von Straßen (2 Interviews) und von U-Bahnanlagen (1 Interview), mit Spezialisten für den Bereich Sicherheitsmaßnahmen in Verkehrstunneln (6 Interviews) sowie mit Herstellern aus den Bereichen der Sensorentechnik und Betonindustrie für Sicherheitsvorkehrungen bei kritischen Infrastrukturen (4 Interviews). Ziel der Gespräche war es, erste Erkenntnisse zu den Entscheidungsträgern, Entscheidungskriterien sowie deren Einschätzung zum Thema Sicherheitsmaßnahmen zu erhalten.

### **Quantitative Forschung**

Im nächsten Schritt wurde eine europaweite quantitative Primärdatenerhebung durchgeführt. Mit Hilfe dieser wurden die Ergebnisse aus der qualitativen Forschung, insbesondere die hier aufgestellten Hypothesen, überprüft und quantifiziert.

Hypothesen sind Aussagen, denen Gültigkeit unterstellt wird, die aber noch nicht bewiesen sind. Mit einer quantitativen Primärdatenerhebung können diese verifiziert und quantifiziert werden. Die inhaltliche Gliederung des quantitativen Fragebogens leitet sich daher aus den Ergebnissen der qualitativen Interviews ab.

Die Grundgesamtheit bilden Ersteller und Betreiber von Verkehrstunnelanlagen in Europa. Hinsichtlich der Verkehrssysteme wurden U-Bahn/Stadtbahn, Eisenbahn und Straßentunnel einbezogen.

Betrachtet wurden Verkehrsinfrastrukturen innerhalb der EU 26, einschließlich der Schweiz und Norwegen.

Zur Teilnahme an der Online-Befragung wurden im Zeitraum vom 13.01. bis 11.02.2011 insgesamt 425 Einladungen verschickt. Mit 65 vollständigen Interviews wurde eine Rücklaufquote von 14,4% erzielt. Die Befragten Test-Personen sind für fast ein Drittel der bestehenden Verkehrstunnel in Europa zuständig (4140km von 15.000km Tunnelanlagen).<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Weitere Ergebnisse dieser quantitativen Forschung siehe Studie „Marktfähigkeit neuer Entwicklungen in Verkehrstunneln“, Hartung/ Schiffer (2011).

### **Kosten-Nutzen-Analyse**

Zum Abschluss wurde am Beispiel des Einsatzes unterschiedlicher Tübbings eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Auf Basis dieser Bewertungsmethode wurden die jeweiligen Investitionsmaßnahmen neben der betriebswirtschaftlichen- auch auf volkswirtschaftlicher Ebene überprüft. Ziel war es, zu bestimmen, unter welchen Voraussetzungen neu entwickelte Tübbings im Vergleich zu konventionellen Tübbings gesamtwirtschaftliche Vorteile aufweisen können.

Die hierfür relevanten Indikatoren wurden mittels Sekundäranalyse identifiziert und festgelegt.

## II. Zusammenfassung

### Marktpotenzial

Nach Angaben der STUVA<sup>5</sup> konnten bereits im Jahr 2002 ca. 15.000 Tunnelkilometer in Europa gezählt werden. Ein Zuwachs von 2.500km wurde für die nächsten 10 bis 15 Jahren prognostiziert. Diese hohe Aktivität bestätigt sich anhand der durchgeführten Erhebung unter Betreibern und Erstellern von Verkehrstunnelanlagen in Europa. Demnach befinden sich in den befragten Unternehmen/Institutionen aktuell 382 Tunnelkilometer im Bau. In den kommenden fünf Jahren sind innerhalb der untersuchten Stichprobe 250km Tunnelneubauten geplant. Neue Produkte bzw. Technologien werden bei Neubauten und Sanierungen regelmäßig berücksichtigt. Damit bestünde in den kommenden Jahren ein Potenzial für neue, sicherheitsrelevante Produkte.

### Betriebswirtschaftliche Aspekte

Bei Produktentscheidungen im Rahmen von Tunnelbauten oder Sanierungen sind das Kosten-Nutzen-Verhältnis und damit insbesondere Betriebs- und Unterhaltskosten von hoher Bedeutung. Der betriebswirtschaftliche Nutzen der Produkte stellt damit ein positives und zugleich beeinflussbares Entscheidungskriterium, auch für Produkte aus dem Sicherheitsbereich, dar. Hierbei werden seitens der Entscheider und Betreiber auch Kosten und Nutzen über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt.

Die Herstellungskosten sind ebenfalls von Bedeutung, jedoch nicht das allein ausschlaggebende Kriterium und insgesamt von geringerer Bedeutung als das Kosten-Nutzen-Verhältnis. Vielmehr besteht die Bereitschaft, für betriebswirtschaftliche Einsparungen auch höhere Erstellungskosten in Kauf zu nehmen.

Höhere Sicherheit zählt ebenfalls zu den wichtigsten Aspekten bei der Produktentscheidung. Dies bezieht sich aus Sicht der Ersteller und Betreiber jedoch hauptsächlich auf die Betriebssicherheit und weniger auf die Angriffssicherheit. Neue Produkte, deren Nutzen allein im Security-Bereich liegen, werden daher eher kritisch gesehen. Einzige Ausnahme hiervon bilden Situationen nach vorangegangenen Ereignissen, Katastrophen oder Anschlägen. Hier finden, auch unabhängig von den betriebswirtschaftlichen Auswirkungen, neue Produkte aus dem Security-Bereich schneller Verwendung.

Die Kombination von betriebswirtschaftlichem Nutzen mit sicherheitsrelevanten Eigenschaften neuer Produkte trifft sowohl im Safety- als auch im Security-Bereich auf Akzeptanz und Nachfrage.

### Beispiel Einsatz von Tübbings in Tunnelanlagen

Die Nachfrage nach Tübbings allgemein wird in den kommenden fünf Jahren steigen. Die Höhe der Nachfrage wird jedoch vom Vorliegen bestimmter Erfolgskriterien beeinflusst.

Als wichtigste Eigenschaften eines Tübbings werden eine hohe Nutzungsdauer und große Wartungsintervalle gesehen. In diesen Aspekten besteht aus Sicht der Befragten auch der

---

<sup>5</sup> Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.

höchste Entwicklungsbedarf. Dabei halten 41% der Betreiber und Ersteller von Verkehrstunneln u.U. Nutzungsdauern von über 100 Jahren (derzeitiger Standard) für wirtschaftlich sinnvoll.

Für eine höhere Nutzungsdauer wären auch ca. 30% der befragten Infrastrukturbetreiber von Verkehrstunnelanlagen bereit, höhere Erstellungskosten in Kauf zu nehmen. Unter Befragten mit Erstellungsverantwortung liegt der Anteil bei 42%.

Tübbings, die im Vergleich zu bestehenden Produkten eine höhere Nutzungsdauer vorweisen, könnte grundsätzlich Marktpotenzial bestehen. Die Höhe der Nachfrage wird jedoch von deren Kosten-Nutzen-Verhältnis sowie den Investitionskosten limitiert.

### **Beispiel Einsatz von Sensoren in Tunnelanlagen**

Als wichtigste Produkteigenschaft von Sensoren wurde die Wartungsfreiheit bzw. geringe Wartungsintensität benannt, gefolgt von der Möglichkeit der einfachen und verständlichen Aufbereitung der Informationen.

Wesentlich sind dabei Informationen für den laufenden Betrieb. Zu den wichtigsten Informationen zählen Angaben über die Rauchentwicklung, zum Standort der Fahrzeuge / Verkehrsaufkommen im Tunnel, gefolgt von möglichen Deformationen in der Tunnelschale und der Luftzusammensetzung.

Nachfragebarrieren bilden die Akzeptanz und das Vertrauen in neuentwickelte Technik.

### **Volkswirtschaftliche Aspekte**

Der volkswirtschaftliche Nutzen von Produkten kann mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) monetär bewertet werden.

#### Nutzen im Katastrophenfall

Mit Hilfe von Entwicklungen, welche im Fall einer Katastrophe oder eines Anschlags Nutzen liefern, können wirtschaftliche Vorteile erzielt werden. Unabhängig von der wirtschaftlichen Bedeutung des Verkehrstunnels wurde bei allen untersuchten Produkten und Konfigurationen, auch unter Einbezug der Eintrittswahrscheinlichkeit, ein Nutzen erreicht. Die Vorteile basieren im Wesentlichen auf volkswirtschaftlichen Kriterien wie Transportkosten, soziale Unfallkosten oder wirtschaftliche Folgen durch den Tunnelausfall. Aufgrund eines Nutzens in diesem Bereich konnten im Ereignisfall Kosten vermieden oder reduziert werden.

#### Nutzen im Normalbetrieb

Wesentliche Kriterien, die die Kosten-Nutzen-Analyse für den Normalbetrieb positiv beeinflussen können, sind u.a. eine hohe Nutzungsdauer, eine geringere Anzahl an benötigten Instandsetzungen oder erreichbare Einsparungen bei Erstellungs- oder Unterhaltskosten.

#### Bilanz

Beim Vergleich zusätzlicher Kosten mit entstehenden Nutzen im Normalbetrieb oder im Katastrophenfall zeigt sich, dass Nutzen im Normalbetrieb einen starken positiven Effekt

ausüben. Hierbei ist jedoch wesentlich, dass die Nutzen in Art und Dimension auch von der Nachfrage gedeckt sind, da sie anderenfalls nicht zum tragen kommen können.

Nutzen im Katastrophenfall ermöglichen, in der Gesamtbilanz auch erhebliche Mehrkosten auszugleichen. Dieser Effekt wird aber stark von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Katastrophenfalls beeinflusst, was sich bei Konstellationen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit aber großem Gefahrenpotenzial als problematisch erweist.

Die Kombination betriebswirtschaftlicher Nutzen im Normalbetrieb mit Vorteilen im Katastrophenfall führte auch bei volkswirtschaftlichen Untersuchungen zu den besten Ergebnissen.

### **Beispiel KNA für den Einsatz von Tübbings aus Hochleistungsbeton in Tunnelanlagen**

Im Fall der beispielhaft analysierten Tübbings zeigt sich, dass deutliche Mehrkosten durch sicherheitsrelevante Wirkungen sowie gesteigerte Nutzungsdauern ausgeglichen werden können. Es zeigte sich ferner, dass bei heute üblichen oder potenziell nachgefragten Nutzungsdauern eine vollständige Kompensation der Mehrkosten nicht erreicht wurde. In der Folge dieser Nachfrageeigenschaft ergibt sich im Vergleich zu konventionellen Tübbings das gleiche oder ein ungünstigeres Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Hieraus kann einerseits der Bedarf für weitere Optimierungen abgeleitet werden, um im Rahmen der normalen Verwendung ein verbessertes Kosten-Nutzen-Verhältnis erreichen zu können und gleichzeitig zu einer höheren Sicherheit beizutragen. Diese Optimierungen beziehen sich nicht allein auf die Kosten, sondern auch auf die Leistungsseite des Untersuchungsobjekts, die sich an der potenziellen Nachfrage orientieren sollte. Zum anderen ergeben sich für Tübbings in der aktuellen Konfiguration Anwendungen, für die konventionelle Tübbings derzeit nicht in Betracht kommen.

ISBN 978-3-00-036163-0



9 783000 361630 >