

Ein- oder Zwei-Röhren-Tunnel?

Ein nicht alltäglicher Erörterungsprozeß in Bremen-Hemelingen

Jürgen Gerlach

Die Rahmenbedingungen

Die geplante – und zum größten Teil bereits realisierte – Erweiterung von Gewerbe- und Industriebetrieben im Bremer Osten führt zu nachhaltigen Konflikten zwischen gewerblicher Nutzung und Wohnen. Wesentliche Ziel- und Quellverkehre der Gewerbe- und Industriegebiete werden über das Straßennetz in Hemelingen und Sebaldsbrück abgewickelt; die Straßennetzteile übernehmen dort überwiegend Wohn-, Einkaufs- und Aufenthaltsfunktionen (Bild 1).

Neben einer Verbesserung der Schienenanbindung sowie der Stärkung des ÖPNV ist es Ziel der Verkehrsplanung im Bremer Osten, die Gewerbegebiete günstiger anzubinden und dadurch den Ortsteil Hemelingen mittels einer Direktverbindung zwischen den Gewerbegebieten und dem Autobahnzubringer Hemelingen zu entlasten. Die Diskussion verschiedener Varianten für eine solche Direktverbindung hat bereits im Jahr 1993 zur Präferenz einer Variante E2 (Bild 2) geführt. Die Baustrukturen im Bereich der möglichen Trassenführung der Variante E2 erzwingen im Abschnitt zwischen den Gleisanlagen der Deutschen Bahn AG eine Tunnellage für die Querspange. Da sowohl der Autobahnzubringer Hemelingen als auch die Sebaldsbrücker Heerstraße im Nahbereich des Tunnels vierspurig ausgebaut sind, erschien es in den ersten Überlegungen als selbstverständlich, den im Schildvortrieb zu erstellenden Tunnel mit vier Fahrstreifen (je zwei Streifen in zwei Röhren) auszulegen. Die im weiteren Planungsprozeß durchgeführten Verkehrs- und Belastungsprognosen [1] wiesen für den Tunnel Hemelingen Belastungen in der Größenordnung von rd. 17.100 Kfz/24 h bzw. rd. 2.000 Kfz in der Spitzenstunde aus. Da die Erfahrung zeigt,

daß solche Belastungen auch über zweistreifige Querschnitte abzuwickeln sind, kamen nun Zweifel an der ersten vierstreifigen Lösung auf.

Den weiteren Erörterungs- und Entscheidungsprozeß bestimmten nunmehr folgende drei Varianten:

1. Variante E2 (1)
eine Tunnelröhre mit zwei Fahrstreifen, durch markierten Mittelstreifen getrennt
2. Variante E2 (1 red)
eine Tunnelröhre mit zwei Fahrstreifen ohne Mittelstreifen
3. Variante E2 (2)
zwei Tunnelröhren mit jeweils zwei Fahrstreifen.

Der Mittelstreifen bei der Variante E2 (1) soll als schraffierte Sperrfläche ausgebildet werden, die bei Notfällen als Ausweichfläche zur Verfügung steht. Bei der Variante E2 (1 red) wird auf diese Sperrfläche verzichtet. Bei der Variante E2 (2) werden je Röhre zwei Fahrstreifen mit einer Breite von 3,50 m angeordnet; der Straßenquerschnitt erhält eine lichte Breite von 9 m und eine lichte Höhe in den Randbereichen von 4,50 m.

Im Erörterungsprozeß war der Einfluß des Quell- und Zielverkehrs des nahe des geplanten Tunnels gelegenen Werkes der Mercedes-Benz AG (MBAG) zu berücksichtigen. Insbesondere der Abfluß der Frühschicht des MBAG-Werkes erzeugte eine richtungsbezogene Verkehrsspitzenbelastung außerhalb der

eigentlichen Spitzenverkehrszeiten des Normalverkehrs. Im derzeitigen Produktionszyklus wird allerdings nicht im ausgeprägten Schichtwechselbetrieb gearbeitet.

Die technische Realisierbarkeit

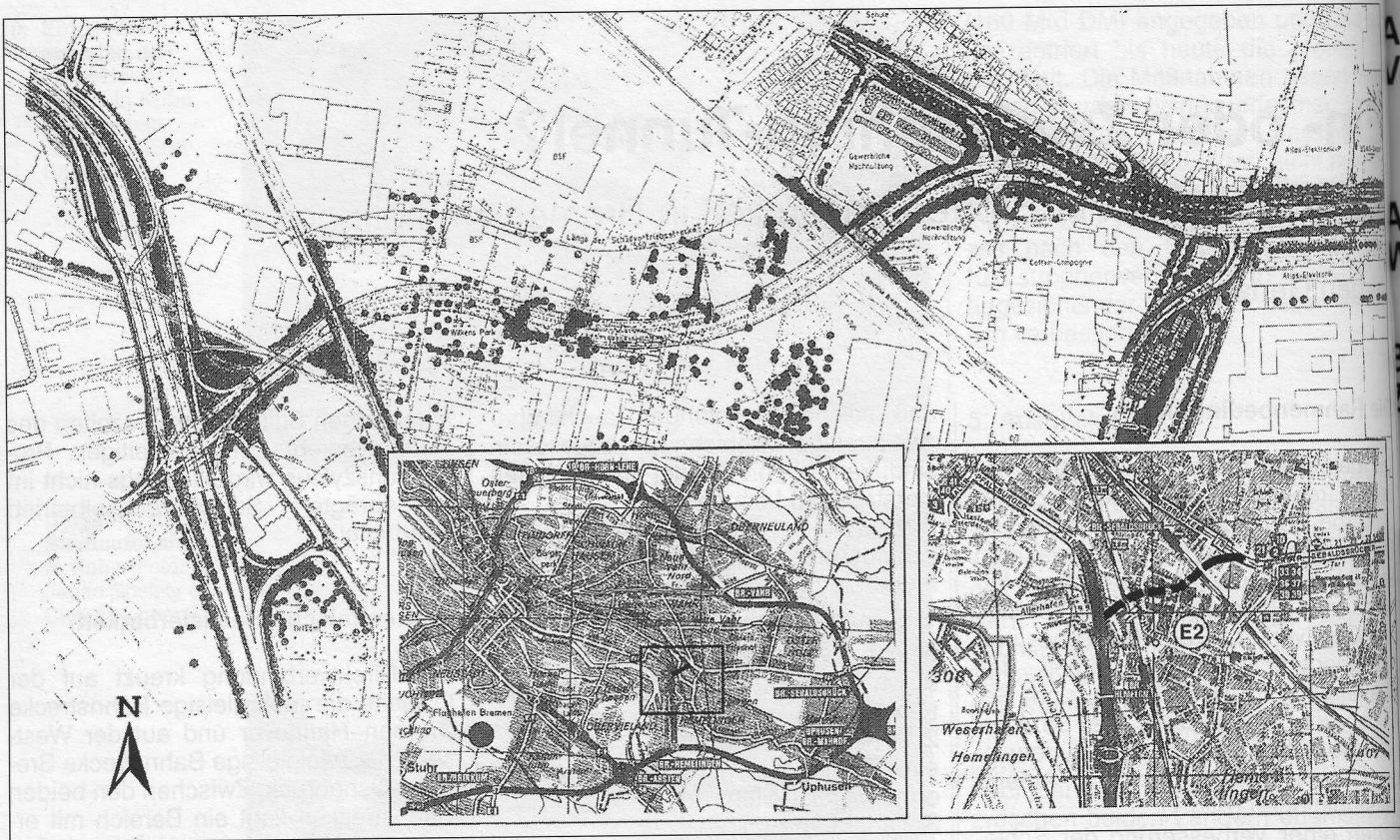
Die Direktverbindung kreuzt auf der Ostseite die mehrgleisige Bahnstrecke Bremen–Hannover und auf der Westseite die zweigleisige Bahnstrecke Bremen–Osnabrück. Zwischen den beiden Bahnstrecken liegt ein Bereich mit erhaltenswerter Wohn- und Gewerbebebauung. Aus dieser Situation resultiert die Zielsetzung, das Areal möglichst weitgehend mit einem in geschlossener Bauweise herzustellenden Tunnel zu unterfahren.

Die Vorplanung der Ingenieurbauwerke [2] macht deutlich, daß eine Unterfahrung aufgrund der Baugrundverhältnisse nicht gänzlich problemlos möglich sein wird. Unter bis zu 2 m mächtigen Auffüllungen folgt die fein- und mittelsandige Bremer Düne mit einer Mächtigkeit von 2–7 m. Eingelagert sind darin abschnittsweise bis zu 6 m starke, setzungsempfindliche Weichschichten. Nicht auszuschließen ist es, daß in diesen Schichten Kampfmittel aus dem zweiten Weltkrieg vorzufinden sind. Unterlagert wird die Bremer Düne mit kiesigen Wesersanden, deren Korngrößen von oben nach unten merklich zunehmen. An der Basis können Find-



1: Bremen-Sebaldsbrück

Verfasseranschrift: Dr.-Ing. Gerlach, IGS, Ingenieurgesellschaft Stolz, Broicherdorfstraße 11, 41564 Kaarst



2: Tunnelverbindung Hemelingen – Lage der Variante E2

linge größerer Ausdehnung angetroffen werden. Unter den Wesersanden folgt ein „Lauenburger Ton“, der die Grundwassersohle bildet.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Bausubstanz und der Vegetation im Umfeld erscheint es zweckmäßig, auf die Absenkung des Grundwasserspiegels, der künstlich durch das Weser Wehr angestaut ist, zu verzichten. Bei den nicht standfesten Lockerböden bietet sich der Schildvortrieb an, der ohne Grundwasserabsenkung mit

- dem Druckluftverfahren,
- flüssigkeitsgestützter Ortsbrust oder
- dem Erddruckschildverfahren

durchgeführt werden kann.

Aufgrund der Ausbläsergefahr und der damit verbundenen Folgen für die vorhandene Bebauung erscheint das Druckluftverfahren auch unter Beachtung der möglichen Austrocknung der Weichschicht und der damit verbundenen Setzungen als nicht geeignet. In Frage kommen daher in erster Linie die beiden letztgenannten Verfahren. Von besonderer Bedeutung für den Baubetrieb sind die oberhalb der Lauenburger Schichten möglicherweise anzutreffenden Findlinge. Während das Erddruckschild bereits sehr voluminöse Steine (bis ca. 40 cm Ø) direkt abfordern kann, sollte beim Hydrochild ein Steinbrecher vorgesehen werden, der sich auf der Schildsohle ansammelnde Steine in spülfähige

Fractionen zerlegt. Bei beiden Verfahren müssen jedoch nicht zu bewältigende Steine manuell zerkleinert werden. In einem solchen Fall muß das Stützmedium entfernt und die Ortsbrust betreten werden.

Da sich solche Standzeiten infolge der Beseitigung von Findlingen oder auch der Kampfmittelfräumdung erheblich auf die Kosten der Baumaßnahme auswirken können, sind Risikozuschläge bei der Kostenermittlung der Varianten zu berücksichtigen. Prinzipiell ist das Risiko für Kostensteigerungen aufgrund des Maschinenstillstandes um so höher, je größer die Fläche der Ortsbrust in der betreffenden Bodenschicht ist. Dementsprechend fallen – rein rechnerisch – die Kostenrisiken bei den einröhrigen Tunnelvarianten geringer aus als bei der zweiröhrigen Variante mit einer insgesamt größeren Querschnittsfläche.

Beachtet werden muß, daß der Tunnelquerschnitt der Variante E2 (1) aufgrund des zusätzlichen Mittelstreifens einen Außendurchmesser aufweist, der mit 12,75 m an der Grenze bisher ausgeführter Bauwerke liegt. Auch hier sind Kostenrisiken aufgrund der kaum vorhandenen Vergleichsmöglichkeiten mit durchgeführten Maßnahmen einzurechnen. Hinzu kommt, daß infolge des größeren Außendurchmessers die Tunnelsohle tiefer gelegt werden muß als bei den Varianten E2 (1 red) bzw. E2

(2), was dazu führt, daß der Tunnel stärker in die problematische Grenzschicht zum Lauenburger Ton mit den einliegenden Findlingen geführt werden muß. Auch die oberirdischen Auswirkungen (Erschütterungen, Setzungen, Körperschall) sind infolge des vergrößerten Querschnittes als gravierender einzustufen.

Die Investitionskosten

Investitionskosten folgen aus den Ausgaben für

- den Bau der konstruktiven Bauwerke (Tunnel, Tröge usw.)
- den Straßen- und Kanalbau
- den Aus- und Neubau sowie Verkehrsberuhigungsmaßnahmen im nachgeordneten Netz
- technische Ausstattung
- Begrünung
- aktiven und passiven Lärmschutz
- Leitungsverlegungen und
- Grunderwerb.

In der Tabelle 1 sind die voraussichtlichen Kosten für die drei in Frage kommenden Varianten gegenübergestellt. Demnach ist voraussichtlich mit folgenden Investitionskosten zu rechnen:

- 380 Mio DM für eine Tunnelröhre ohne Mittelstreifen
- 406 Mio DM für eine Tunnelröhre mit Mittelstreifen und
- 414 Mio DM für zwei Röhren.

Gegenverkehrstunneln geringer ist als bei den im Richtungsverkehr befahrenen Tunneln. Als Hauptursache für diesen Unterschied sind Überholvorgänge beim Richtungsverkehr und vorsichtigeres Fahren in Gegenverkehrstunneln anzusehen. Bei Tunneln mit Richtungs-

verkehr kann von einer durchschnittlichen Unfallrate von 1,8 Unfällen je 1 Mio Kfz-km, beim Gegenverkehr von 1,3 Unfällen je 1 Mio Kfz-km ausgegangen werden. Demnach ergeben sich für den Bremer Tunnel bei den einröhri- gen Varianten voraussichtlich rd.

4 Unfallereignisse und bei der zweiröhri- gen Variante rd. 6 Unfallereignisse pro Jahr.

Bei der unterschiedlichen Querschnittsausbildung der Varianten haben Pannen und Unfälle unterschiedliche Auswirkungen; Tabelle 4 enthält eine Übersicht der abgeschätzten Anzahl und Auswirkungen von Verkehrsstörungen.

Bei der zweiröhri- gen Variante sind erwartungsgemäß vergleichsweise geringere Folgen von Verkehrsstörungen bei Pannen und Unfällen zu verzeichnen. Da bei der einröhri- gen Variante mit Mittelstreifen ein Passieren liegendegebliebener Fahrzeuge auf dem Mittelstreifen möglich ist, liegen die Auswirkungen von Verkehrsstörungen in etwa in der gleichen Größenordnung wie bei der zweiröhri- gen Variante. Zwar wirken sich beim Zwei-Röhren-Tunnel Verkehrsstörungen durch Pannen oder Unfälle nur auf eine Fahrtrichtung aus, durch die größere Häufigkeit von voraussichtlichen Unfallereignissen im Gegenrichtungsverkehr wird der Vorteil der zweiröhri- gen Variante im Vergleich zur einröhri- gen Variante mit Mittelstreifen jedoch wieder kompensiert. Demgegenüber verursachen Störungen unter Zugrundelegung der einröhri- gen Variante ohne Mittelstreifen höhere volkswirtschaftliche Kosten als Folge von Verkehrsstörungen im Vergleich zu den anderen beiden Varianten.

Neben den Folgewirkungen von Verkehrsstörungen entstehen durch Unfälle Personen- und Sachschäden, die sich mit Hilfe von ökonomischen Bewertungssätzen nach RAS-W [4] in Kosten ausdrücken lassen. Eine Prognose der Unfallschwere ist naturgemäß schwierig; es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß der Anteil der Unfälle mit Personenschäden im Gegenverkehr höher ist als beim Richtungsverkehr. Im vorliegenden Fall wurde der Anteil von Unfällen mit Personenschäden am gesamten Unfallgeschehen bei den einröhri- gen Varianten zu 40 %, beim Zwei-Röhren-Tunnel zu 20 % angesetzt.

Das Kosten-Nutzen-Verhältnis

Die Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen der Varianten ergibt die in der Tabelle 5 dargestellten Kosten der einröhri- gen Varianten im Vergleich zur zweiröhri- gen Tunnelösung.

Die Kostengegenüberstellung liefert folgende Kernaussagen:

1. Aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die einröhri- ge Variante

Tabelle 4: Anzahl und Auswirkungen von Verkehrsstörungen [3, 5]








| Ereignis | Anzahl pro Jahr | | |
|--|--|---|--|
| |  E2 (1) |  E2 (1red) |  E2 (2) |
| Fahrzeugpannen pro Jahr | 22 | 22 | 22 |
| davon verbunden mit | | | |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 1700 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | 6 | — | — |
| Stillstand in einer Richtung (Summe 1000 Fz/h), stockendem Verkehr in Gegenrichtung (700 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | 6 | — |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 1000 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | 6 | — |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 600 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 20 Minuten | — | 4 | — |
| stockendem Verkehr in einer Richtung (1000 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | — | 4 |
| Unfälle pro Jahr | 4 | 4 | 6 |
| davon verbunden mit | | | |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 1000 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | 2 | — | — |
| Stillstand in einer Richtung (500 Fz/h), stockendem Verkehr in Gegenrichtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 45 Minuten | 1 | — | — |
| Stillstand in einer Richtung (500 Fz/h), stockendem Verkehr in Gegenrichtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | 2 | — |
| Stillstand in beiden Richtungen (Summe 1000 Fz/h) für 45 Minuten | — | 1 | — |
| stockendem Verkehr in einer Richtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | — | 3 |
| Stillstand in einer Richtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 45 Minuten | — | — | 1 |
| Fahrzeugbrände – verbunden mit Vollsperrung beider Richtungen für 1 Stunde (Summe 1000 Fz/h) | 1 in 9 Jahren | 1 in 9 Jahren | 1 in 9 Jahren |

Tabelle 5: Kosten der einröhri- gen Varianten im Vergleich zur Variante E2 (2) [3]

| Kostenposition | | DM / Jahr Preisstand 2001 | |
|--|---------------------------------|--|---|
| | |  E2 (1) |  E2 (1red) |
| Investitionskosten | | [- 661.377] | [- 2.810.852] |
| laufende Kosten | betriebl. Unterhalt des Tunnels | [- 129.138] | [- 129.138] |
| | Fahrbahn | [- 31.773] | [- 31.773] |
| Zwischensumme Kostenkomponenten | | [- 822.288] | [- 2.971.763] |
| Fahrleistungsbez. Betriebskosten und Fahrzeitkosten während des Abflusses der MBAG-Frühsschicht | | [+ 12.051] | [+ 12.051] |
| Fahrleistungsbezogene Betriebskosten und Fahrzeitkosten im „Normalverkehr“ | | [+ 195.790] | [+ 195.790] |
| Unfallkosten im Jahresverlauf | | [- 269.591] | [- 269.591] |
| Kosten planmäßiger Störungen | | [+ 3.196] | [+ 3.196] |
| Kosten außerplanmäßiger Störungen | | [+ 1.430] | [+ 43.637] |
| Zwischensumme Nutzenkomponenten | | [- 57.124] | [- 14.917] |
| Summe | | [- 879.412] | [- 2.986.680] |
| <div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+</div> Mehrkosten gegenüber  E2 (2) </div> <div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px; display: inline-block;">-</div> Minderkosten gegenüber  E2 (2) </div> | | | |

Die Folgen planmäßiger Störungen

Regelmäßige Unterhaltungsarbeiten im Verkehrsraum von Straßentunneln werden notwendig für die Reinigung der Wände, Fahrbahnen, Entwässerungseinrichtungen, Lampen, Nischenausstattungen, Verkehrssignale und Verkehrszeichen. Ferner müssen die Betriebseinrichtungen in regelmäßigen Abständen gewartet und Bauwerksprüfungen durchgeführt werden.

Sperrzeiten für solche Unterhaltungsarbeiten sind ausnahmslos nachts anzuordnen, um größere Verkehrsbeeinträchtigungen zu vermeiden. Für den Ein-Röhren-Tunnel kann eine vollständige Sperrung an 8 Nächten/Jahr an Werktagen von 24.00 Uhr bis 5.00 Uhr vorausgesetzt werden.

Wartungsarbeiten im Zwei-Röhren-Tunnel bleiben ohne Konsequenzen für den Verkehrsablauf im Tunnelabschnitt, da die zweite Röhre während der Nachtstunden störungsfrei im Gegenverkehr betrieben werden kann.

Insofern ergeben sich für die einröhri- gen Varianten im Vergleich zur Variante mit zwei Röhren aufgrund der notwendigen nächtlichen Verlagerung des Verkehrs in das Netzumfeld höhere Betriebs-, Zeit- und nach RAS-W [4] auch höhere Unfallkosten.

Das Unfallgeschehen

Die häufigsten Ursachen von Verkehrsstörungen in Straßentunneln sind Fahrzeugpannen und Unfälle.

Mit Hilfe der Analyse von Pannen- und Unfallraten bestehender Straßentunnel [5] konnte der Umfang von zu erwartenden Verkehrsstörungen abgeschätzt werden.

Grundlage ist das zu erwartende Verkehrsaufkommen im Tunnel. Bei einem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) von 17.100 Kfz/24 h beträgt die Fahrleistung im 600 m langen Tunnel pro Jahr rund

$17.100 \times 365 \text{ Tage} \times 0,6 \text{ km} = 3,75 \text{ Mio Kfz-km}$.

Tabelle 2 enthält die Pannendaten für vier städtische Straßentunnel. Der Mittelwert der Pannenraten beträgt 7,4

Tabelle 2: Pannenraten (Pannen je 1 Mio Kfz-km) in städtischen Straßentunneln mit Richtungsverkehr (RI) und Gegenverkehr (GE) [5, 6]

| Name Ort | Länge [km] | Verkehrsart | DTV Kfz / 24 h | Jahr | Pannen-zahl | P |
|-----------------------|------------|-------------|----------------|------|-------------|------|
| Rheinallee Düsseldorf | 0,650 | Ri | 41.000 | 1986 | 84 | 8,6 |
| Rendsburg Rendsburg | 0,640 | Ri | 28.000 | 1986 | 25 | 3,8 |
| Theater Frankfurt | 0,415 | Ge | 10.000 | 1986 | 5 | 3,3 |
| Schloßberg Neuenbürg | 0,149 | Ge | 12.000 | 1986 | 9 | 13,8 |
| Durchschnitt | | | | | | 7,4 |

Tabelle 3: Unfallraten U (Unfälle je 1 Mio Kfz-km) in städtischen Straßentunneln [5]

| Name Ort | Länge [km] | DTV Kfz / 24 h | Jahr | Anzahl Unfälle / Jahr | U |
|--|-------------|----------------|-----------|-----------------------|-----|
| Tunnel mit Richtungsverkehr (2 Röhren mit je 2 Fahrstreifen) | | | | | |
| Ruhrschnellweg Essen | 1,005 | 73.000 | 1993 | 48 | 1,8 |
| Wallring Hamburg | 0,550 | 33.000 | 1990 - 92 | 13,3 | 2,0 |
| Westring Ulm | i. M. 0,485 | 50.500 | 1991 | 18 | 2,0 |
| Planie Stuttgart | 0,400 | 47.000 | 1990 | 10 | 1,4 |
| Durchschnitt | | | | | 1,8 |
| Tunnel mit Gegenverkehr (1 Röhre mit 2 Fahrstreifen) | | | | | |
| Schloßberg Heidelberg | 0,918 | 13.000 | 1989 | 6 | 1,4 |
| Wagenburg Stuttgart | 0,824 | 44.000 | 1990 - 91 | 23 | 1,7 |
| Kronstiege Hamburg | 0,420 | 30.000 | 1990 - 92 | 3,3 | 0,7 |
| Durchschnitt | | | | | 1,3 |

Pannen je 1 Mio Kfz-km. Der Umfang der Fahrzeugpannen wird in erster Linie vom Fahrzeugzustand bestimmt, Verkehrs- und Baudaten des Tunnels beeinflussen die Pannenrate so gut wie nicht. Da im Bremer Straßentunnel ein hoher Anteil von Pkw zu erwarten ist, die vom Alter und Pflegezustand günstig zu beurteilen sind (Fahrzeuge von Firmenangehörigen der MBAG), wird daher eine geringere Pannenrate (angesetzt 80 % des Durchschnittswertes) vorausgesetzt.

Die Anzahl der Fahrzeugpannen im Bremer Straßentunnel kann somit überschlägig auf

$3,75 \text{ Mio Kfz-km} \times 7,4 \times 0,8 = \text{rd. } 22 \text{ Ereignisse}$ pro Jahr abgeschätzt werden.

Fahrzeugunfälle in Straßentunneln sind, anders als bei Fahrzeugpannen, von der Verkehrsabwicklung, der Verkehrsstärke und auch von der Trasse, Gradienten sowie Querschnittsausbildung abhängig.

Eine Umfrage im Januar 1994 [5] ergab die in der Tabelle 3 zusammengestellten Daten aus den Jahren 1989 bis 1992.

Wesentlich ist die Feststellung, daß die durchschnittliche Unfallrate bei den

»LÖFFELSTEIN«

ORIGINAL



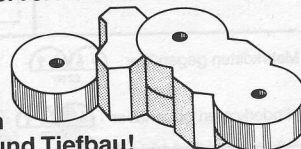
... das begrünbare Stütz- und Lärmschutz-System!

... der einzige mit dem ökologischen Wasserspeicher!

»PROVIBLOCK«

... das wiederverwendbare Element

... für verkehrsgerechte Provisorien im Straßen- und Tiefbau!



SPENGLER

H. Spengler
Sand- u. Betonwerk
Postfach 1332
73473 Ellwangen
Telefon (0 79 61) 90 88 - 0 Werk Rindelbach
Telefax (0 79 61) 90 88 - 30

Gegenverkehrstunneln geringer ist als bei den im Richtungsverkehr befahrenen Tunneln. Als Hauptursache für diesen Unterschied sind Überholvorgänge beim Richtungsverkehr und vorsichtigeres Fahren in Gegenverkehrstunneln anzusehen. Bei Tunneln mit Richtungs-

verkehr kann von einer durchschnittlichen Unfallrate von 1,8 Unfällen je 1 Mio Kfz-km, beim Gegenverkehr von 1,3 Unfällen je 1 Mio Kfz-km ausgegangen werden. Demnach ergeben sich für den Bremer Tunnel bei den einröhri- gen Varianten voraussichtlich rd.

Tabelle 4: Anzahl und Auswirkungen von Verkehrsstörungen [3, 5]








| Ereignis | Anzahl pro Jahr | | |
|--|--|---|--|
| |  E2 (1) |  E2 (1red) |  E2 (2) |
| Fahrzeugpannen pro Jahr | 22 | 22 | 22 |
| davon verbunden mit | | | |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 1700 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | 6 | — | — |
| Stillstand in einer Richtung (Summe 1000 Fz/h), stockendem Verkehr in Gegenrichtung (700 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | 6 | — |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 1000 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | 6 | — |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 600 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 20 Minuten | — | 4 | — |
| stockendem Verkehr in einer Richtung (1000 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | — | 4 |
| Unfälle pro Jahr | 4 | 4 | 6 |
| davon verbunden mit | | | |
| stockendem Verkehr in beiden Richtungen (Summe 1000 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | 2 | — | — |
| Stillstand in einer Richtung (500 Fz/h), stockendem Verkehr in Gegenrichtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 45 Minuten | 1 | — | — |
| Stillstand in einer Richtung (500 Fz/h), stockendem Verkehr in Gegenrichtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | 2 | — |
| Stillstand in beiden Richtungen (Summe 1000 Fz/h) für 45 Minuten | — | 1 | — |
| stockendem Verkehr in einer Richtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 30 Minuten | — | — | 3 |
| Stillstand in einer Richtung (500 Fz/h, $V_m = 20$ km/h) für 45 Minuten | — | — | 1 |
| Fahrzeugbrände – verbunden mit Vollsperrung beider Richtungen für 1 Stunde (Summe 1000 Fz/h) | 1 in 9 Jahren | 1 in 9 Jahren | 1 in 9 Jahren |

Tabelle 5: Kosten der einröhri- gen Varianten im Vergleich zur Variante E2 (2) [3]

| Kostenposition | | DM / Jahr Preisstand 2001 | |
|---|---------------------------------|--|---|
| | |  E2 (1) |  E2 (1red) |
| Investitionskosten | | - 661.377 | - 2.810.852 |
| laufende Kosten | betriebl. Unterhalt des Tunnels | - 129.138 | - 129.138 |
| | Fahrbahn | - 31.773 | - 31.773 |
| Zwischensumme Kostenkomponenten | | - 822.288 | - 2.971.763 |
| Fahrleistungsbez. Betriebskosten und Fahrzeitkosten während des Abflusses der MBAG-Frühsschicht | | + 12.051 | + 12.051 |
| Fahrleistungsbezogene Betriebskosten und Fahrzeitkosten im „Normalverkehr“ | | + 195.790 | + 195.790 |
| Unfallkosten im Jahresverlauf | | - 269.591 | - 269.591 |
| Kosten planmäßiger Störungen | | + 3.196 | + 3.196 |
| Kosten außerplanmäßiger Störungen | | + 1.430 | + 43.637 |
| Zwischensumme Nutzenkomponenten | | - 57.124 | - 14.917 |
| Summe | | - 879.412 | - 2.986.680 |
| <div> <div>+ </div> <div>Mehrkosten gegenüber  E2 (2)</div> </div> <div> <div>- </div> <div>Minderkosten gegenüber  E2 (2)</div> </div> | | | |

4 Unfallereignisse und bei der zweiröhri- gen Variante rd. 6 Unfallereignisse pro Jahr.

Bei der unterschiedlichen Querschnittsausbildung der Varianten haben Pannen und Unfälle unterschiedliche Auswirkungen; Tabelle 4 enthält eine Übersicht der abgeschätzten Anzahl und Auswirkungen von Verkehrsstörungen.

Bei der zweiröhri- gen Variante sind erwartungsgemäß vergleichsweise geringere Folgen von Verkehrsstörungen bei Pannen und Unfällen zu verzeichnen. Da bei der einröhri- gen Variante mit Mittelstreifen ein Passieren liegendebleibener Fahrzeuge auf dem Mittelstreifen möglich ist, liegen die Auswirkungen von Verkehrsstörungen in etwa in der gleichen Größenordnung wie bei der zweiröhri- gen Variante. Zwar wirken sich beim Zwei-Röhren-Tunnel Verkehrsstörungen durch Pannen oder Unfälle nur auf eine Fahrtrichtung aus, durch die größere Häufigkeit von voraussichtlichen Unfallereignissen im Gegenrichtungsverkehr wird der Vorteil der zweiröhri- gen Variante im Vergleich zur einröhri- gen Variante mit Mittelstreifen jedoch wieder kompensiert. Demgegenüber verursachen Störungen unter Zugrundelegung der einröhri- gen Variante ohne Mittelstreifen höhere volkswirtschaftliche Kosten als Folge von Verkehrsstörungen im Vergleich zu den anderen beiden Varianten.

Neben den Folgewirkungen von Verkehrsstörungen entstehen durch Unfälle Personen- und Sachschäden, die sich mit Hilfe von ökonomischen Bewertungssätzen nach RAS-W [4] in Kosten ausdrücken lassen. Eine Prognose der Unfallschwere ist naturgemäß schwierig; es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß der Anteil der Unfälle mit Personenschäden im Gegenverkehr höher ist als beim Richtungsverkehr. Im vorliegenden Fall wurde der Anteil von Unfällen mit Personenschäden am gesamten Unfallgeschehen bei den einröhri- gen Varianten zu 40 %, beim Zwei-Röhren-Tunnel zu 20 % angesetzt.

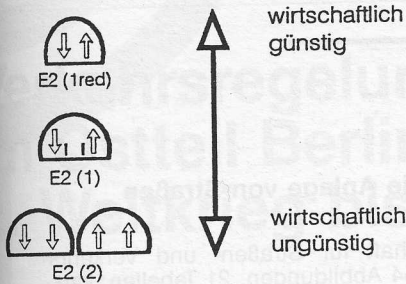
Das Kosten-Nutzen-Verhältnis

Die Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen der Varianten ergibt die in der Tabelle 5 dargestellten Kosten der einröhri- gen Varianten im Vergleich zur zweiröhri- gen Tunnelnösung.

Die Kostengegenüberstellung liefert folgende Kernaussagen:

1. Aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die einröhri- ge Variante

ohne Mittelstreifen vorzuziehen. Hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Strukturen ergibt sich die Rangfolge zu:



- Maßgebend für die Wirtschaftlichkeit der Varianten sind die unterschiedlichen Investitionskosten. Die Kostendifferenzen aus dem Bereich der Nutzenkomponenten (fahrleistungsbezogene Betriebskosten, Fahrzeitkosten, Unfallkosten) sind gegenüber den finanziellen Aufwendungen zur Abschreibung der Investitionskosten verhältnismäßig gering.
- Für die Ermittlung der Differenzen im Bereich der Nutzenkomponenten sind insbesondere die Unfallkosten bedeutsam. Wesentlich ist die Erkenntnis, daß aus der Untersuchung bestehender Straßentunnel bei zweiröhrenigen Tunneln aufgrund der Überholvorgänge höhere Unfallzahlen abzuleiten sind als bei einröhrenigen Tunneln im Gegenverkehr. Auch wenn bei Unfällen im Gegenverkehr besonders schwere Unfälle auftreten können, sind in der Bilanz aller Unfälle pro Jahr höhere Unfallkosten bei zweiröhrenigen Varianten zu verzeichnen.
- Im Vergleich zu den Differenzen der Verbindlichkeiten aus den Investitionskosten der Varianten sind die Differenzen der fahrleistungsbezogenen Betriebskosten und Fahrzeitkosten im Jahresverlauf relativ gering. Grundlage dieses Ergebnisses bildet die Erkenntnis, daß nicht der Ausbaustandard der Tunnelabschnitte, sondern Leistungsfähigkeit der Knotenpunkte und Koordinierungsmöglichkeiten der „Grünen Welle“ die mittleren Geschwindigkeiten im Tunnel maßgebend beeinflussen.
- Aufgrund der nur begrenzten Dauer zu erwartender Auswirkungen von Verkehrsstörungen im Tunnel sind die daraus resultierenden Mehrkosten relativ gering. Hinzu kommt, daß bei notwendigen Sperrungen für Unterhaltungsarbeiten in den Nachtstunden nur geringe Verkehrsmengen von notwendigen Verkehrsverlagerungen betroffen sind.

Da die Rechenabläufe der Kosten-Nutzen-Analyse Einwert-Angaben für die zu berücksichtigenden Einflußparameter erforderten, wurden Sensitivitätsrechnungen durchgeführt, um die „Stabilität“ bzw. „Elastizität“ der wirtschaftlichen Rangfolge der Varianten zu beurteilen. Die Sensitivitätsanalyse ergab, daß unter realistischen Rahmenbedingungen die ursprüngliche Rangfolge als maßgebend angesehen werden muß. Werden für einröhre Varianten ungünstigere Unfallbilanzen vorausgesetzt, so stellt sich die zweiröhre Variante günstiger dar als die einröhre Variante mit Mittelstreifen; d.h., die Plätze 2 und 3 werden getauscht. Ansätze, die zum „Kippen“ der einröhre Variante ohne Mittelstreifen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten führen würden, erscheinen als unrealistisch.

Die Entscheidung

Die Entscheidung fiel zugunsten der zweiröhrenigen Variante E2 (2). Maßgebend für die Entscheidung waren

- die im Verhältnis zu den Gesamtkosten nur relativ geringen möglichen Kosteneinsparungen bei einröhrenigen Varianten
- die höheren Leistungsreserven bei der zweiröhrenigen Variante und die damit verbundenen größeren „Sicherheiten“ eines weitgehend störungsfreien Verkehrsablaufes in Spitzenzeiten sowie der Möglichkeit der Aufnahme zusätzlicher Verkehrsmengen im Prognosezeitraum.

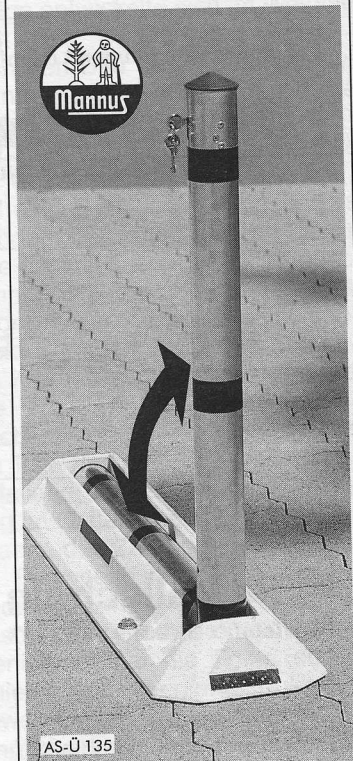
Die städtische Baumaßnahme steht momentan kurz vor der Planfeststellung (Planungsstand: Anfang Januar '96). Die Finanzierung des Tunnels aus städtischen Mitteln ist noch nicht gesichert; derzeit werden Möglichkeiten der Drittfinanzierung geprüft.

Schrifttum

- Ingenieurgruppe IVV – Aachen: Variantenuntersuchung Bremer Osten, Belastungsermittlung und Wirkungsanalyse. Aachen, 1993/1994
- MOP Ingenieurgesellschaft mbH/WKP König & Partner: Bremer Osten, Verkehrsbelastung der Wohnbereiche in Hemelingen, Vorplanung Ingenieurbauwerke. Bremen/Hamburg, 1993/1994
- IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH: Bremer Osten, Verkehrsbelastung der Wohnbereiche in Hemelingen, Kosten-Nutzen-Analyse. Kaarst, 1994
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W). Köln, 1986

- Herzke, K.: Straßentunnel Bremen-Hemelingen, Verkehrsstörungen Ein-Röhren-Tunnel/ Zwei-Röhren-Tunnel sowie Verkehrsstörungen im Zwei-Röhren-Tunnel mit kleineren Querschnitten. Wedel, 1994
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Dokumentation von Straßentunneln, Teil 1: Zusammenstellung der Tunneldaten, Teil 2: Auswertung der Tunneldaten. Köln, 1988/1989

Ihr Partner für Sperrpfosten Fahnenmasten



z. B.: Kippbarer Sperrpfosten
mit Überfahrerschutz
aus ALMOSTONE®.
Solide, witterungs- und
UV-beständig.

**Umfassendes Sperrpfosten- und
Fahnenmasten-Programm!
Fordern Sie unsere
Mannus-Kataloge an!**

JULIUS CRONENBERG O.H.
Sophienhammer
Postfach 3060, 59741 Arnsberg
Tel. 0 29 32/477-0 · Fax 4 77 47