

Stadt Regensburg

# Donau-Nordarm-Tunnelquerung Sicherheitsbewertung für die Lösung aus der Machbarkeitstudie vom Juni 2009



**Donau-Nordarm-Tunnelquerung  
Sicherheitsbewertung für die Lösung aus der  
Machbarkeitstudie vom Juni 2009**

**Gutachten  
im Auftrag der  
Stadt Regensburg  
Tiefbauamt**

Bericht Februar 2010

Bearbeiter:  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baltzer

BUNG Ingenieure AG  
Englerstraße 4  
69126 Heidelberg

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Aufgabenstellung	6
3	Beurteilungsgrundlagen	6
4	Abweichungen von den normativen Forderungen	6
4.1	Querschnittsausbildung	6
4.2	Trassierung im Höhenplan	8
5	Risikoeinschätzung hinsichtlich Tunnelbetrieb	9
5.1	Gefahrenanalyse	9
5.2	Relevante Gefährdungen	15
5.2.1	Ereignisse im Tunnel	15
5.2.2	Ereignisse außerhalb des Tunnels	19
5.2.3	Ereignisse im Bereich Betrieb / Organisation / Wartung	19
5.3	Fazit der Risikoeinschätzung hinsichtlich Tunnelbetrieb	20
6	Risikoeinschätzung für bauliche Aspekte	20
6.1	Gewässerunterfahrung	20
6.2	Unterfahrung der Bebauung	21
6.3	Auswirkungen auf bestehende Entwässerungsanlagen	23
6.4	Fazit der Risikoeinschätzungen für bauliche Aspekte	23
7	Problempunkte bei der Umsetzung des Verkehrskonzeptes	23
7.1	Auswirkungen des Betriebskonzeptes auf die Kapazität	23
7.2	Zulässigkeit von Konvoifahrten	25
7.3	Auswirkungen von Verspätungen auf das Tunnelumfeld	25
7.4	Verhinderung von Fremdnutzungen	26
8	Zusammenfassung	26

## 1 Einleitung

Der öffentliche Personennahverkehr wird in Regensburg von den Regensburger Verkehrsbetrieben mit Standardlinienbussen und Gelenkbussen betrieben. Die Anbindung der nördlich der Donau gelegenen Stadtteile und Regionen erfolgte über die mittelalterliche Steinerne Brücke, die zwischenzeitlich aufgrund bautechnischer Überprüfungen sowohl für den Individualverkehr als auch den öffentlichen Personennahverkehr gesperrt werden musste. Die eingerichtete Umleitung über die östlich gelegene Nibelungen-Brücke führt zu erheblichen Umwegen und die direkte bisherige Anbindung des Stadtteils Stadtamhof an die Innenstadt ist nicht mehr gegeben. Auch nach der vorgesehenen denkmalgerechten Sanierung muss die Brücke für den gesamten KFZ-Verkehr gesperrt bleiben, so dass nach Alternativen gesucht wird, um den ÖPNV in der Innenstadt und die Anbindung des Stadtteils Stadtamhof zu verbessern.

Eine der Lösungen ist die in der Machbarkeitsstudie<sup>1</sup> vom Juni 2009 konzipierte einstreifige Donau-Nordarm-Tunnelquerung, die ausschließlich durch den ÖPNV genutzt werden soll. Die in der Machbarkeitsstudie untersuchte Tunneltrasse beginnt in der Gräßlstraße, unterfährt die Bebauung am Gries, kreuzt den Nordarm der Donau und schwenkt schließlich in einen Bogen nach Südwest in die Wörerdstraße (Bild 1)

Der Gradientenverlauf sieht im Norden eine Tunnelrampe mit einer Neigung von ca. 7 % auf einer Länge von 100 m vor. Diese Neigung wird bis zum Tiefpunkt, der sich unterhalb des Nordarmes der Donau befindet, fortgeführt.

Der südliche Tunnelabschnitt ist mit einer Neigung von 10 % geplant, die sich auch für die anschließende Trogstrecke auf einer Länge von 75 m fortsetzt. Der so trassierte Tunnel weist eine Länge von ca. 480 m auf. Die Gesamtstrecke einschließlich der Rampen hat eine Länge von ca. 660 m.

Zum Auffahren des Tunnels wird eine Tunnelvortriebsmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust vorgeschlagen.

---

<sup>1</sup> STUVA, Herrenknecht, Ways&Freytag, derori: Machbarkeitsstudie für eine künftige Donau-Nordarm-Tunnel-Querung für den ÖPNV in Regensburg, Juni 2009

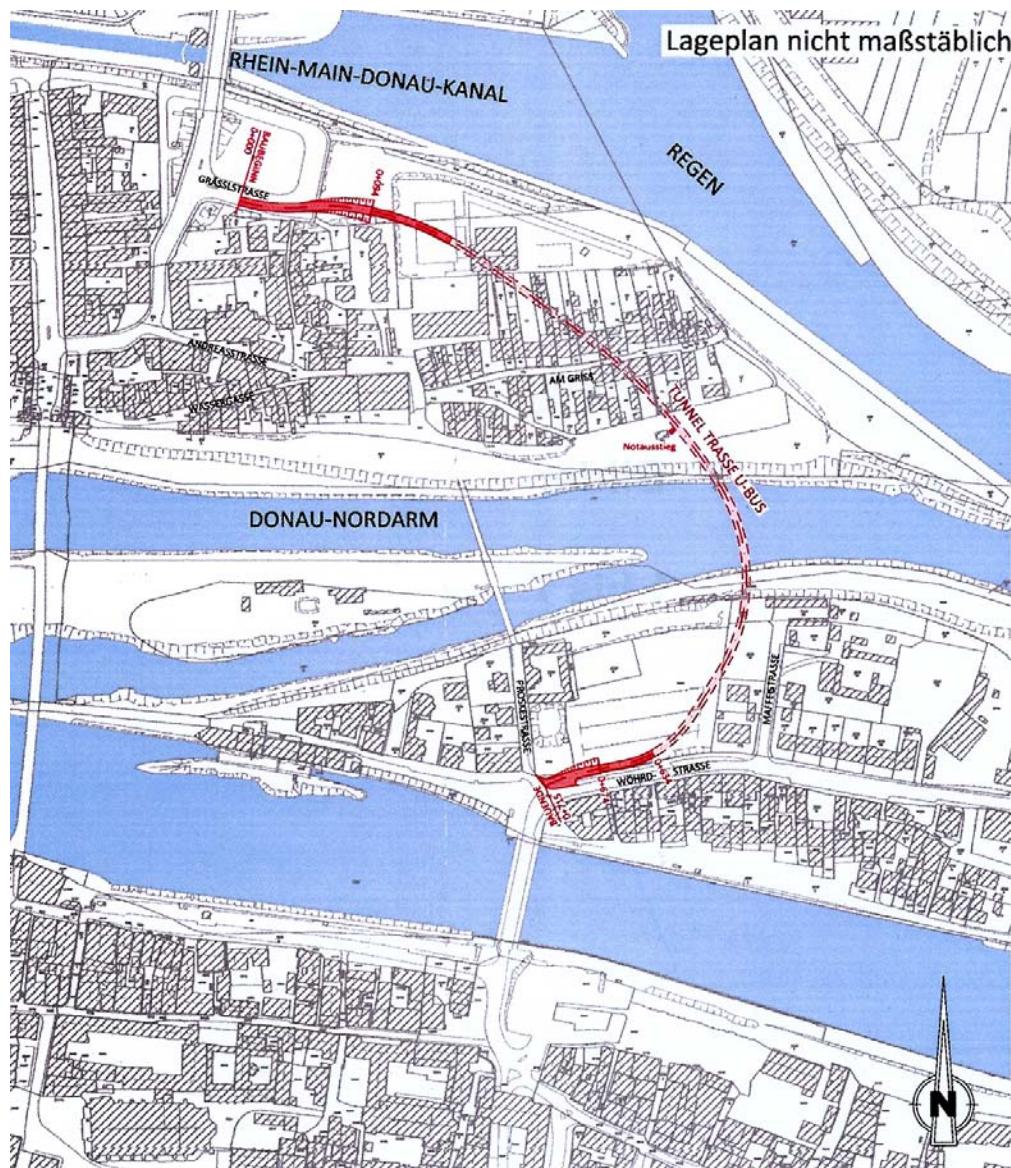


Bild 1: Lageplan des geplanten Bustunnels (Quelle: Machbarkeitsstudie)

## 2 Aufgabenstellung

Der in der Machbarkeitstudie vorgeschlagen Bustunnel weist hinsichtlich der Trassierung im Lage- und Höhenplan sowie in der Querschnittsausbildung einige Besonderheiten auf. Von daher hat die Stadt Regensburg mit Schreiben vom 25.11.09 die BUNG Ingenieure beauftragt, eine sicherheitstechnische Bewertung der Bustunnellösung durchzuführen. Die Lösung ist hinsichtlich der technischen Ausstattung und des Tunnelbetriebes unter dem Gesichtspunkt der Selbst- und Fremdrettung auf mögliche Risiken zu überprüfen und das Risiko auf die Umgebung bei der bautechnischen Umsetzung einzuschätzen. Des Weiteren werden Aussagen zur Barrierefreiheit und zu den Auswirkungen auf die verkehrlichen Abläufe erwartet.

### **3 Beurteilungsgrundlagen**

Der Bustunnel stellt in verschiedener Hinsicht eine Besonderheit dar, so dass zunächst festgelegt werden muss, welche Richtlinien Anwendung finden sollen.

Zur Beurteilung der Sicherheit und Gestaltung eines Tunnels werden im Allgemeinen die RABT 2006<sup>2</sup> herangezogen. Diese werden derzeit als allgemein anerkannte Regeln der Technik angesehen und sind daher in Ermanglung anderer Regelwerke auch für dieses Sonderbauwerk im kommunalen innerstädtischen Netz heranzuziehen. Die dortigen Festlegungen sind zwar in erster Linie für Bundesfernstraßen erlassen worden. Die meisten Bundesländer haben die Anwendung der Richtlinien aber auch verbindlich für die Landesstraßen / Staatsstraßen eingeführt. Diesem Beispiel sind viele Kommunen unter dem Gesichtspunkt, dass der Nutzer unabhängig vom Baulastträger in allen Tunnels die gleiche Sicherheit vorfinden soll, für die kommunalen Straßen gefolgt; dies auch zur eigenen Absicherung bei möglichen rechtlichen Streitfällen im Schadensfall.

Da sich der Tunnel im innerstädtischen Gebiet befindet, sind neben den RABT für die Trassierung im Lage- und Höhenplan zusätzlich die RAST 06<sup>3</sup> anzuwenden.

Besonderheiten können sich zusätzlich aus der Betriebsart als reiner ÖPNV-Tunnel des nicht schienengebundenen Verkehrs ergeben. Anforderungen, die sich aus diesem Blickwinkel ergeben, können aus den EAÖ 2003<sup>4</sup> abgeleitet werden.

Für die Einschätzung der baulichen Machbarkeit bzw. der Risiken wird die Empfehlung zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen<sup>5</sup>, Ausgabe 1997, des deutschen Ausschusses für unterirdisches Bauen herangezogen.

### **4 Abweichungen von den normativen Forderungen**

#### **4.1 Querschnittsausbildung**

Gemäß RABT 2006 ergibt sich der Verkehrsraum (Breite der befahrbaren Fläche zwischen den Hochborden) aus den Grundmaßen des Bemessungsfahrzeugs, den Bewegungsspielräumen und den Randstreifen bzw. Entwässerungsrinnen. Ohne mögliche Abminderung ermittelt sich die Fahrbahnbreite zu 4,05 m (2 Randstreifen à 0,50 m, 2 Bewegungsspielräume

---

<sup>2</sup> FGSV: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT, Ausgabe 2006), Köln

<sup>3</sup> FGSV: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RAST 06, Ausgabe 2009), Köln

<sup>4</sup> FGSV: Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ, Ausgabe 2003), Köln

<sup>5</sup> DAUB: Empfehlung zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen, Ausgabe 1997

à 0,25 m, Grundbreite von 2,55 m). Mit zulässigen Abminderungen von 0,25 m für den Randstreifen und von 0,05 m für den Bewegungsspielraum ergibt sich eine Breite zwischen den Hochborden von 3,45 m. Die RAST 06 empfiehlt als Mindestmaß für die Fahrbahnbreite einer einstreifigen Richtungsfahrbahn 3,50 m. Dieses Maß wird auch in der EAÖ als Mindestmaß für einen Einrichtungsbetrieb eines Busses gefordert.

Wir halten daher die in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagene Fahrbahnbreite von 3,10 m auch verbunden gekrümmten Trassierung im Lage- und Höhenplan für einen nicht spurgeführten Bus als nicht ausreichend (Bild 2).

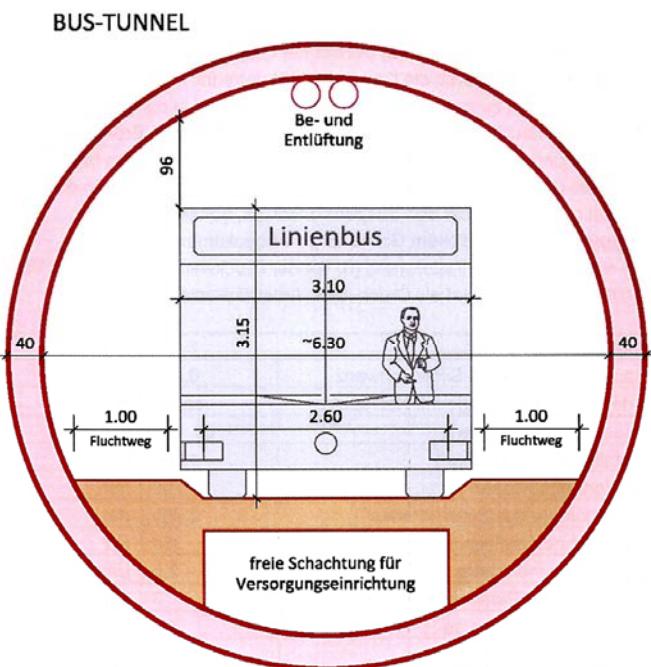


Bild 2: Querschnitt des geplanten Bustunnels (Quelle: Machbarkeitsstudie)

Die vorgesehenen Gehwege von 1,0 m Breite sind grundsätzlich RABT-konform, jedoch erfüllt diese Breite nicht die Anforderungen der Barrierefreiheit, so dass auch in der Überarbeitung der RABT vor Notausgängen und Notrufstationen eine Bewegungsfläche von mindestens 1,5 m x 1,5 m entsprechend den Ergebnissen des Forschungsberichtes Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln<sup>6</sup> vorgesehen wird. Diese Bewegungsfläche wird auch beim Verlassen eines Busses erforderlich. Da ein Bus an jeder Stelle des Tunnels mit einer Panne oder einem Brand liegen bleiben kann, muss der Notgehweg auf der gesamten Tunnellänge eine Breite von 1,50 m auf-

<sup>6</sup> STUVA, Institut für barrierefreie Gestaltung und Mobilität GmbH: FE 03.0405/2005/FRB Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln, Bergisch Gladbach 2008

weisen. Er ist beidseitig erforderlich, da der Tunnel in beiden Fahrtrichtungen genutzt werden soll und Linienbusse standardmäßig die Ausstiege auf der rechten Fahrzeugseite haben. Damit ergibt sich eine lichte Breite in Höhe der Fahrbahnebene von 6,50 m ohne Berücksichtigung einer eventuellen Mehrbreite infolge einer Fahrstreifenverbreiterung in einer Kurve. Unter den weiteren Ansätzen aus der Machbarkeitsstudie resultiert damit ein Ausbruchsdurchmesser von etwa 8,50 m.

## 4.2 Trassierung im Höhenplan

Der Höhenplan sieht Längsneigungen von 7% bzw. 10 % (Bild 3)

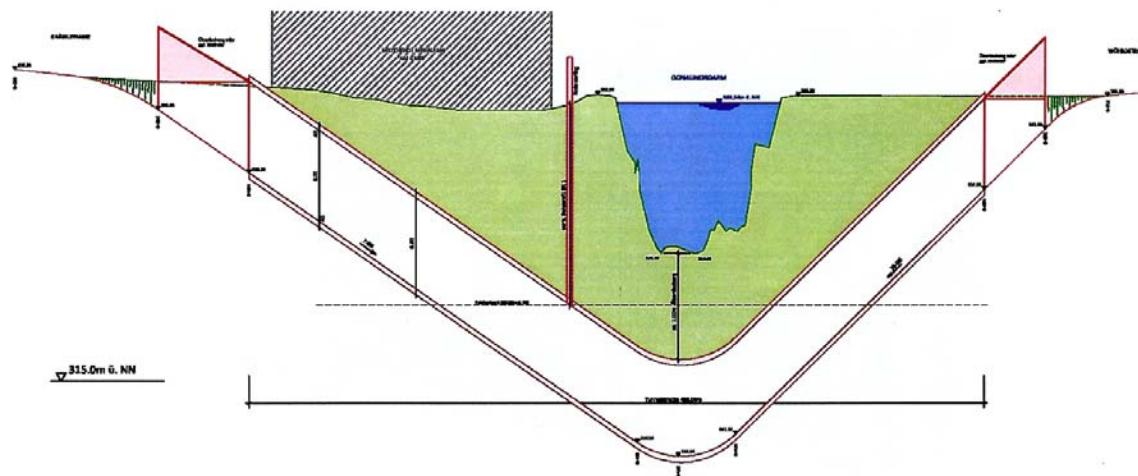


Bild 3: Höhenplan des geplanten Bustunnels (Quelle: Machbarkeitsstudie)

Die RAST 06 begrenzt die Längsneigung auf 8 %, wobei in Ausnahmefällen bis zu 12 % angewendet werden dürfen. Diese Werte gelten jedoch nicht unbedingt für Tunnel. Hier sind die Vorgaben der RABT zu berücksichtigen. Diese begrenzt die Längsneigung auf 3 %. Bei größeren Neigungen sind zusätzliche und /oder verstärkte Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit zu treffen. Wegen der sehr starken Beeinflussung der Rauchausbreitung (erhebliche Reduzierung der Sicherheit) sind Neigungen über 5 % zu vermeiden. Für die barrierefreie Ausführung wird in dem oben angeführten Forschungsbericht (vgl. Fußnote 6) eine zulässige Längsneigung von 4 % postuliert.

Die hier vorgesehenen Längsneigungen überschreiten die Grenzwerte erheblich und führen damit ohne Gegenmaßnahmen zu einer wesentlichen Reduzierung der Sicherheit für die Tunnelnutzer, die Fahrgäste des ÖPNV. Es sind hier also weitere Überlegungen anzustellen, durch welche Maßnahmen die zusätzlichen Risiken minimiert werden können. Als grundsätzliche Maßnahmen käme z.B. eine Verdichtung der Notausgänge in Kombination mit einer wirksamen Lüftungsanlage in Frage. Die Frage der Barrierefreiheit wäre damit jedoch noch nicht gelöst.

## 5 Risikoeinschätzung hinsichtlich Tunnelbetrieb

### 5.1 Gefahrenanalyse

In der folgenden Gefährdungsmatrix (Tabelle 1) werden mögliche Gefährdungen zusammengestellt. Dabei wird zwischen passiven und aktiven Gefährdungen unterschieden. Den

Art der Gefährdung		Hauptszenario	Relevanz
Gefährdung (Verkehr)	passive	Ereignisse im Tunnel	Panne
			Kollision (ohne Brand)
			Brand
			Hindernis (Fußgänger/Radfahrer/Tiere etc.)
	(Technik/Infrastruktur)	Ereignisse im Tunnel	Ausfall Lüftung Ausfall Beleuchtung Ausfall Sicherheitseinrichtung Ausfall der Hauptenergieversorgung
		Ereignisse außerhalb des Tunnels	Stau im Knotenpunkt mit Rückstau in Tunnel Flugzeugabsturz
		(Verkehr)	Schiffshavarie
		Ereignisse außerhalb des Tunnels	Starkniederschlag (Regen, Schnee, Hagel) Luftfeuchtigkeit im Tunnel
	(Naturgefahren)	(Naturgefahren)	Hochwasser Sturm Blitzschlag Erdbeben sonst. Naturgefahren
		Organisation / Betrieb / Wartung	Arbeitsunfall kein Regelbetrieb des Tunnels Ausführungsfehler Bedien- und Kommunikationsfehler Verfügbarkeit Ereignisdienste Mangelhafte Erhaltung und Betrieb
		aktive	Sachbeschädigung /
		Gefährdung	Gewalt
			Brandstiftung Sabotage Terroranschlag Vandalismus
	Delikte gegen Personen		Selbstschädigung/Suizid Angriff auf Verkehrsteilnehmer
		Politische Risiken	Arbeitskampf Personal
			Blockade Tunnel

#### Legende

 keine relevante Gefährdung → keine weitere Betrachtung

 relevante Gefährdung → weitere Betrachtung

Tabelle 1: Gefährdungsmatrix

Gefährdungen sind Hauptszenarien und deren Einstufung Ihrer Relevanz bezüglich einer erforderlichen Berücksichtigung zugeordnet. Im Folgenden sind Erläuterungen aufgeführt, die zu einem qualifizierten Ausschluss einzelner Hauptszenarien führen.

#### Erläuterungen zur Gefährdungsmatrix

##### a) Ausfall Betriebstechnik:

Die Auslegung der betriebstechnischen Einrichtungen (Lüftung, Beleuchtung, Sicherheitsausstattung, Hauptenergieversorgung etc.) erfolgt so, dass ein hohes Maß an Redundanz und automatischer Überwachung gewährleistet ist. Darüber hinaus wird die Funktion der sicherheitsrelevanten Ausstattungen über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV-Anlage) sichergestellt. Die Funktionsfähigkeit der gesamten Betriebstechnik wird durch regelmäßige Wartungen (z. T. Wartungsverträge) erhalten. In den meisten Fällen führt ein dennoch möglicher Ausfall zu keiner direkten Gefährdung, da die meisten Sicherheitseinrichtungen für einen Ereignisfall vorgesehen sind<sup>7</sup>. Ein Ausfall kann so nur in speziellen Szenarien zu einem erhöhten Ausmaß führen (z. B. Ausfall der Brandlüftung im Brandfall) und ist in den jeweiligen Szenarien zu berücksichtigen. Der gleichzeitige Ausfall der Hauptstromversorgung und der USV-Anlage ist äußerst unwahrscheinlich.

Hinsichtlich der technischen Ausstattung und einem möglichen Ausfall der wesentlichen Teile liegt für den Tunnel keine besondere Charakteristik vor, eine gesonderte Betrachtung des Ausfalls von Betriebseinrichtungen ist damit nicht erforderlich.

##### b) Flugzeugabsturz:

Die Wahrscheinlichkeit ist wegen der Entfernung zum nächsten Flughafen äußerst gering. Eine weitere Betrachtung ist daher nicht erforderlich.

##### c) Schiffshavarie:

Schiffshavarien auf dem Donau-Nordarm führen nicht zu einer Beeinträchtigung des Tunnelbetriebs. Es wird davon ausgegangen, dass der Tunnel gegen Wracklasten ausreichend bemessen ist. Große Rauchentwicklungen durch Schiffsbrände können u. U. zu Verkehrsstörungen auf den direkten Streckenabschnitten außerhalb des Tunnels infolge Sichtbehinderung führen, so dass eine Ausfahrt des Busses aus der Tunnelstrecke nicht möglich ist. Dies entspricht dem Szenario „Stau im Knotenpunkt mit Rückstau in Tunnel“ und wird dort betrachtet.

---

<sup>7</sup> Abweichend dazu ist z. B. die Tunnelbeleuchtung mit Adoptions- und Durchfahrtsbeleuchtung zu sehen deren Ausfall direkt den Busverkehr behindert, jedoch unmittelbar daraus keine Schäden resultieren.

d) Starkniederschlag (Regen, Schnee, Hagel):

Eine Überflutung der Tunnelfahrbahn ist sehr selten. Die Tunnelvorfelder werden gesondert vor dem Tunnel entwässert, so dass ein Auffangbecken im Tunneltiefpunkt nicht durch Niederschlagswasser aus den Außenbereichen belastet wird. Neben der Überflutungsgefährdung kann infolge starker Niederschläge und Hagel der aus dem Tunnel fahrende Bus behindert werden. Dies kann zu Unfällen außerhalb des Tunnels führen. Der Tunnelverkehr wird kaum beeinflusst. Eine weitere Betrachtung ist daher nicht erforderlich.

e) Luftfeuchtigkeit im Tunnel:

Unter besonderen Witterungsbedingungen kann es beim Einfahren in den Tunnel zu einem Beschlagen der Frontscheibe kommen. Darüber hinaus sind grundsätzlich ungünstige Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen möglich, die zu einer Nebelbildung innerhalb des Tunnels führen können, die in der weiteren Folge ein Auslösen der Sichtprüfungsmessung bewirken. Den beschriebenen Witterungsbedingungen kann teilweise durch eine gezielte Lüftungssteuerung begegnet werden. Hinsichtlich des Risikos können die Sichtbehinderungen zu Kollisionen von zwei Bussen führen. Sie werden in dem entsprechenden Szenario berücksichtigt.

f) Hochwasser:

Hochwassereignisse treten in Regensburg insbesondere im Frühjahr bei der Schneeschmelze und bei Starkniederschlagsereignissen auf. Diese können u. a. zu Überschwemmungen in den ufernahen Bereichen führen. Es wird davon ausgegangen, dass die Donau-Nordarm-Unterquerung sowie die Ausgänge der Fluchttreppenhäuser überflutungssicher geplant werden bzw. Maßnahmen getroffen werden, durch die eine Überflutung der Bauwerke verhindert werden kann. Eine vorliegende aus den Hochwassergefahren resultierende besondere Charakteristik kann durch entsprechende Maßnahmen hinreichend berücksichtigt werden.

g) Sturm:

Starke Winde und Sturm sind im Bereich der Donau-Nordarm-Unterquerung vergleichsweise seltene Ereignisse. Eine Gefährdung ist dabei auf den Bereich außerhalb des Tunnels und ggf. durch Hindernisse in den Portal- bzw. Rampenbereichen beschränkt. Dies kann zu Stauungen außerhalb des Tunnels führen, so dass die Ausfahrt eines Busses behindert wird. Dieses Szenario ist über die Betrachtung von Stau im Knotenpunkt mit Rückstau im Tunnel bereits berücksichtigt.

h) Blitzschlag:

Durch Blitzschlag besteht im Wesentlichen eine Gefährdung für die technische Ausstattung, die durch Überspannungen Schaden nehmen kann. Entsprechende Vorkehrungen (Blitzableiter, Potenzialausgleich) sind für den Tunnel vorzusehen. Sollte dennoch ein Teil der Betriebsausstattung infolge Blitzschlag ausfallen, so ist dies in den entsprechenden speziellen Szenarien zu berücksichtigen (s. auch Anmerkung a) zum Ausfall der Betriebstechnik).

i) Erdbeben:

Der Tunnel liegt gem. DIN 4149 und der zugehörigen „Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Bayern“ in keiner Erdbebenzone. Damit ergibt sich eine äußerst geringe Wahrscheinlichkeit von Auswirkungen eines relevanten Erdbebens, eine Berücksichtigung ist nicht erforderlich.

j) sonst. Naturgefahren:

Durch die innerstädtische Lage des Tunnels am Flussufer und die vorhandene Geologie haben gravitative Naturgefahren (z. B. Rutschungen, Setzungen durch unterirdische Hohlräume etc.) eine äußerst geringe Wahrscheinlichkeit. Die Trogbauwerke werden nach den Regeln der Technik ausgeführt. Im Bereich des Tunnels sind darüber hinaus hydraulischen Naturgefahren (z. B. Unterspülungen, etc.) nicht zu erwarten.

k) Arbeitsunfälle:

Zur Vermeidung von Arbeitsunfällen sind die allgemeinen Sicherheitsvorschriften und Unfallverhütungsvorschriften anzuwenden. Aus Arbeitsunfällen können mögliche Folgeereignisse resultieren, die im Szenario Brand berücksichtigt werden.

l) Ausführungsfehler:

Mängel zeigen sich durch Risse, Undichtigkeiten etc. an. Regelmäßige Bauwerkskontrollen decken entsprechende Warnhinweise auf. Die Konstruktion wird nach dem anerkannten Stand der Technik und dem Regelwerk (z. B. ZTV-ING) ausgeführt, ein schlagartiges Versagen ist damit auszuschließen.

m) Bedien- und Kommunikationsfehler:

Bedienfehler können z. B. ein fehlerhafter manueller Eingriff auf der Handbedienebene der Tunnelsteuerung oder eine fehlerhafte Schaltung von Betriebszuständen bei Arbeitsstellen sein. Kommunikationsfehler können zwischen dem Buspersonal und dem Tunnelpersonal bzw. zwischen den verschiedenen Diensten auftreten. Diese Fehler können ebenso zu Bedienfehlern führen. Hinsichtlich der aufgeführten Fehler liegt für den Tunnel keine besondere

Charakteristik im Vergleich zu anderen Tunneln vor. Die Meldewege und Bedienung des Tunnels sind in den entsprechenden Dokumenten zum Betrieb des Tunnels festzulegen (Sicherheitsdokumentation mit Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, Handbücher, etc.) und in regelmäßigen Übungen zu proben. Eine gesonderte Betrachtung ist daher hier nicht erforderlich.

n) Verfügbarkeit der Einsatzdienste:

Mögliche Einschränkungen der Verfügbarkeit können Verkehrsbehinderungen oder eine kurzzeitige Verhinderung von Feuerwehrkräften sein. Die Anfahrt der Einsatzdienste wird zur Tunneleröffnung detailliert in den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sowie in den Feuerwehrplänen beschrieben. Dort sind ebenfalls Möglichkeiten bei Verkehrsbehinderungen auf der Hauptzufahrt zu beschreiben. Die Gleichzeitigkeit einer eingeschränkten Verfügbarkeit und eines Schadenereignisses ist als selten einzustufen.

o) Mangelhafte Erhaltung und Betrieb:

Das Tunnelbauwerk ist in regelmäßigen Abständen auf Schäden zu überprüfen, so dass Sanierungsmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können. Die Betriebstechnik unterliegt zum einen einer automatischen Prüfung aller Objektgruppen durch die zentrale Leittechnik, zum anderen werden die Bauteile regelmäßig durch das Betriebspersonal bzw. über Fachfirmen (Wartungsverträge) gewartet. Eine besondere Charakteristik liegt hinsichtlich der Wartung nicht vor.

p) Sachbeschädigung:

Sachbeschädigungen können Brandstiftung, Sabotage oder Vandalismus und Diebstahl beinhalten. Der Tunnel ist mit Videokameras innerhalb und außerhalb in den Tunnelvorfeldern überwacht, die in einer ständig besetzten Zentrale aufgeschaltet werden. Notrufnsischen und Notausgänge sind darüber hinaus elektronisch überwacht, so dass ein Öffnen zu einer Störungsmeldung mit Aufschalten der entsprechenden Videokamera führt. Wegen des hohen Grades der Überwachung wird die Gefährdung aus Sachbeschädigung als sehr gering beurteilt. Dies gilt zumindest für die Betriebszeit des ÖPNV.

q) Terroranschlag:

Die Gefahr, dass die Donau-Nordarm-Tunnelquerung ein potenzielles Ziel für Terroranschläge ist, wird als äußerst gering eingeschätzt. Darüber hinaus sind die Möglichkeiten technischer Maßnahmen oder des Betriebs zur Verhinderung von Terroranschlägen sehr beschränkt. Die technische Ausstattung im Tunnel zur Überwachung wird ein sehr hohes

Niveau haben, so dass unbefugte Personen detektiert werden können. Eine weitere Berücksichtigung einer Terrorgefährdung erfolgt daher nicht.

r) Selbstschädigung/Suizid:

Ereignisse in Tunneln, die in suizidaler Absicht herbeigeführt werden, ereignen sich relativ selten. Dabei handelt es sich im Regelfall um Unfälle, bei denen der Fahrer sein Fahrzeug bewusst gegen einen festen Einbau des Tunnels lenkt. Da als Nutzer des Tunnels ausschließlich das Buspersonal der Regensburger Verkehrsbetriebe in Frage kommen, wird das Risiko einer Selbstschädigung als äußerst gering angesehen, so dass keine weitere Betrachtung erfolgt.

s) Arbeitskampf Tunnelpersonal:

Die Wahrscheinlichkeit, dass infolge eines Arbeitskampfes des Tunnelpersonals oder des Buspersonals eine Gefährdung der Passagiere bzw. des Tunnelbauwerks besteht, ist annähernd auszuschließen, da sicherheitsrelevante Schaltungen weitgehend automatisch ablaufen.

t) Blockade:

Eine politisch motivierte Blockade kann grundsätzlich den Tunnel selbst bzw. die Innenstadt im Umfeld des Tunnels betreffen. Hierbei wird z. B. vom Personal (s. Anmerkungen zu s)), oder Demonstranten eine Durchfahrt zur Durchsetzung von Interessen verhindert. Solche Aktionen sind zum einen äußerst selten in Deutschland und führen in Ihrer Wirkung zum Szenario Stau im Knotenpunkt mit Rückstau im Tunnel.

Aus der Gefährdungsmatrix ergeben sich insgesamt 6 Szenarien, die aufgrund einer ersten Einstufung zu einer relevanten Gefährdung führen können. Im Einzelnen sind dies für Ereignisse im Tunnel die Szenarien

- Brand
- Panne
- Kollision
- Hindernis,

für Ereignisse außerhalb des Tunnels das Szenario

- Stau im Knotenpunkt mit Rückstau in den Tunnel

und für Ereignisse im Bereich Betrieb, Organisation und Wartung das Szenario

- Kein Regelbetrieb des Tunnels

## 5.2 Relevante Gefährdungen

### 5.2.1 Ereignisse im Tunnel

#### Szenario Brand

Brände in Straßentunneln sind grundsätzlich seltene Ereignisse. Sie entstehen in den meisten Fällen infolge von Selbstentzündung im Motorbereich oder an den Bremsanlagen und als Folge von Kollisionen. Der zweite Punkt kann hier außer Betracht gelassen werden, da der Tunnel nur durch den ÖPNV im wechselseitigen Richtungsverkehr betrieben werden soll und der Individualverkehr ausgeschlossen ist. Durch die Überwachung und Steuerung des Linienbusverkehrs (Videokontrolle, Einzelfreigabe der Durchfahrt etc.) kann eine Kollision, bei der als Folge ein Brand entsteht, ausgeschlossen werden. Von daher sind als Ursache eines Brandes nur die Selbstentzündungen maßgebend, die sich auch bei Linienbussen einstellen, wie nachfolgende Bilder zeigen. In der Regel brennt das Heck des Fahrzeugs laut einer DEKRA-Studie<sup>8</sup>, in der Brände von Reisebussen untersucht worden sind



Bild 4: Zwei Beispiele für Linienbusbrände in 2009

Aus den wenigen zugänglichen Berichten über Linienbusbrände ist es schwierig eine Brandrate zu ermitteln. Als grobe Schätzung kann man eine Brandrate ableiten, die etwa bei  $1,2 \cdot 10^{-8}$  liegt. Das heißt, dass 1 Linienbusbrand alle 83 Mio-Fahrzeugkilometer erwartet wird.

Bei einem Brand breiten sich die Rauchgase sehr schnell infolge thermischen Auftriebs aus. Man muss hier zwei Brandorte unterscheiden, zum einen einen Brandort im fallenden Abschnitt und zum anderen im steigenden Abschnitt der Röhre. Bleibt der Bus mit einem Brand im Fahrzeugheck im fallenden Abschnitt der Röhre liegen, so wird sich der Rauch in Richtung des Einfahrtspalts vom Fahrzeug weg bewegen. Diese Situation ist für die Selbstrettung positiv zu sehen, da die Fahrgäste relativ lange Zeit haben, den Bus zu verlassen und einen

---

<sup>8</sup> DEKRA: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen, BAST, Bergisch Gladbach, 2005

Notausgang aufzusuchen. Ein nachfolgender Bus wäre jedoch stark gefährdet. Er würde direkt in den Rauch hineinfahren.

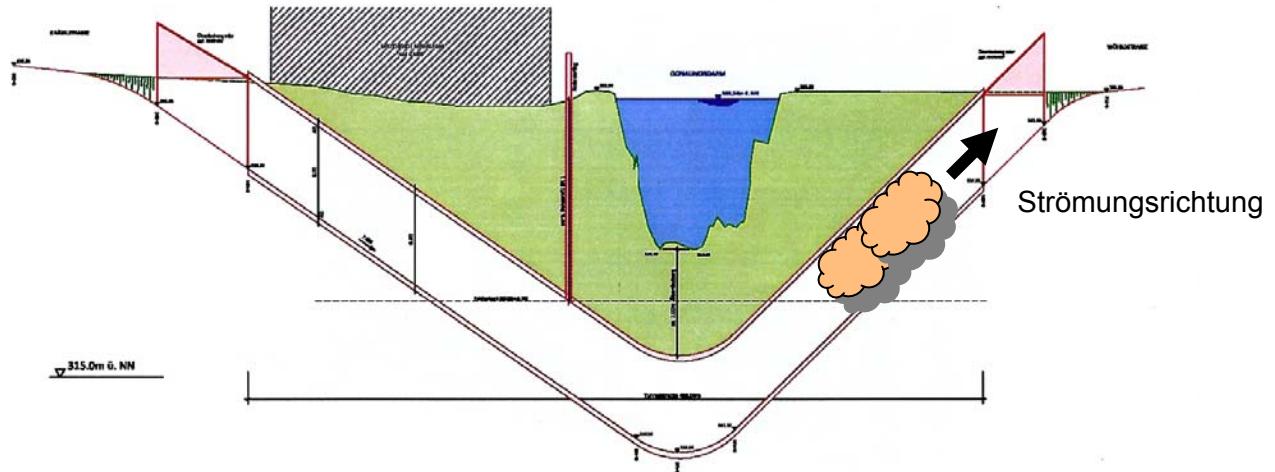


Bild 5: Schema Rauchausbreitung in der Röhre

Bleibt der Bus im steigenden Abschnitt mit einem Brand im Heckbereich liegen, so wird das Fahrzeug durch die Rauchgase überströmt. Die Zeit zur Selbstrettung ist sehr kurz. Der kleine Querschnitt begünstigt die schnelle Rauchausbreitung. Längere Wege zu einem Notausgang können durch die Fahrgäste nicht mehr zurückgelegt werden. Alle Fahrgäste, jedoch insbesondere ältere Personen und mobilitätseingeschränkte Personen sind stark gefährdet. Ein nachfolgender Bus wäre in relativer Sicherheit, da der Rauch sich in Fahrtrichtung ausbreitet.

Bild 6 verdeutlicht die schnelle Rauchausbreitung am Beispiel des Nebentunnels des Richard-Strauss-Tunnels in München<sup>9</sup>, der eine Neigung von 8 % aufweist. In dem Diagramm kann man ablesen, dass innerhalb von 60 s etwa 200 m Tunnel verrauchen. Setzt man nun eine Fluchtgeschwindigkeit der fliehenden Personen von 1,3 m/s<sup>10</sup> an, so könnte in der gleichen Zeit nur eine Distanz von 78 m zurückgelegt werden. Eine Selbstrettung ist nur möglich, wenn die Flucht direkt bei den ersten Brandanzeichen beginnt, bei der der Rauch den Gesamtquerschnitt noch nicht erfasst hat, und die Entfernung zu sicheren Bereichen (Notausgänge) kurz ist. Diese Zeitphase wird umso kleiner, je kleiner der Tunnelquerschnitt ist. Für den hier vorgeschlagenen Bustunnel werden die Selbstrettungsmöglichkeiten als sehr

<sup>9</sup> BUNG, PTV: Quantitative Risikoanalyse Richard-Strauss-Tunnel München, Stadt München, Juni 2009

<sup>10</sup> BUNG, BASLER,PTV: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln, BAST, Bergisch Gladbach, 2007

gering eingeschätzt, vor allem, da etwa 25 % Nutzer von Linienbussen älter als 65 Jahre<sup>11</sup> sind.

Auch die Fremdrettung wird nur eingeschränkt erfolgen können. Einsatzkräfte werden sich vor allem wegen der hohen Temperaturentwicklung in der Tunnelröhre nur schwer über die Röhre der Brandstelle nähern können. Weitere Zugriffsmöglichkeiten sind derzeit nur über einen Notausgang gegeben.

Das erhebliche Risiko, bei einem Brand in dem geplanten Bustunnel ums Leben zu kommen, könnte durch weiterführende Maßnahmen reduziert werden. Als Maßnahmen könnten z.B. wesentlich kürzere Notausgangsabstände, effiziente Brandentlüftungen, schnelle Branddetektion, geringere Längsneigung und ein größerer Querschnitt in Betracht gezogen werden.

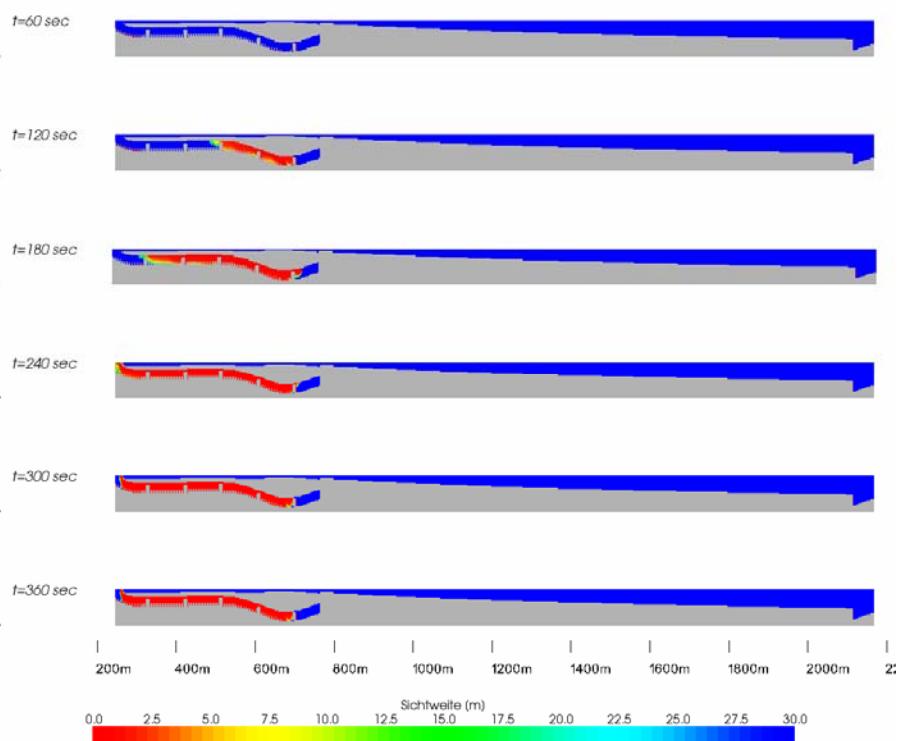


Bild 6: Rauchausbreitung in der Nebenröhre (Ausfahrt) des Richard-Strauss-Tunnels in München; Steigung 8%

Des Weiteren kann aus den Beschreibungen zur Rauchausbreitung abgeleitet werden, dass der Tunnel möglichst immer nur von einem Bus genutzt wird. Die Freigabe der Durchfahrt für den nächsten Bus sollte erst erfolgen, wenn das vorausfahrende Fahrzeug den Tunnel verlassen hat. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Kapazität in der Spitzenstunde ausrei-

<sup>11</sup> DESTATIS: Unfälle von Kraftomnibussen im Straßenverkehr, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

chend ist. Sollte eine höhere Leistungsfähigkeit unabdingbar notwendig sein, können auch zwei Busse in einer Richtung gleichzeitig den Tunnel befahren. Hier muss jedoch sichergestellt werden, dass sich jeweils nur ein Fahrzeug im fallenden oder steigenden Abschnitt der Tunnelröhre befindet.

### **Szenario Panne**

Reifenpannen oder technische Defekte an der Elektrik können zum Liegenbleiben eines Linienbusses in der Tunnelröhre führen. Im Fall einer Panne sind Sach- oder Personenschäden nicht zu erwarten. Auch ist das Gesamtgefährdungspotenzial begrenzt, da sich entsprechend der Vorgaben aus dem Szenario Brand nur ein Bus bzw. maximal zwei Busse im Tunnel aufhalten sollen. Das Pannenfahrzeug blockiert die Durchfahrt des Tunnels bis zu seiner Bergung. Die Fahrgäste müssen evakuiert werden. Der Linienverkehr, der über diese Strecke geführt wird, wird wegen der einstreifigen Ausbildung des Tunnels erheblich gestört.

Da die Wahl der Trassierung nur einen unwesentlichen Einfluss auf eine Panne hat und keine Personenschäden zu erwarten werden, ist aus diesem Szenario keine Änderung des Trassierungsabzuleiten. Die Problematik der Gehwegbreite ist bereits in Kapitel 4.1 angesprochen worden. Eine mögliche Umleitungsstrecke für den Linienverkehr sollte aber grundsätzlich vorgehalten werden.

### **Szenario Kollision**

Wird die in dem Szenario Brand postulierte Forderung, nur einem Bus die Durchfahrt zu gestatten bzw. maximal zwei Bussen mit großem Abstand (pro steigendem und fallendem Tunnelabschnitt ein Bus), kann eine Kollision von zwei Bussen ausgeschlossen werden.

Bei technischem Versagen des Busses oder bei einem medizinisch bedingten Ausfall des Fahrers ist ein sogenannter Selbstunfall möglich. Der Bus kann mit der Tunnelwand kollidieren. Als Folge sind Sachschäden und insbesondere Personenschäden unter den Fahrgästen zu erwarten, die eine schnelle Fremdrettung erforderlich machen. Die Trassierung hat aber bei Geschwindigkeiten  $\leq 50$  km/h nur einen unwesentlichen Einfluss auf das Ausmaß bei einem Selbstunfall. Ein breiterer Querschnitt, wie er sich aus Kapitel 4.1 ableitet, würde aber die Beweglichkeit der Einsatzkräfte fördern.

### **Szenario Hindernis**

Fremdnutzungen durch Personen mit und ohne Zweiräder sowie durch Tiere können zumindest während der Betriebszeit des Tunnels nicht ausgeschlossen werden. Sie gefährden den regulären Busverkehr, da sie sich zum eine langsamer als der Bus bewegen und zum

anderen auch entgegen kommen können. Hindernisse dieser Art führen zu plötzlichen Reaktionen des Busfahrers (Bremsmanöver, Ausweichmanöver), die wiederum zu Personenschäden bei den Fahrgästen führen können.

Die Trassierung hat nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Folgeschäden infolge von Fremdnutzungen. Unter der Voraussetzung einer Videoüberwachung des Tunnels und damit der Möglichkeit einer rechtzeitigen Information des Busfahrers bei Hindernissen kann eine Gefährdung der Fahrgäste ausgeschlossen werden. Konsequenzen für die Trassierung im Lage- und Höhenplan ergeben sich aus dem Szenario nicht.

### **5.2.2 Ereignisse außerhalb des Tunnels**

Sowohl im nördlichen Anschlussbereich des Tunnels (Gräßlstraße / Gerhardingerstraße) als auch im südlichen Anschlussbereich (Knotenpunkt Eiserne Brücke / Wöhrdstraße / Proskestraße) kann es zu Stauungen durch einen Unfall oder durch Ausfall der Signalanlage (derzeit nur im südlichen Anschlussbereich) kommen. Dies kann zur Folge haben, dass ein Bus nicht mehr aus dem Tunnel ausfahren kann und damit die Nutzbarkeit des Tunnels eingeschränkt ist.

Geht man davon aus, dass entsprechend der Steuerung sich grundsätzlich nur ein Bus im Tunnel befindet bzw. bei Erfordernis zwei Busse und die Freigabe für ein weiteres Fahrzeug nur erteilt wird, wenn das vorausfahrende Fahrzeug den Tunnel bzw. den Tunnelabschnitt verlassen hat, so können Personen- und Sachschäden im Tunnel als Folge des Szenarios **Stau im Knotenpunkt mit Rückstau in den Tunnel** ausgeschlossen werden. Ein Einfluss durch die Trassierung ist nicht gegeben.

### **5.2.3 Ereignisse im Bereich Betrieb / Organisation / Wartung**

Abweichend vom Regelbetrieb muss der Tunnel für Wartungsarbeiten gesperrt werden und der Linienverkehr, wenn die Arbeiten nicht in den nächtlichen Betriebspausen durchgeführt werden können, umgeleitet werden. Da die Wartungsarbeiten eine Vollsperrung erfordern, geht davon keine zusätzliche Gefährdung für die Nutzer des ÖPNV aus. Arbeitsunfälle bei den ausführenden Unternehmen können jedoch zu den gleichen Szenarien führen wie der Regelbetrieb für den ÖPNV. Demzufolge ergeben sich vergleichbare Risiken durch die gewählte Trassierung im Lage- und Höhenplan. Maßnahmen, die für den Regelbetrieb zur Risikoreduzierung umgesetzt werden müssen, bewirken auch eine Risikoreduzierung beim Szenario **kein Regelbetrieb des Tunnels**.

### **5.3 Fazit der Risikoeinschätzung hinsichtlich Tunnelbetrieb**

Aus den Kapiteln 5.1 und 5.2 geht hervor, dass das risikobestimmende Szenario der Brandfall im Tunnel ist. Dieses Szenario führt bei der gewählten Tunneltrassierung, Querschnittsausbildung sowie baulichen und technischen Sicherheitsvorkehrungen zu einem erheblichen Gefährdungspotenzial, so dass das Sicherheitsniveau gemäß RABT nicht erreicht wird und eine Barrierefreiheit nicht gegeben ist. Maßgebend für das verminderte Sicherheitsniveau sind die Längsneigung von 7 bzw. 10 % und der kleine Tunnelquerschnitt.

Es ist zu prüfen, durch welche technischen und/oder baulichen Zusatzmaßnahmen, die über den Standard der RABT hinausgehen, das Sicherheitsniveau auf den RABT-Standard angehoben werden kann oder ob durch eine Optimierung der Trassierung und des Querschnitts das Ziel erreicht werden kann.

## **6 Risikoeinschätzung für bauliche Aspekte**

### **6.1 Gewässerunterfahrung**

Die geologischen Verhältnisse lassen erwarten, dass der Tunnel auf annähernd der gesamten Strecke im Donaukies aufgefahren wird. Damit ist das in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagene Vortriebssystem mit einer flüssigkeitsgestützten Tunnelvortriebsmaschine eine geeignete Vortriebsanlage für die geschlossene Bauweise. Der sog. Hydroschild erlaubt einen Tunnelvortrieb, bei dem durch die Stützung der Ortsbrust z. B. durch Bentonit, in Verbindung mit in der Abbaukammer befindlichem Überdruck sowohl der Baugrund gestützt, Grundwasserzutritte vermieden sowie Setzungen minimiert werden.

Der Tunneltiefpunkt liegt unmittelbar unter dem Donau Nordarm (Bild 7). In der Machbarkeitsstudie wird die Sohltiefe der Donau mit + 323,4 üNN angegeben. Der geologische Längsschnitt, der für die Brückenlösung „Steinerne Brücke“ erstellt wurde, weist eine Flussbettsohle von ca. + 325,0 üNN auf. Gemäß Machbarkeitsstudie würde sich damit eine Überdeckung von 6 m zwischen Sohle Donau Nordarm und Firstpunkt des Tunnels ergeben. Die Überdeckung wäre damit ca.  $0,85 \times$  Tunneldurchmesser (D) und damit kleiner als  $1,0 \times D$ .

Wir empfehlen, eine exakte Aufnahme der Flusssohle und eine Mindestüberdeckung von einem Durchmesser unterhalb der Flussbettsohle, um die Auftriebssicherheit bei der Auffahrung des Tunnels unter Berücksichtigung des Höchstwasserspiegels, der mit + 333,4 üNN angegeben wurde, einzuhalten.



Bild 7: Donau-Nordarm (ungefährer Punkt der Unterquerung)

## 6.2 Unterfahrung der Bebauung

Erfahrungsgemäß erfordert ein Vortrieb mit einem Hydroschild für eine sichere Unterfahrung von Bebauungen eine Mindestüberdeckung von ca.  $0,5 \times D$  (ca. 3,5 m). In Bereichen, in denen diese Mindestüberdeckung nicht vorhanden ist, sind für den laufenden Vortrieb Zusatzmaßnahmen erforderlich

Es muss sichergestellt werden, dass der oberhalb der Tunnelfirste befindliche Boden eine ausreichende Auflast sowie Dichtigkeit gegen den im Hydroschild wirkenden mit Überdruck beaufschlagten Bentonit darstellt, um Verbrüche und ein schlagartiges Entweichen von Druckluft (Ausbläser) zu vermeiden. Werden Gebäude oder Verkehrswege mit geringer Überdeckung unterfahren, so sind Zusatzmaßnahmen z.B. in Form von Injektionen oder Vereisungen erforderlich. Der Baugrund wird in diesen Fällen verfestigt, so dass im Anschluss diese Abschnitte mit der Maschine unterfahren werden können.

Die vorliegende Gradientenlage (vgl. Bild 3) lässt erwarten, dass für einen Teilabschnitt der zu unterfahrenden Gebäude (Bild 8) zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden, zumal die Untergeschossebene der Bebauung noch nicht dargestellt ist. Unter Berücksichtigung dieser Zusatzmaßnahmen können in Verbindung mit einem Setzungsüberwachungssystem die in der Machbarkeitsstudie angesprochenen Setzungen von ca. 10 mm eingehalten werden.



Bild 8: Beispiel für die zu unterfahrende Bebauung „Am Gries“

Zur Verbesserung der Steuerung von Schildvortrieben und zur Vermeidung der vortriebsbedingten Setzungen unter sensibler Bebauung dient z. B. das von Hochtief entwickelte ATDS (Advanced Tunnel Drive System). Mit diesem System ist es möglich, auftretende Setzungen an der Geländeoberfläche und an Bauwerken sowie relevante Maschinendaten während des Vortriebs gleichzeitig in Echtzeit zu erfassen, zu visualisieren und zu dokumentieren.

Setzungen an der Geländeoberfläche können damit sofort durch Änderungen im Stütz- und Verpressdruck entgegengewirkt werden. Das System wurde und wird bereits bei verschiedenen Tunnelprojekten (Nord-Süd Stadtbahn Köln, Tunnel Jenbach H 8 im Unterinntal sowie U4 Hafencity Hamburg) eingesetzt.

Grundsätzlich werden bei der Unterfahrung von Gebäuden zur Minimierung der Setzungen die Vortriebsgeschwindigkeiten reduziert und Stützdruck und Verpressdruck in Abhängigkeit der zu erwartenden Setzungen erhöht.

Im Zuge der weiteren Planung sollten Berechnungen zur Ermittlung der bei einem planmäßigen Vortrieb zu erwartenden Setzungen sowie für im begrenzten Maße unplanmäßige Vortriebereignisse durchgeführt werden. Mit den so ermittelten Setzungsmulden in Tunnel-längs- und Querrichtung muss eine Beurteilung der Wechselwirkung zwischen den zu erwartenden Setzungen und den Auswirkungen auf die zu unterfahrenden Gebäude erfolgen. Für die zu unterfahrenden Gebäude ist gleichzeitig eine Prognose des Verhaltens des Tragsystems unter der Einwirkung der zu erwartenden Setzungen und Setzungsszenarien zu erarbeiten.

### **6.3 Auswirkungen auf bestehende Entwässerungsanlagen**

Analog zur Unterfahrung von Gebäuden sind die zu unterfahrenden Entwässerungsanlagen zunächst im Bestand zu erfassen. In Abhängigkeit der jeweiligen Überdeckungshöhe sind anschließend Setzungsberechnungen für den planmäßigen Vortrieb vorzunehmen und deren Verträglichkeit für die vorhandenen Bestandsleitungen zu überprüfen.

Da Entwässerungsanlagen sehr unterschiedlich ausgebildet sein können (gemauerte Kanäle, Betonleitungen) ist eine pauschale Aussage zur Verträglichkeit von Setzungen nicht möglich. Wir gehen jedoch davon aus, dass analog zu den Gebäudeunterfahrungen unter Zuhilfenahme von evtl. Zusatzmaßnahmen eine gefahrlose Querung der Entwässerungsleitungen möglich ist.

### **6.4 Fazit der Risikoeinschätzung für bauliche Aspekte**

Bei sachgerechter Durchführung eines Tunnelvortriebs mit Hilfe einer flüssigkeitsgestützten Ortsbrust und unter Einsatz von Zusatzmaßnahmen, wenn die vorhandene Überdeckung bei Unterfahrungen zur Begrenzung der Setzungen nicht ausreichend ist, kann der Tunnel so erstellt werden, dass Gefährdungen, die die Nutzbarkeit der Bauwerke oder die Standsicherheit gefährden, ausgeschlossen werden können.

## **7 Problempunkte bei der Umsetzung des Verkehrskonzeptes**

### **7.1 Auswirkungen des Betriebskonzeptes auf die Kapazität**

Da der Tunnel gemäß des vorliegenden Konzepts der Machbarkeitsstudie als einstreifiger Richtungsverkehrstunnel mit Wechselverkehr betrieben werden soll, ist die Kapazität des Tunnels beschränkt. Sie ergibt sich aus den Durchfahrzeiten eines Busses und den Zwischenzeiten beim Wechsel der Fahrtrichtung.

Da der Tunnel von mehreren Linien mit unterschiedlichen Bussen befahren werden soll und davon auszugehen ist, dass seitens der Regensburger Verkehrsbetriebe auf diesen Linien auch unterschiedlich motorisierte Busse zum Einsatz kommen, werden die erreichbaren Geschwindigkeiten im Tunnel aufgrund der Neigungsverhältnisse zwischen maximal 50 km/h und minimal 25 km/h (Schätzwerte) liegen.

Die minimale Kapazität ergibt sich mit dem Ansatz von 25 km/h für den gesamten Tunnel. Unter dem Ansatz der Tunnellänge von 480 m, einer Buslänge von 18 m für einen Gelenkbus und einer Zwischenzeit von 2 s ergibt sich bei einer Geschwindigkeit von 25 km/h ein Zeitbedarf für eine Fahrt von 74 s. Innerhalb einer Stunde könnten 48 Busse den Tunnel

passieren. Diese Anzahl ist höher als die Nachfrage in der Spitzenstunde<sup>12</sup>, die seitens des Regensburger Verkehrsverbundes mit 29 angegeben wird. Da der Fahrplan eine solche Taktung nicht vorsieht und nach Plan bis zu drei Busse zur gleichen Minute die Durchfahrt anfordern, ist eine solche Nutzung des Tunnels nur möglich, wenn vor dem Tunnelportal außerhalb der Knotenpunktsbereiche Aufstellflächen für maximal zwei Gelenkbusse vorhanden sind. Gemäß der durchgeführten Ortsbesichtigung gibt es im Bereich der nördlichen Tunnelausfahrt ausreichend Platz, um diese Forderung zu erfüllen (Bild 7)



Bild 7: Bereich Gräßlstraße / Gerhardingerstraße (nördlicher Ein- und Ausfahrtsbereich des ÖPNV-Tunnels)

Auf der südlichen Seite gestaltet sich die Anlage eines Aufstellbereiches zwischen dem Knotenpunkt (Eiserne Brücke / Wöhrdstraße / Proskestraße) und dem Tunnelportal schwieriger (Bild 8). Sie ist aber grundsätzlich im Rampenbereich, der in offener Bauweise erstellt wird möglich. Für eine Verbreiterung steht nach den Planunterlagen eine Entwicklungslänge von etwa 90 m zur Verfügung, die im Rahmen einer grundsätzlichen notwendigen Überplanung des Anschlusses der Eisernen Brücke (Einbindung des vollständigen Knotenpunktes) genutzt werden können.

---

<sup>12</sup> Regensburger Verkehrsverbund: Schreiben vom 14.09.09 zur Busfrequenz durch den Bustunnel



Bild 8: Knotenpunkt Eiserne Brücke / Wöhrdstraße / Proskestraße aus der Perspektive der Tunnelausfahrt

Sollte eine solche Aufstellfläche nicht für zwei Gelenkbusse ausgelegt werden können, kann eine gleichzeitige Nutzung durch zwei Busse in einer Richtung zugelassen werden, wenn ein Abstand der Busse untereinander von 300 m (Bedingung: nur ein Bus im fallenden und steigenden Tunnelabschnitt) eingehalten wird.

## 7.2 Zulässigkeit von Konvoifahrten

Aus den Darlegungen im Kapitel 5.2 unter dem Szenario Brand geht hervor, dass im fallenden Tunnelabschnitt eine besondere Gefährdung vorliegt, wenn Busse direkt hintereinanderfahren. Gerät der vorausfahrende Bus in Brand, wird der folgende Bus direkt von den Rauchgasen eingehüllt, der eine Selbstrettung nahezu unmöglich werden lässt. Zusätzlich besteht die Gefahr des Übersprungs des Brandes von einem zum anderen Fahrzeug. Wir halten daher eine Konvoifahrt für nicht zulässig.

## 7.3 Auswirkungen von Verspätungen auf das Tunnelumfeld

Linienbusse unterliegen dem normalen Verkehrsablauf. Störungen im städtischen Bereich, insbesondere in den Spitzenzeiten führen in der Regel zu Verschiebungen innerhalb des Fahrplans. Die Ankunftszeit vor der Tunneleinfahrt ist daher nicht genau kalkulierbar.

Wir gehen davon aus, dass mit der Aufstellmöglichkeit von zwei Gelenkbussen vor der jeweiligen Tunneleinfahrt eine Regulierung der Zeiten und damit Dosierung der Durchfahrten möglich ist und keine weiteren Auswirkungen auf das Umfeld zu erwarten sind.

## 7.4 Verhinderung von Fremdnutzungen

Bei jedem Tunnelbauwerk, dessen Nutzung nicht allgemein freigegeben ist und Einschränkungen vorhanden sind, tritt das Problem der Fremdnutzung auf. Die hauptsächliche Fremdnutzung erfolgt durch Fußgänger, Radfahrer und sonstige Zweiradfahrer, die den Notgehweg oder die Fahrbahn benutzen. Die Auswirkungen auf den ÖPNV ist im Kapitel 5.2.1 unter dem Szenario Hindernis beschrieben. Es ist davon auszugehen, dass Fremdnutzungen während der Betriebszeit des ÖPNV nicht ausgeschlossen werden können. Die Frequenz kann aber durch eine permanente Detektion dieser Nutzung, Ansprache des Nutzers und letztlich Strafverfolgung weitgehend eingeschränkt werden. Ebenso kann man durch die bauliche Gestaltung des Einfahrtsbereiches in den Tunnel die Attraktivität einer Fremdnutzung reduzieren. Hierzu zählen zum Beispiel eine längere Unterbrechung der Gehwegführung im Rampenbereich und eine deutlich erkennbare Überwachung.

Außerhalb der Betriebszeit des ÖPNV bietet es sich an, den Tunnel mit einem Rollgitter zu verschließen. Eine bei U-Bahn-Stationen geübte Praxis.

## 8 Zusammenfassung

Die vorliegende Konzeption eines einstreifigen Bustunnels unter dem Donau-Nordarm, die in der Machbarkeitsstudie vom Juni 2009 zusammengestellt ist, erfüllt unter Zugrundelegung der RABT ohne zusätzliche Maßnahmen und/oder Optimierungen der Planung nicht die Mindestanforderungen an die Sicherheit. Im Einzelnen sind Sicherheitsdefizite aufgrund der erheblichen Längsneigungen und der Querschnittsausbildung für das Szenario Brand festzustellen, die bisher nicht durch Zusatzmaßnahmen kompensiert sind. Des Weiteren werden sowohl durch die gewählte Längsneigung als auch die vorgesehene Breite des Notgehweges die Anforderungen an die Barrierefreiheit nicht erfüllt. Die grundsätzliche Baubarkeit mit dem vorgeschlagenen Verfahren ist gegeben und die verkehrlichen Aspekte können durch gezielte Anpassungen erfüllt werden.

Aufgestellt:

Heidelberg, Februar 2010



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baltzer

## Literaturverzeichnis

STUVA, Herrenknecht, Ways&Freytag, derori:  
Machbarkeitsstudie für eine künftige Donau-Nordarm-Tunnel-Querung für den ÖPNV  
in Regensburg, Juni 2009

FGSV:  
Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln  
(RABT, Ausgabe 2006), Köln

FGSV:  
Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RAST 06, Ausgabe 2009), Köln

FGSV:  
Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs  
(EAÖ, Ausgabe 2003), Köln

DAUB: Empfehlung zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen,  
Ausgabe 1997

STUVA, Institut für barrierefreie Gestaltung und Mobilität GmbH:  
FE 03.0405/2005/FRB Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung  
und Betrieb von Straßentunneln, Bergisch Gladbach 2008

DEKRA:  
Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen, BAST, Bergisch Gladbach 2005

BUNG, PTV:  
Quantitative Risikoanalyse Richard-Strauss-Tunnel München, Stadt München Juni 2009

BUNG, BASLER, PTV:  
Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln, BAST, Bergisch Gladbach 2007

DESTATIS:  
Unfälle von Kraftomnibussen im Straßenverkehr, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

Regensburger Verkehrsverbund:  
Schreiben vom 14.09.09 zur Busfrequenz durch den Bustunnel