

Stadt Regensburg

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

Stufe 2 - Risikobeurteilung und Kostenprüfung



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

Stufe 2 - Risikobeurteilung und Kostenprüfung

**Gutachten
im Auftrag der
Stadt Regensburg
Tiefbauamt**

Bericht April 2010

Bearbeiter:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baltzer
Dipl.-Ing. Werner Riepe
Dipl.-Ing. Uwe Zimmermann
Dipl.-Ing. (FH) Vanessa Hoppert

BUNG Ingenieure AG
Englerstraße 4
69126 Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Aufgabenstellung	5
3	Beurteilungsgrundlagen	6
4	Risikobeurteilung der Tunnelsicherheit	6
4.2	Methodik	9
4.3	Eingangsdaten	10
4.3.1	Allgemeine Daten	10
4.3.2	Kollision	12
4.3.3	Brand	13
4.4	Ergebnisse	18
4.4.1	Schadenindikator Todesopfer durch Kollision	18
4.4.2	Schadenindikator Todesopfer durch Brand	19
4.4.3	Schadenindikator Todesopfer - gesamt	20
5	Investitions- und Betriebskostenüberprüfung	21
5.1	Überprüfung der Investitionskosten der Machbarkeitsstudie	21
5.1.1	Kostenschätzung der Machbarkeitsstudie	21
5.1.2	Überprüfte Kostenschätzung der Variante Machbarkeitsstudie	22
5.2	Investitionskosten für einen RABT-konformen Tunnel	25
5.3	Investitionskosten für einen Tunnel in offener Bauweise	26
5.4	Investitions- und Betriebskosten der technischen Ausstattung	27
5.4.1	Investitionskosten technische Ausstattung	27
5.4.2	Betriebskosten Technische Ausstattung	30
5.5	Gesamtkostenvergleich	30
6	Zusammenfassung	31
Anhang		

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.

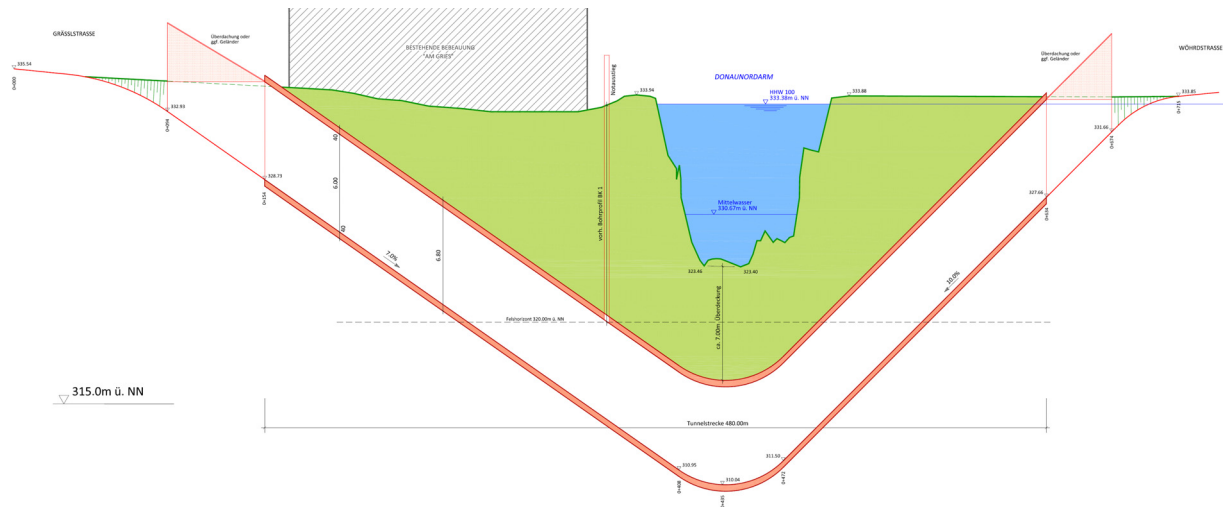
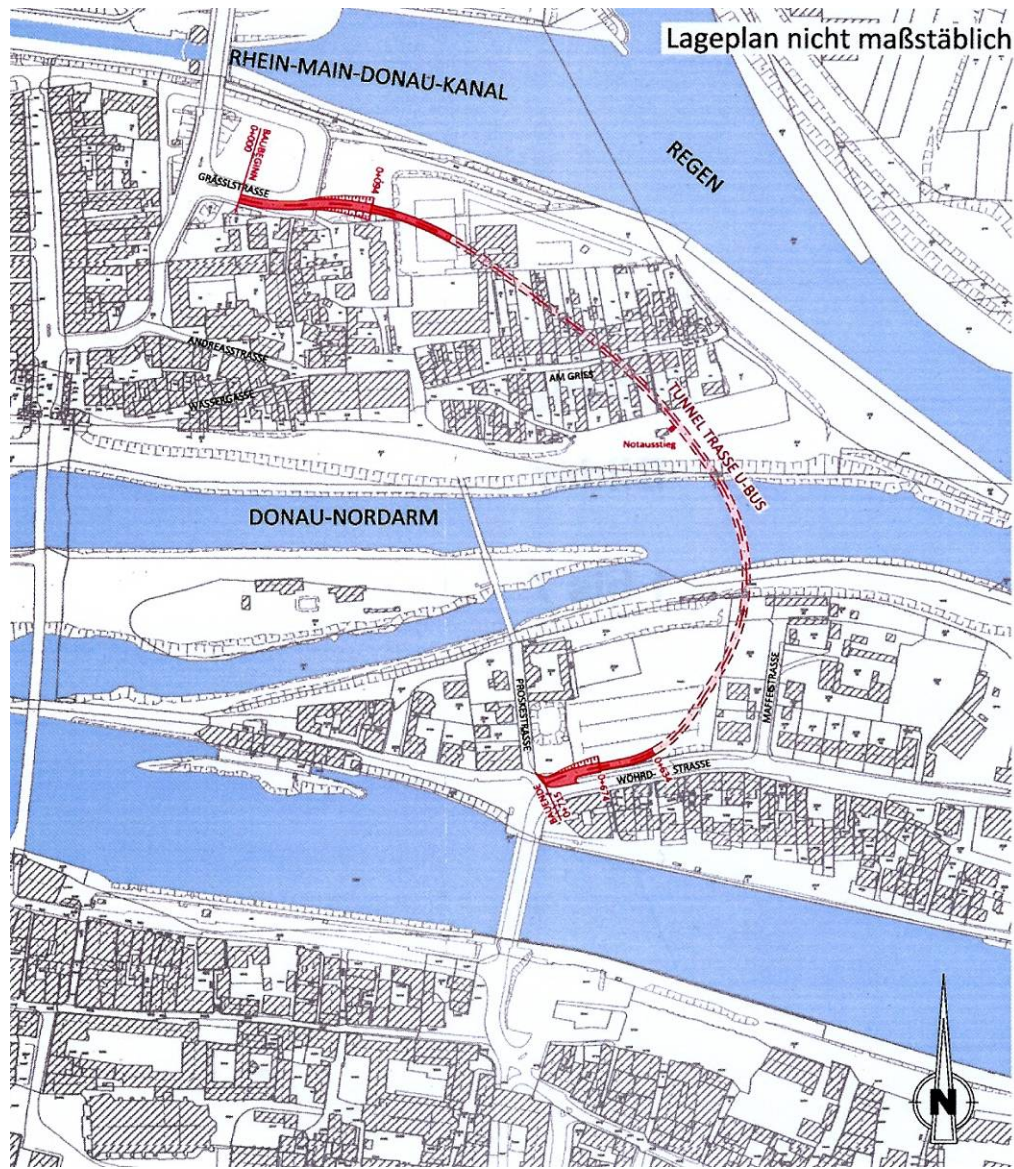
Eine der Lösungen ist die in der Machbarkeitsstudie [1] vom Juni 2009 konzipierte einstreifige Donau-Nordarm-Tunnelquerung, die ausschließlich durch den ÖPNV genutzt werden soll (Bild 1 bis Bild 3). Die in der Machbarkeitsstudie untersuchte Tunneltrasse beginnt in der Gräßlstraße, unterfährt die Bebauung am Gries, kreuzt den Nordarm der Donau und schwenkt schließlich in einen Bogen nach Südwest in die Wöhrdstraße.

Der Gradientenverlauf sieht im Norden im Anschluss an einen 60 m langen Trog eine Tunnelrampe mit einer Neigung von ca. 7 % auf einer Länge von 254 m vor¹. Diese Neigung wird bis zum Tiefpunkt, der sich unterhalb des Nordarmes der Donau befindet, fortgeführt.

Der südliche Tunnelabschnitt ist auf 162 m Länge¹ mit einer Neigung von 10 % geplant, die sich auch für die anschließende Trogstrecke von 40 m fortsetzt. Der so trassierte Tunnel weist eine Länge von ca. 480 m ohne Trogstrecke auf. Die Gesamtstrecke einschließlich der Rampen hat eine Länge von ca. 660 m.

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

¹ Dieser Wert entspricht den übergebenen Planunterlagen; er weicht von der Angabe in der Machbarkeitsstudie [1] ab. Dort sind für den Abschnitt mit 7 % Neigung 100 m Länge und für den Abschnitt von 10 % Neigung 75 m Länge angegeben.



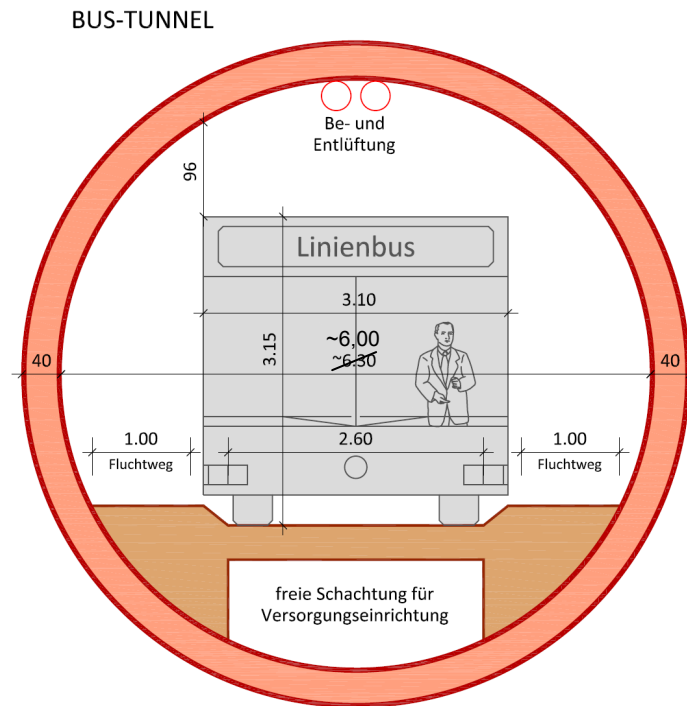


Bild 3: Querschnitt des geplanten Bustunnels (Quelle: [1])

2 Aufgabenstellung

Der in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagene Bustunnel weist hinsichtlich der Trassierung im Lage- und Höhenplan sowie in der Querschnittsausgestaltung 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. In einer ersten Stufe [13] wurde die Lösung grob hinsichtlich der technischen Ausstattung und des Tunnelbetriebes unter dem Gesichtspunkt der Selbst- und Fremdreterung auf mögliche Risiken überprüft und das Risiko auf die Umgebung bei der bautechnischen Umsetzung eingeschätzt. Des Weiteren wurden Aussagen zur Barrierefreiheit und zu den Auswirkungen auf die verkehrlichen Abläufe gemacht.

Mit der Beauftragung der zweiten Stufe des Gutachtens (Schreiben der Stadt Regensburg vom 10.02.2010) sind nun die Risiken der Lösung aus der Machbarkeitsstudie weiter zu untersuchen und vergleichend einer Regellösung gegenüberzustellen. Mögliche Maßnahmen sind hinsichtlich ihrer Risikominderung zu beurteilen.

Im Rahmen einer Kostenprüfung ist die Grobkalkulation der Projektkosten in der Machbarkeitsstudie zu kontrollieren.

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 [2] herangezogen. Diese werden derzeit als allgemein anerkannte Regeln der Technik angesehen und sind daher in Ermangelung 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 Tunneln 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 [3] anzuwenden.

Besonderheiten können sich zusätzlich aus der Betriebsart als reiner ÖPNV-Tunnels des nicht schienengebundenen Verkehrs ergeben. Anforderungen, die sich aus diesem Blickwinkel ergeben, können aus den EAÖ 2003 [4] abgeleitet werden.

Die Beurteilung der Risiken wird auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem Forschungsbericht zur Beurteilung von Straßentunneln [10] vorgenommen. Weiterhin werden die Erfahrungen aus zahlreichen Risikoanalysen für verschiedene Verkehrstunnel herangezogen.

Eine Überprüfung der Kosten erfolgt auf Basis einer Vielzahl von Tunnelprojekten, die durch die BUNG Ingenieure AG erarbeitet und begleitet wurden.

4 Risikobeurteilung der Tunnelsicherheit

Zur Abschätzung der Risiken für die vorliegende Machbarkeitsstudie [1] und möglicher risikowirksamer Maßnahmen wird eine Risikountersuchung durchgeführt. Als Referenz dient ein nach RABT ausgestatteter Tunnel, dessen Risiko mit dem der vorliegenden Studie verglichen wird. Dazu wird die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen grob abgeschätzt: Im Einzelnen werden die folgenden Fälle untersucht

- Referenztunnel nach RABT
- Planfall Bustunnel nach Machbarkeitsstudie
- Planfall Bustunnel mit elektronischer Spurführung (Querschnitt entsprechend Machbarkeitsstudie)

- Planfall Bustunnel mit verkürzter Branddetektion und Querschnitt nach RABT

Die Wirkung weiterer Maßnahmen wie z. B.

- Planfall Bustunnel mit Verdichtung von Notausgängen

können mit der angewandten Methodik nicht ausreichend exakt abgebildet werden, da das Schadenausmaß anhand von vorliegenden Studien grob abgeschätzt wird. Wegen der kurzen Tunnellänge von 480 m und der hohen Längsneigung ist auf Basis dieser Abschätzungen die Interaktion zwischen Lüftung, Querschnittsgröße, exaktem Brandort und Notausgangabstand sowie der Evakuierung des betroffenen Busses nicht mit der notwendigen Zuverlässigkeit möglich.

Im Folgenden werden die einzelnen untersuchten Fälle grob in Ihren wesentlichen Merkmalen beschrieben.

Referenztunnel nach RABT

Der Referenztunnel nach RABT sieht entsprechend der EAÖ und der RAST 06 einen Querschnitt gemäß Anlage 3.2 mit einem Innendurchmesser von 7,70 vor. Die Tunnellänge entspricht mit 480 m der Länge des Planfalls, wobei die Längsneigungen auf 3 % begrenzt sind. Alle weiteren Einrichtungen entsprechen denen des Planfalls.

Planfall Bustunnel gemäß Machbarkeitsstudie

Die Daten des Tunnels sind in der Machbarkeitsstudie [1] beschrieben. Lageplan, Längsschnitt und Querschnitt sind zur Veranschaulichung in Bild 1 bis Bild 3 dargestellt. Die Abschnittslängen weichen von den Angaben in der Studie ab (s. Fußnote 1 in Kapitel 1).

Planfall Bustunnel mit elektronischer Spurführung

Zur Vermeidung von Unfällen bzw. zu dichtem Auffahren werden die Busse im Tunnel mittels einer elektronischen Spurführung gesteuert (vgl. Bild 4 und Bild 5). Hierdurch lassen sich ausschließlich Kollisionseignisse beeinflussen. Da Brände im Regelfall durch technischen Defekt entstehen, kann die Häufigkeit durch diese Spurführung nicht beeinflusst werden. Ebenso ist das Schadenausmaß unabhängig von der Spurführung.

Denkbar ist als weitere Maßnahme, dass mit der Erfassung der aktuellen Geschwindigkeit bei außerplanmäßig stehenden Fahrzeugen die Brandlüftung entgegen der Fahrtrichtung aktiviert werden kann. Diese Möglichkeit wird jedoch im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt. Der Querschnitt entspricht dem Querschnitt in der Machbarkeitsstudie.



Bild 4: Optische Spurführung (Beispiel Rouen; Quelle: [14])



**Bild 5: Induktiv über in der Fahrbahn eingelassene Magnete gesteuerter Bus
(Beispiel Eindhoven; Quelle: [14])**

Planfall Bustunnel mit verkürzter Branddetektion, Querschnitt nach RABT

Zur Verbesserung der Situation im Brandfall wird als Maßnahme eine verkürzte Branddetektion unter Einhaltung des Querschnitts nach RABT bzw. EAÖ und RAST 06 (Anlage 3.2) vorgesehen.

Der größere Querschnitt führt im Brandfall, insbesondere in der Entstehungsphase und bei geringen Brandleistungen zu ausreichend lichtem Volumen, so dass sich eine Schichtung der Rauchgase einstellen kann. Darüber hinaus wird eine visuelle Ereignisdetektion vorgesehen, die automatisch stehende Fahrzeuge und Brände erkennt. Diese Daten werden in Zentrale (z. B. Zentrale der Verkehrsbetriebe), die zumindest während der Betriebszeit des Bustunnels dauernd besetzt ist, aufgeschaltet, so dass innerhalb kürzester Zeit Maßnahmen, wie z. B. die Steuerung der Brandlüftung, eingeleitet werden können.

4.2 Methodik

Zur Berechnung der vorhandenen Risiken wird eine grobe Ereignisbaumanalyse durchgeführt. Ausgehend von einem Initialereignis werden die wesentlichen relevanten Verzweigungen zur Abbildung des möglichen Ereignisablaufes untersucht und dargestellt. Exemplarisch ist das Schema eines Ereignisbaumes in dem folgenden Bild 6 illustriert.

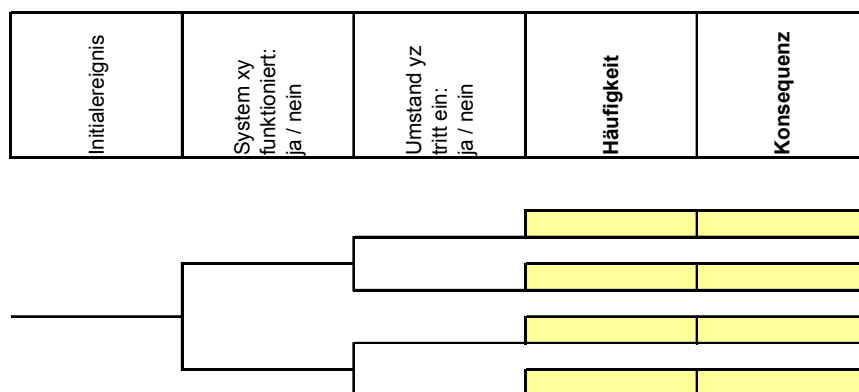


Bild 6: Beispiel der grafischen Darstellung einer Ereignisbaumanalyse

Für die vorliegende Untersuchung werden in Anlehnung an die im Forschungsbericht [10] entwickelte Methodik die folgenden Szenarien getrennt für das Kollisionsereignis (Tab. 1) und das Brandereignis (Tab. 2) berücksichtigt. Die in den Tabellen aufgeführten Verzweigungen sind mit den gewählten Eingangsgrößen in Abschnitt 4.3 detailliert beschrieben.

Untersuchungsfall	Ort (Segment)	Unfalltyp	Schaden- ausmaß	Summe
Referenzfall nach RABT	3	2	6	12
Planfall gemäß [1]	3	2	6	12
Planfall + elektronischer Spurführung	3	2	6	12
Planfall + Verkürz. Detek- tion + QS gem. RABT	3	2	6	12

Tab. 1: Untersuchungsszenarien für Kollision

Untersuchungsfall	Ort (Segment)	Fahrzeug- dichte	Brandgröße	Schaden- ausmaß	Summe
Referenzfall nach RABT	3	2	2	6	72
Planfall gemäß [1]	3	2	2	6	72
Planfall + elektronischer Spurführung	3	2	2	6	72
Planfall + Verkürz. Detek- tion + QS gem. RABT	3	2	2	6	72

Tab. 2: Untersuchungsszenarien für Brand

Als Bewertungsgrundlage werden nach [10] die Personenrisiken (Todesopfer pro Jahr) berücksichtigt. Die monetarisierten Risiken infolge Todesopfer und Sachschaden/Verletzte werden ebenfalls nach [10] berechnet und werden in Anlage 6.4 zusammengestellt.

4.3 Eingangsdaten

4.3.1 Allgemeine Daten

Tunnelsegmente

Für die Bewertung der Risiken sind die jeweiligen ortsspezifischen, risikorelevanten Tunnелеigenschaften maßgebend. Aus diesem Grund wird der Tunnel für die Zwecke der Risikoanalyse gemäß der vorhandenen Längsneigung in drei Untersuchungseinheiten Bild 7 gegliedert:

- Segment 1 (Nord): km 0+154 bis km 0+408 (Steigung/Gefälle)
- Segment 2 (Mitte): km 0+408 bis km 0+472 (Wanne)
- Segment 3 (Süd): km 0+472 bis km 0+634 (Steigung/Gefälle)

Die Trogabschnitte gelten als sichere Bereiche und werden nicht berücksichtigt.

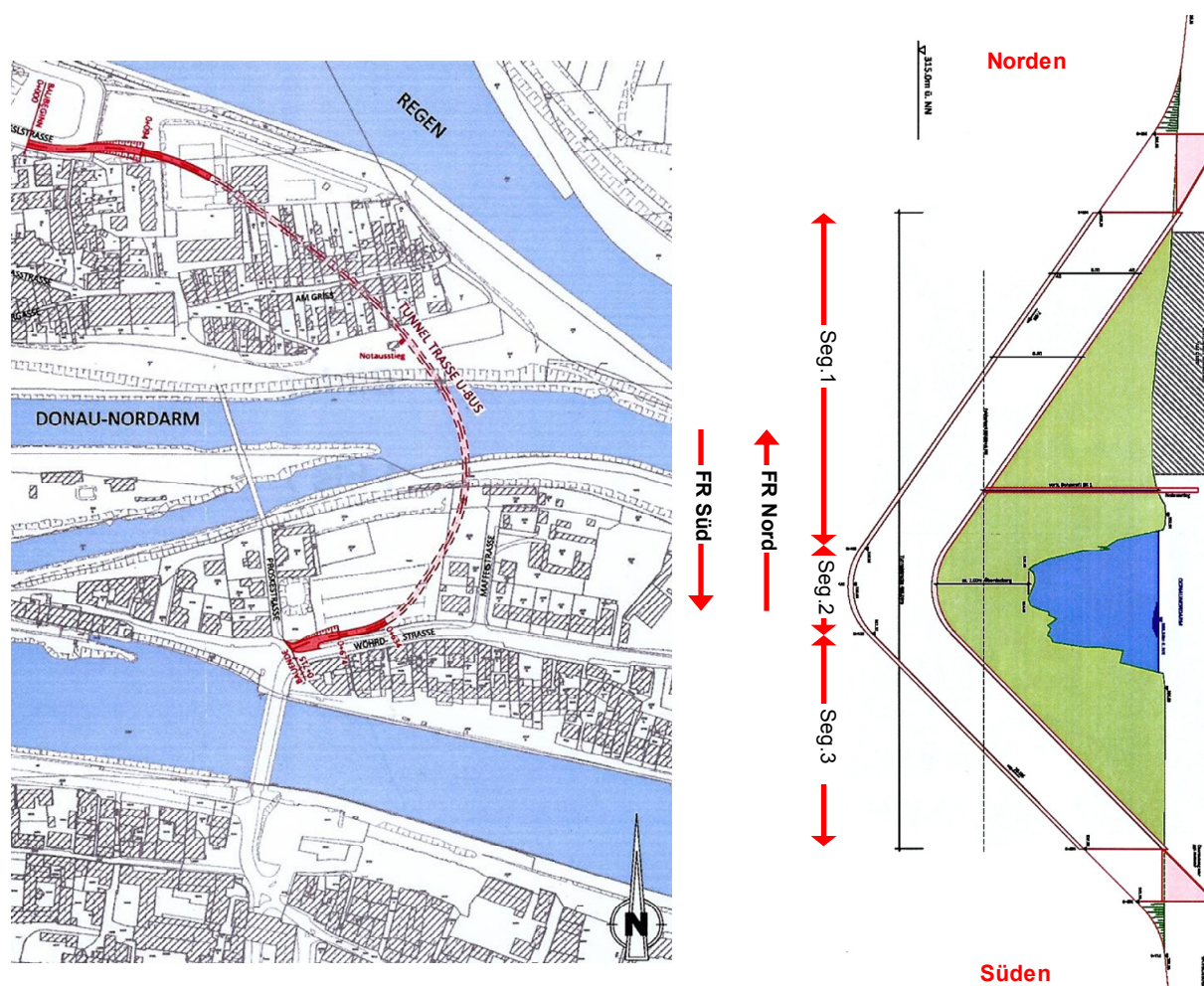


Bild 7: Aufteilung des Bustunnels in Abschnitte zur Durchführung der Risikoanalyse

Verkehrsbelastung

Die zu berücksichtigenden Fahrten wurden auf Basis von Angaben zur morgendlichen Spitzenstunde [12] wie folgt abgeschätzt:

Buslinien (Stand 2008)	Anzahl Fahrten (Annahme) für die Stundengruppen						
	0:00 5:00	5:00 9:00	9:00 15:00	15:00 19:00	19:00 21:00	21:00 0:00	
4	0 F/h	8 F/h	6 F/h	8 F/h	6 F/h	4 F/h	
12	0 F/h	4 F/h	4 F/h	4 F/h	4 F/h	2 F/h	
13	0 F/h	12 F/h	8 F/h	12 F/h	8 F/h	6 F/h	
17	0 F/h	8 F/h	6 F/h	8 F/h	6 F/h	4 F/h	
Fahrten im Querschnitt	0	128	144	128	48	48	
Fahrten im Querschnitt pro Stunde	0	32	24	32	24	16	

Daraus ergibt sich unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung auf beide Fahrtrichtungen eine tägliche Belastung von 248 Bussen je Richtung.

4.3.2 Kollision

Initialhäufigkeit

Der Bustunnel wird nach der vorliegenden Planung im alternierenden Richtungsverkehr betrieben. Auf Grund dieser Tatsache sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Unfalltyp 3 (Abbiegen und Kreuzen) und 6 (Unfälle im Längsverkehr) sind nicht relevant
- zu betrachten sind ausschließlich Unfalltyp 1 (Selbstunfall) und 7 (sonstiger Unfall, z. B. Hindernis, Eis, etc.)
- Unfallverursacher ist immer ein Busfahrer

Folglich wird gemäß der Statistik zu Busunfällen [11] die Unfallrate mit $3,587 \cdot 10^{-7}$ [Kollisionen pro Bus-km] angesetzt (s. Anhang 5.1).

Für den Planfall mit elektronischer Spurführung wird angenommen, dass 99 % der Kollisionen durch das System vermieden werden können. Daher wird die Unfallrate hier mit $3,587 \cdot 10^{-9}$ [Kollisionen pro Bus-km] angesetzt

Verzweigung Segment

Einfluss auf die Unfallhäufigkeit haben in dem vorliegenden Fall die Längsneigung und die Fahrstreifenbreite. Durch hohe Längsneigungen kann infolge überhöhter Geschwindigkeit das Unfallrisiko ansteigen. Bei Längsneigungen von bis zu 3 % (Referenz tunnel) sowie bei einer elektronischen Spurführung ist nicht von einer Erhöhung der Kollisionen im Gefällebereich auszugehen. Verengte Fahrstreifen führen ebenfalls zu einem erhöhten Unfallrisiko, da bereits kleinste Fahrfehler die Berührung des Hochbords am Notgehweg zur Folge haben. Dies birgt ein erhöhtes Eskalationspotenzial.

Folglich werden die folgenden Korrekturfaktoren für die Tunnelabschnitte für die verschiedenen Untersuchungsfälle angesetzt:

Planfall Planfall + Querschnitts- vergrößerung	Fahrtrichtung Süd			Fahrtrichtung Nord		
	Seg. 1	Seg. 2	Seg. 3	Seg. 1	Seg. 2	Seg. 3
	Gefälle	Wanne	Steigung	Steigung	Wanne	Gefälle
Referenzfall nach RABT	1	1	1	1	1	1
Planfall gemäß [1]	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5
Planfall + elektronischer Spurführung	1	1	1	1	1	1
Planfall + Verkürz. Detektion + QS gem. RABT	1,2	1	1	1	1	1,2

Tab. 3: Korrekturfaktoren zur Belegung der Initialhäufigkeit

Verzweigung Unfalltyp

Für den untersuchten Bustunnel sind nach den o. g. Überlegungen im Vergleich zu sonstigen Straßenverkehrstunneln spezielle Randbedingungen zu beachten. So sind ausschließlich Unfälle des Typs 1 (Selbstunfall) und 7 (sonstiger Unfall, z. B. Hindernis, Eis, etc.) zu berücksichtigen. Die Verteilung der Kollisionen auf diese Unfalltypen erfolgt nach dem Forschungsbericht [10] für Richtungsverkehrstunnel ohne Zu- und Abfahrten. Demnach werden sich für alle untersuchten Fälle die Unfälle wie folgt verteilen:

- Unfalltyp 1: 38,4 %
- Unfalltyp 7: 61,6 %

Verzweigung Schadenausmaß

Durch die Betrachtung einer Initialhäufigkeit, bei der ausschließlich Kollisionen mit Personenschäden gemäß [11] berücksichtigt werden, sind die Schadenausmaße relativ hoch. Darüber hinaus ist hinsichtlich der Unfallfolgen davon auszugehen, dass infolge der Tatsache, dass die Businsassen nicht angeschnallt sind, immer mit Personenschäden zu rechnen ist.. Für die Abschätzung der Folgekosten werden nach ESAS [5] für Leichtverletzte 3.750 €, für Schwerverletzte 85.000 € und für einen Bus 270.000 € berücksichtigt.

Die verschiedenen Untersuchungsfälle unterscheiden sich in der Schadenausmaßverteilung bei der Kollision nicht. Daher ergibt sich für alle Untersuchungsfälle die folgende Ausmaßverteilung für Personen- und Sachschäden:

Unfalltyp	Keine Todesopfer	1 Todesopfer	2-3 Todesopfer	4-9 Todesopfer	10-30 Todesopfer	>30 Todesopfer
Unfalltyp 1	99,35%	0,30%	0,30%	0,05%	0,00%	0,00%
Unfalltyp 7	99,60%	0,21%	0,14%	0,05%	0,00%	0,00%

Tab. 4: Schadenausmaßverteilung für Personenschäden infolge Kollision (Planfall)

	bis € 8'000	€ 8'001 - 30'000	€ 30'001 - 150'000	€ 150'001 - 500'000	€ 500'001 - 1 Mio.	> € 1 Mio.
Unfalltyp 1	33,35%	34,00%	26,00%	4,45%	2,00%	0,20%
Unfalltyp 7	66,35%	11,00%	6,00%	14,45%	2,00%	0,20%

Tab. 5: Schadenausmaßverteilung für Sachschäden infolge Kollision (Planfall)

4.3.3 Brand

Initialhäufigkeit

Gemäß der Untersuchung im Rahmen der Stufe 1 zum vorliegenden Gutachten [13] ist bei (s. Anlage 5.2) Linienbussen mit einer Brandrate von $1,20 \cdot 10^{-8}$ [Brände pro Bus-km] zu

rechnen. Diese Brände entstehen infolge technischer Defekte, die zumeist im Motorraum (im Heck der Fahrzeuge) ihren Ursprung haben.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens zur Sicherheitsbewertung von Straßentunneln [10] wurden ebenfalls Brände infolge schwerwiegender Kollisionen berücksichtigt. Dies kann im Rahmen dieser Untersuchung jedoch ausgeschlossen werden, da es sich ausschließlich um einen Bustunnel handelt, in dem im Regelfall kein Individualverkehr vorhanden ist und zum anderen der Verkehr alternierend im Richtungsverkehr den Tunnel passiert. Darüber hinaus ist im Falle einer Kollision mit der Tunnelwand die Aufprallenergie bei gefahrenen Geschwindigkeiten zwischen 25 und 50 km/h nicht so hoch, dass es zu einer Zündung kommt.

Die Brandrate wird für alle untersuchten Fälle konstant angenommen. Es ist davon auszugehen, dass die teilweise starken Längsneigungen bei der Kürze der Abschnittslängen nicht zu überproportionalen Überhitzungen der Bremsen oder Turbolader führen.

Verzweigung Segment

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Bus infolge eines technischen Defektes in Brand gerät, ist bei den vorliegenden Randbedingungen ausschließlich abhängig von der Streckenlänge. Es ist wie oben beschrieben davon auszugehen, dass die Längsneigung keine Rolle spielt. Die Häufigkeit wird daher proportional zur Länge verteilt.

Verzweigung Fahrzeugdichte

Wegen des hohen zu erwartenden Schadenausmaßes infolge eines dichten Busverkehrs (s. Stufe 1 [13]) ist betrieblich sicher zu stellen, dass sich in jedem Steigungsabschnitt nur jeweils ein Bus aufhält. Für den seltenen Fall, dass diese Vorgabe durch die Fahrer nicht eingehalten wird, ist mit einem erhöhten Schadenausmaß zu rechnen. Die Wahrscheinlichkeit wird konservativ mit 5 ‰ angenommen. Im Falle einer elektronischen Spurführung ist davon auszugehen, dass dieser Fall nicht eintritt.

Verzweigung Brandgröße

Das Betriebskonzept des geplanten Bustunnels sieht vor, ausschließlich Linienbusse auf der Strecke verkehren zu lassen. Dadurch ergibt sich im Vergleich zu einem gewöhnlichen Straßentunnel eine homogenere Verteilung der potenziellen Brandlasten. Erfahrungen zeigen, dass ein Vollbrand eines Busses eine Brandleistung von ca. 20, maximal 30 MW hat. Kommt es im Brandfall nicht zu einem Vollbrand, ist mit einer Brandleistung von ca. 5 MW² zu rechnen. Je nach Strömungsgeschwindigkeit, bzw. Gefälle und Steigung des jeweiligen Tunnelabschnittes ist davon auszugehen, dass ein im Regelfall im Motorraum des Busses entstan-

² entspricht einem Pkw-Vollbrand

dener Brand sich unterschiedlich stark ausbreitet. Folglich wird die Wahrscheinlichkeit für einen Vollbrand bzw. Teilbrand je nach Tunnelabschnitt und Untersuchungsfall abgeschätzt:

Untersuchungsfall		Gefälle		Wanne (Mitte)		Steigung	
		5 MW [%]	30 MW [%]	5 MW [%]	30 MW [%]	5 MW [%]	30 MW [%]
Referenztunnel (RABT)	1 Bus	70	30	60	40	50	50
Referenztunnel (RABT)	2 Busse	60	40	50	50	20	80
Planfall	1 Bus	70	30	60	40	40	60
Planfall	2 Busse	60	40	50	50	20	80
Planfall+Spurführung	1 Bus	70	30	60	40	40	60
Planfall+Spurführung	2 Busse	entfällt (s. Verzweigung Fahrzeugdichte)					
Planfall+Detektion+QS	1 Bus	70	30	60	40	40	60
Planfall+Detektion+QS	2 Busse	60	40	50	50	20	80

Tab. 6: Verzweigungswahrscheinlichkeit für die Brandgröße

Verzweigung Schadenausmaß

Das Schadenausmaß im Brandfall ist stark davon abhängig, in welchem Tunnelabschnitt der Brandherd liegt. Ausgehend von der Annahme, dass der Brand im Regelfall im Motorraum (Heck) entsteht, sind folgende Brandabläufe und Schadensbilder wahrscheinlich:

- Im Gefällebereich kommt der brennende Bus zum stehen. Durch die Thermik entwickelt sich eine Strömung zum Einfahrportal, wodurch die Türen des Busses weitgehend rauchfrei bleiben. In der ersten Selbstrettungsphase ist das Verlassen des Busses möglich und der Notausgang in Tunnelmitte kann rauchfrei über den Notgehweg erreicht werden. Je nach Schnelligkeit der Brandentwicklung nimmt mit zunehmender Brandleistung zum einen die Strömungsgeschwindigkeit zu, zum anderen kann ein sich einstellendes Backlayering zu einer Gefährdung der Passagiere führen. Je voller der Bus ist, desto länger ist die Evakuierungszeit.
- Im Mittelteil des Tunnels (Wanne) ist die Entwicklung des Schadenausmaßes stark von der exakten Lage des Brandherdes und der vorherrschenden Längsströmung abhängig. Im Regelfall ist bei der Durchfahrt des Busses infolge der Kolbenwirkung eine Längsströmung in Richtung des Ausfahrportals vorherrschend. Kommt der Bus im Gefällebereich des Tunnel zum stehen, kann sich die Strömung durch die Thermik umkehren. Der Fluchtweg zum Notausgang in Tunnelmitte ist dabei sehr kurz, so dass von einem vergleichsweise geringen Schadenausmaß ausgegangen werden kann. Kommt der Bus direkt vor dem Notausgang oder im beginnenden Steigungsbereich zum Stehen, ist der Fluchtweg zum Notausgang sehr schnell abgeschnitten und der Rauch breitet sich zum

Ausfahrportal aus. In diesem Fall kann mit einer schnellen Gegenströmung durch die Brandlüftung ein erhöhtes Schadenausmaß begrenzt werden.

- Im Steigungsbereich des Tunnels wird der mit einem Brand liegen gebliebene Bus direkt vom Rauch überströmt. Die Türen des Busses liegen dabei im verrauchten Bereich, das Fahrzeug kann nicht ungehindert verlassen werden. Mit zunehmender Steigung nehmen die Kaminwirkung und damit die Strömungsgeschwindigkeit erheblich zu und übersteigt die Fluchtgeschwindigkeit deutlich. Je kleiner dabei der Tunnelquerschnitt und je größer die Brandleistung ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Rauchgase verwirbeln und der gesamte Querschnitt verraucht ist, sich also keine Rauchsichtung einstellt, die im fahrbahnnahen Tunnelbereich eine rauchfreie Schicht zu Selbstrettung lässt.

Mit den zuvor beschriebenen Überlegungen und auf Basis von anderen Studien werden die Schadenausmaße wie folgt für die unterschiedlichen Untersuchungsfälle abgeschätzt.

Referenz tunnel nach RABT

Todesopfer	5 MW			30 MW		
	Gefälle	Wanne	Steigung 3%	Gefälle	Wanne	Steigung 3%
Keine	80,50%	78,49%	61,19%	43,90%	27,20%	1,00%
1	15,00%	16,00%	30,00%	30,00%	35,00%	20,00%
2-3	4,00%	5,00%	7,50%	20,00%	25,00%	32,00%
4-9	0,50%	0,50%	1,00%	5,00%	10,00%	38,00%
10-30	0,00%	0,01%	0,30%	1,00%	2,00%	7,00%
>30	0,00%	0,00%	0,01%	0,10%	0,80%	2,00%

Tab. 7: Schadenausmaßverteilung für Personenschäden infolge Brand (Referenzfall)

Sachschaden	5 MW			30 MW		
	Gefälle	Wanne	Steigung 3%	Gefälle	Wanne	Steigung 3%
< 8.000	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
8.001 -30.000	4,90%	2,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30.001-150.000	70,00%	60,00%	30,00%	0,00%	0,00%	0,00%
150.001-500.000	20,00%	25,00%	60,00%	75,00%	35,00%	15,00%
500.001 - 1Mio	5,00%	11,00%	8,00%	18,00%	55,00%	65,00%
>1Mio	0,10%	2,00%	2,00%	7,00%	10,00%	20,00%

Tab. 8: Schadenausmaßverteilung für Sachschäden infolge Brand (Referenzfall)

Planfall Bustunnel gemäß Machbarkeitsstudie

Basis der Ausmaßabschätzungen ist der Referenz tunnel nach RABT. Durch die starken Steigungen von 7 % bzw. 10 % in der Linienführung gemäß der Machbarkeitsstudie ergeben sich mit den Erfahrungswerten aus Rauchausberechnungen bei Längsneigungen von 8 % [9] deutlich höhere Schadenausmaße infolge der stark ansteigenden Rauchausbreitung. Die Ausbreitung erreicht dabei innerhalb von 2 Minuten Geschwindigkeiten von deutlich über 3 m/s.

Todesopfer	5 MW				30 MW			
	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%
Keine	80,50%	72,99%	33,99%	18,99%	43,90%	11,00%	0,00%	0,00%
1	15,00%	20,00%	50,00%	50,00%	30,00%	40,00%	10,00%	5,00%
2-3	4,00%	6,00%	10,00%	20,00%	20,00%	30,00%	32,00%	32,00%
4-9	0,50%	1,00%	5,00%	10,00%	5,00%	15,00%	45,00%	50,00%
10-30	0,00%	0,01%	1,00%	1,00%	1,00%	3,00%	10,00%	10,00%
>30	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,10%	1,00%	3,00%	3,00%

Tab. 9: Schadenausmaßverteilung für Personenschäden infolge Brand (Planfall)

Sachschaden	5 MW				30 MW			
	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%
< 8.000	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
8.001 -30.000	4,90%	2,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30.001-150.000	70,00%	55,00%	20,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
150.001-500.000	20,00%	30,00%	60,00%	50,00%	70,00%	30,00%	10,00%	10,00%
500.001 - 1Mio	5,00%	10,00%	17,00%	25,00%	20,00%	60,00%	60,00%	50,00%
>1Mio	0,10%	3,00%	3,00%	5,00%	10,00%	10,00%	30,00%	40,00%

Tab. 10: Schadenausmaßverteilung für Sachschäden infolge Brand (Planfall)*Planfall Bustunnel mit Spurführung*

Die elektronische Spurführung hat keinen Einfluss auf die Rauchausbreitungsgeschwindigkeit im Brandfall, so dass für die Ausmaßverteilung die Eingangsdaten für die Planfall gemäß Machbarkeitsstudie verwendet wird (s. Tab. 9 und Tab. 10)

Planfall Bustunnel mit verkürzter Detektion und Querschnitt nach RABT

Durch die verkürzte Detektion kann in der Anfangsphase der Selbstrettung wertvolle Zeit gewonnen werden. Wird ein Brand im Frühstadium erkannt, wird das Brandprogramm geschaltet. Dies bedeutet, dass die Brandlüftung zeitnah entgegen der Fahrtrichtung (bei einem Brand im Motorraum) aktiviert wird und damit der Raum zum Ausstieg der Passagiere weitgehend rauchfrei gehalten wird. Unterstützend wirkt dabei der größere Verkehrsraum nach RABT, der insbesondere bei kleinen Brandereignissen eine Schichtung des Rauchs zulässt. Die folgenden Schadenausmaßverteilungen werden der Untersuchung zugrunde gelegt:

Todesopfer	5 MW				30 MW			
	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%
Keine	80,50%	79,24%	43,24%	35,99%	54,90%	22,20%	0,00%	0,00%
1	15,00%	16,00%	45,00%	48,00%	25,00%	45,00%	15,00%	10,00%
2-3	4,00%	4,00%	8,00%	10,00%	15,00%	20,00%	35,00%	35,00%
4-9	0,50%	0,75%	3,00%	5,00%	4,00%	10,00%	40,00%	45,00%
10-30	0,00%	0,01%	0,75%	1,00%	1,00%	2,00%	8,00%	7,00%
>30	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,10%	0,80%	2,00%	3,00%

Tab. 11: Schadenausmaßverteilung für Personenschäden infolge Brand (Planfall+Spurführung)

Sachschaden	5 MW				30 MW			
	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%	Gefälle	Wanne	Steigung 7%	Steigung 10%
< 8.000	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
8.001 -30.000	4,90%	2,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30.001-150.000	70,00%	55,00%	20,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
150.001-500.000	20,00%	30,00%	60,00%	50,00%	70,00%	30,00%	10,00%	10,00%
500.001 - 1Mio	5,00%	10,00%	17,00%	25,00%	20,00%	60,00%	60,00%	50,00%
>1Mio	0,10%	3,00%	3,00%	5,00%	10,00%	10,00%	30,00%	40,00%

Tab. 12: Schadenausmaßverteilung für Sachschäden infolge Brand (Planfall+Spurführung)

4.4 Ergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden die Risiken getrennt nach Kollision und Brand dargestellt. Maßgebend für die Beurteilung ist dabei der Schadenindikator „Todesopfer pro Jahr“

4.4.1 Schadenindikator Todesopfer durch Kollision

In Bild 8 ist die Risikoverteilung sowie das Gesamtrisiko für die vier untersuchten Fälle dargestellt.

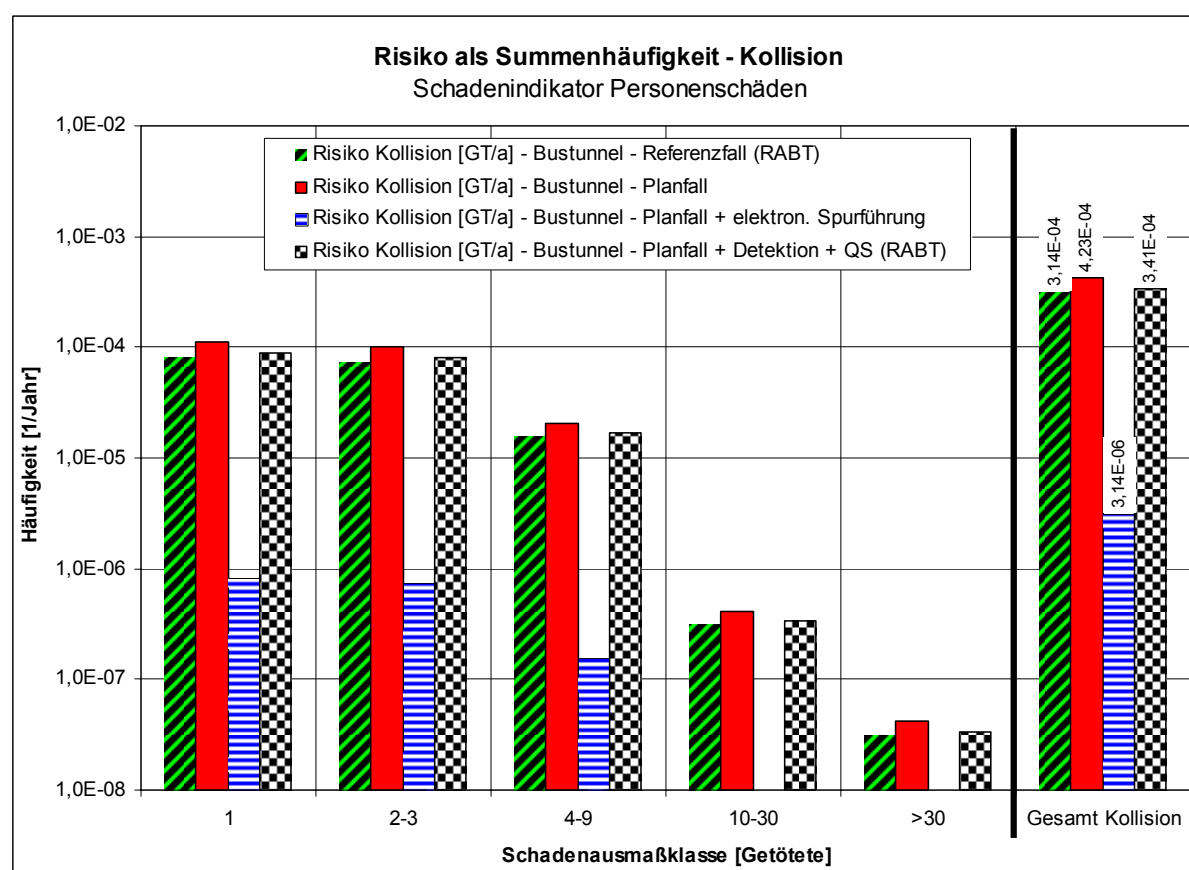


Bild 8: Risiko der Untersuchungsfälle infolge Kollision

Es zeigt sich, dass der Planfall gemäß Machbarkeitsstudie ein um ca. 35 % höheres Risiko aufweist, als der Referenzfall nach RABT. Dies liegt an der sehr schmalen Fahrspur in

Zusammenhang mit den starken Gefällestrecken. Bereits geringste Fahrfehler können dabei zu einer Kollision mit der Tunnelwand führen. Da in Linienbussen keine Sicherheitsgurte für die Insassen zur Verfügung stehen, sind vergleichsweise hohe Opferzahlen zu erwarten.

Durch eine elektronische Spurführung des Busses lassen sich Fahrfehler sehr stark beschränken. Die untersuchte Variante weist infolge der Annahme, dass ca. 99 % der Unfälle verhindert werden können ein entsprechend niedriges zu erwartendes Unfallgeschehen aus.

Eine verbesserte Detektion dient zur Ausmaßbegrenzung im Brandfall und hat auf das Unfallgeschehen keine Auswirkung. Das für diesen Untersuchungsfall gegenüber dem Referenzstreckentunnel um ca. 9 % erhöhte Risiko ist durch die starken Gefällestrecken zu erklären. Der Wert ist infolge des breiteren Fahrbahnquerschnitts günstiger als beim Planfall.

4.4.2 Schadenindikator Todesopfer durch Brand

In Bild 9 ist das Risiko für die Untersuchungsfälle infolge der berücksichtigten Brandereignisse dargestellt.

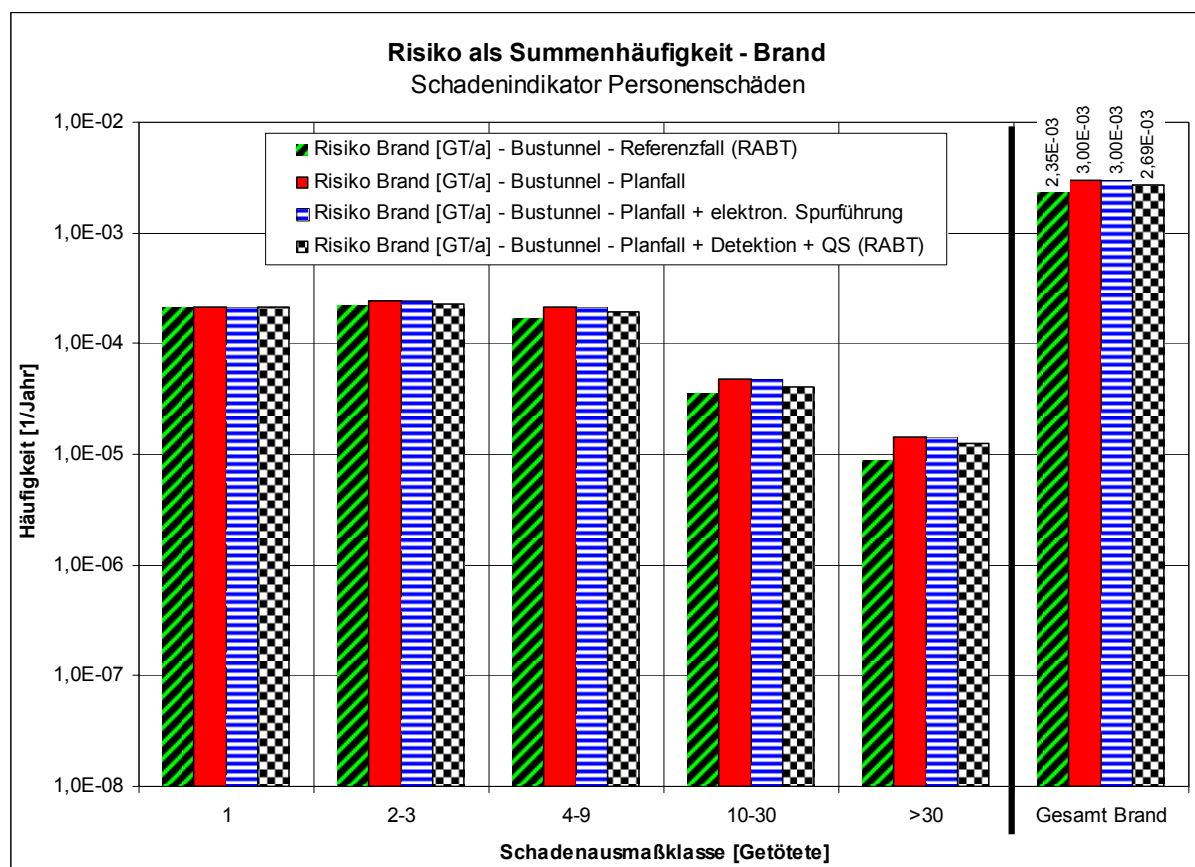


Bild 9: Risiko der Untersuchungsfälle infolge Brand

Es zeigt sich, dass die Varianten mit den starken Gefälle- und Steigungsstrecken ein mit ca. 28% deutlich höheres Risiko haben als der RABT-Vergleichstunnel. Gerade bei den relativ seltenen hohen Schadenausmaßen macht sich dies bemerkbar. Im Vergleich zu Ver-

kehrstunneln, die eine durchschnittliche Verkehrszusammensetzung aus überwiegend Individualverkehr haben, sind Ereignisse mit hohem Schadenausmaß deutlich häufiger zu erwarten. Der Häufigkeitsfaktor zwischen geringen Ausmaßen und hohen Ausmaßen liegt bei ca. 20. Dies ist mit den geringen Evakuierungszeiten in einer engen Tunnelröhre und den hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Rauchgase, verbunden mit einer hohen Personendichte, zu erklären.

Durch eine verbesserte Detektion im Brandfall, kombiniert mit einem gegenüber dem Planfall größeren lichten Raum kann mit den vorliegenden Eingangsdaten das Brandrisiko ungefähr das Niveau des Referenz隧nells nach RABT erreichen.

4.4.3 Schadenindikator Todesopfer - gesamt

In Bild 10 ist das Gesamtrisiko für die Untersuchungsfälle dargestellt.

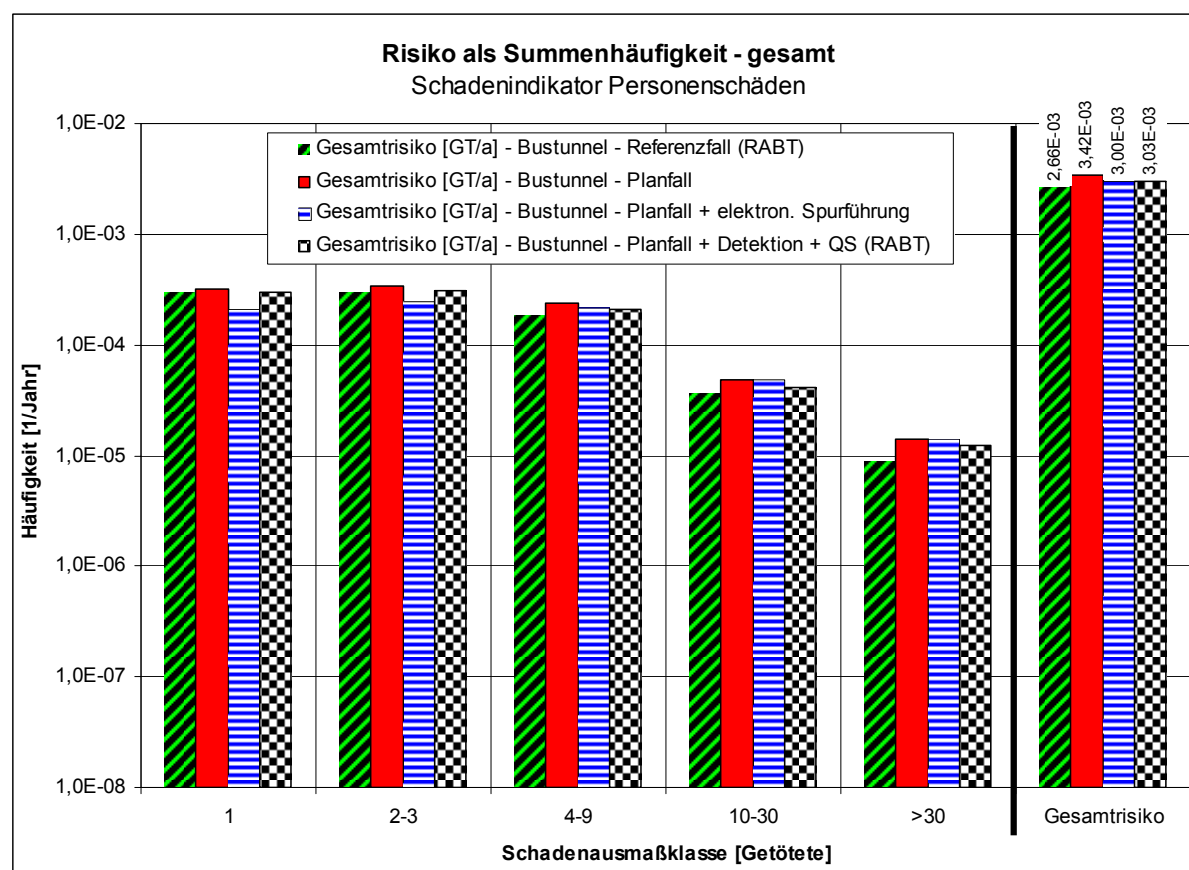


Bild 10: Gesamtrisiko der Untersuchungsfälle

Das Gesamtrisiko liegt für den Schadenindikator Todesopfer für den Planfall ca. 30 % über dem Wert des nach RABT trassierten Referenz隧nells. Bei der ausschließlichen Betrachtung des Gesamtrisikos, kann dieses voraussichtlich durch die Begrenzung der Unfallhäufigkeit durch eine elektronische Spurführung zum Teil kompensiert werden. Hinsichtlich des deutlich

erhöhten Risikos durch Brand, sind jedoch keine Verbesserungen zu erwarten. Der Gesamtrisikowert liegt ca. 13 % über dem des Referenztunnels nach RABT.

Das Gesamtrisiko eines Tunnels mit der Trassierung des Planfalls und einer verbesserten Detektion sowie einem Querschnitt gemäß RABT, erreicht trotz Verbesserung ebenfalls nicht das Sicherheitsniveau wie der Referenztunnel. Die Abweichung beträgt etwa 14 %.

5 Investitions- und Betriebskostenüberprüfung

5.1 Überprüfung der Investitionskosten der Machbarkeitsstudie

5.1.1 Kostenschätzung der Machbarkeitsstudie

In der Machbarkeitsstudie ist der Tunnel in folgende Bauabschnitte aufgeteilt:

- Rampe Nord 100 m
- Tunnel 480 m
- Rampe Süd 75 m

Für den Bustunnel wurde ein Kreisquerschnitt mit einem Innenradius von 6,0 m gewählt. Unter Berücksichtigung einer Schalendicke für die Tübbinge von 40 cm und der Einbeziehung der vortriebsbedingten Ringspaltweite von 10 bis 15 cm beläuft sich der Ausbruchquerschnitt auf ca. 7,0 m.

Für die Kostenschätzung wurde entsprechend den Vorgaben der RABT ein Notausgang in Tunnelmitte angesetzt. Unter Berücksichtigung dieser baulichen Randbedingungen wurden die Kosten in der Machbarkeitsstudie wie folgt abgeschätzt:

▪ Baustelleneinrichtung	2.100.000 €
▪ Tunnelvortrieb 480 m x 13.500 € =	6.500.000 €
▪ Einfahrampen	1.900.000 €
▪ Notausstieg	420.000 €
▪ Technische Ausstattung (Beleuchtung und Belüftung)	1.700.000 €
▪ Unvorhergesehenes	850.000 €
▪ Ingenieurplanung	850.000 €
Gesamtsumme netto	14.320.000 €

5.1.2 Überprüfte Kostenschätzung der Variante Machbarkeitsstudie

Als Grundlage für eine Kostenüberprüfung wird der geplante Tunnel der Machbarkeitsstudie zunächst in drei Bauabschnitte unterteilt. Die Rampenbereiche müssen aufgrund der zu erwartenden hohen Grundwasserstände als Tröge ausgebildet werden. Daran schließt sich im Norden und Süden jeweils ein Tunnelabschnitt in offener Bauweise an. Mit dem maschinellen Hydrovortrieb kann erst ab einer Mindestüberdeckung, die bei ca. $0,5 \times d$ liegt, begonnen werden. Damit ergeben sich folgende Einzelabschnitte:

▪ Rampe Nord	100 m
▪ Offene Bauweise Nord	80 m
▪ Schildvortrieb	360 m
▪ Offene Bauweise Süd	40 m
▪ Rampe Süd	75 m

Die Aufgliederung in die Einzelabschnitte kann der beigefügten Übersicht der Varianten im Längsschnitt (Anlage 1) entnommen werden.

Zur Ermittlung der überschlägigen Massen liegt zunächst der Kreisquerschnitt für die Tunnelstrecke (Schildvortriebsstrecke) vor. Aufbauend auf diesem Querschnitt wird ein Rechteckquerschnitt für die Teilabschnitte der offenen Bauweise sowie für die anschließenden Trogstrecken entwickelt (vgl. hierzu Anlage 2.2 bis Anlage 2.4).

Bei der Kostenschätzung wird eine Aufgliederung der Tunnelbaumaßnahme in Hauptgruppen vorgenommen. Für die Tunnelabschnitte in offener Bauweise und der Trogstrecke wird in Verbauarbeiten, Beton- und Stahlbetonarbeiten, Entwässerung, Löschwasser sowie Innenausbau unterschieden. Für die Vortriebsstrecke wird in vortriebsabhängige Kosten, vortriebsunabhängige Kosten sowie Sondermaßnahmen, wie Dichtblock, Schildeinfahrt, Schildausfahrt, Übergangskonstruktion und Gebäudesicherungsmaßnahmen unterschieden.

Eine Aufgliederung der Einzelkosten ist der Anlage 2.1 „Grobkostenschätzung Variante 1“ zu entnehmen.

Im Einzelnen ergeben sich damit folgende Kosten:

▪ Baustelleneinrichtung	2.000.000 €
▪ Trogstrecke Nord	1.290.000 €
▪ Offene Bauweise Nord	1.828.000 €
▪ Schildstrecke	17.037.000 €
▪ Offene Bauweise Süd	905.000 €
▪ Trogstrecke Süd	1.157.000 €
▪ Notausstieg Mitte	660.000 €
▪ Sonstiges	2.500.000 €
▪ Technische Ausstattung	1.440.000 €
▪ Ingenieurplanung	1.000.000 €
Gesamtsumme netto	29.817.000 €

Bei der Überprüfung der Investitionskosten ergeben sich damit folgende Differenzkosten gegenüber der Machbarkeitsstudie:

Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung orientiert sich im Wesentlichen an den Herstellkosten des Tunnels und beläuft sich im Allgemeinen auf ca. 10 % der Rohbaukosten.

Schildvortrieb

Die Schildvortriebskosten werden im Wesentlichen durch die Investitionskosten für den Kauf der Maschine bestimmt. Bei der Kostenüberprüfung ist davon ausgegangen worden, dass für die Schildmaschine incl. Nachläufer Investitionskosten von 8,6 Mio. € zu tätigen sind. Diese Kosten müssen auf die aufzufahrende Vortriebsstrecke umgelegt werden. Geringe Vortriebslängen erhöhen damit den Vortriebspreis pro laufenden Meter. Ein überschlägiger Kostenvergleich von vortriebsabhängigen und vortriebsunabhängigen Kosten führt für die Schildvortriebsstrecke zu Baukosten von netto 17,0 Mio. €. Der Laufmeterpreis beläuft sich damit auf 47.000 € pro laufenden Meter Tunnel.

Es zeigt sich, dass gegenüber der Machbarkeitsstudie ein wesentlicher Preisanstieg zu verzeichnen ist, der im Wesentlichen dadurch begründet wird, dass bei der Machbarkeitsstudie die Investitionskosten der Vortriebsmaschine nicht angesetzt wurden (Einsatz einer gebrauchten und voll abgeschriebenen Maschine).

Einfahrtrampen

Bei der Kostenüberprüfung der Einfahrtrampen wird zwischen Trogstrecke und Tunnel in offener Bauweise unterschieden. Für die Kostenschätzung wird im Gegensatz zur Machbarkeitsstudie von Grundwasserständen ausgegangen, die bis unmittelbar an die Geländeoberfläche heranreichen (z. B. Donauhochwasser). Im Zuge der weiteren Planung ist zu überprüfen, welche Grundwasserstände für die Baumaßnahme im Einzelnen anzusetzen sind. Die Baukosten der offenen Tunnel- und Trogabschnitte werden im Wesentlichen durch den aufwändigen Verbau mit Unterwasserbetonsohle bestimmt. Die Kostendifferenz gegenüber der Machbarkeitsstudie, die von einer Summe von 1,9 Mio. € ausging, beläuft sich auf netto 3.280.000 €.

Notausstieg

Der Kostenvergleich weist mit 660.000 € höhere Kosten für den Notausstieg in Tunnelmitte auf. Die Differenzkosten liegen hier bei netto 240.000 €.

Technische Ausstattung

In Analogie zu vergleichbaren Tunnelprojekten gehen wir davon aus, dass die Kosten für Beleuchtung, Lüftung und Sicherheitseinrichtungen bei ca. 1,5 Mio. € liegen und damit in etwa der Kostenschätzung der Machbarkeitsstudie entsprechen.

Unvorhergesehenes

Eine Machbarkeitsstudie stellt im Allgemeinen den ersten Planungsschritt einer Projektierung dar. In dieser Phase wird auf Erfahrungswerte zurückgegriffen, die auf das konkrete Projekt übertragen werden. Da im Tunnelbau speziell der Baugrund einen wesentlichen Einfluss auf die Baukosten aufweist und viele weitere die Kosten beeinflussende Faktoren erst im Zuge der weiteren Planung erarbeitet werden können, wird im Allgemeinen ein Prozentsatz von 20 % in der Phase der Machbarkeitsstudie für Unvorhergesehenes eingerechnet.

Wir haben diesen Wert auf 10 % beschränkt, da uns über die Aufgliederung der Hauptmassen eine Eingrenzung der Kostenschwankung möglich erscheint.

Ingenieurplanung

Die Kosten für die Ingenieurplanung sowie die erforderlichen Gutachten werden durch die Höhe der Baukosten bestimmt. Bei Tunnelprojekten bewegen sich die Honorare für Planungen und Gutachten im Allgemeinen in einer Größenordnung zwischen 3 bis 5 %. Bei einem gewählten Ansatz von 4 % weichen die in der Machbarkeitsstudie aufgeführten Planungskosten nur unwesentlich von den überprüften Planungskosten ab.

Ergebnis des Kostenvergleiches

Zusammenfassend ist festzustellen, dass unter den für diese Studie getroffenen Annahmen (volle Abschreibung der Investitionskosten einer neuen Vortriebsmaschine im Projekt; Grundwasserstand in Höhe der Geländeoberfläche; Unvorhergesehenes; Sondermaßnahmen bei Gebäudeunterfahrungen) eine deutliche Kostensteigerung gegenüber den in der Machbarkeitsstudie abgeschätzten Kosten vorliegt. Die Tunnelbaumaßnahme wird unter Berücksichtigung der in der Machbarkeitsstudie vorgegebenen Querschnittsabmessungen sowie der angedachten Gradientenneigungen zu Baukosten in Höhe von 29.817.000 € führen.

5.2 Investitionskosten für einen RABT-konformen Tunnel

In der Sicherheitsbewertung "Donau-Nordarm-Tunnelquerung" hat die BUNG Ingenieure AG im Gutachten vom Februar 2010 die Querschnittsabmessungen des geplanten Bustunnels aus der Machbarkeitsstudie im Hinblick auf die aktuelle Vorschriftenlage überprüft und eine Mindestfahrbahnbreite von 3,50 m für den Einrichtungsbetrieb eines Busses vorgegeben. Werden die Anforderungen an die Barrierefreiheit ebenfalls berücksichtigt, ist der Notgehweg beidseitig von 1 m auf 1,50 m zu verbreitern. Aufbauend auf diesen Forderungen wird ein Regelquerschnitt für den Schildtunnel mit einem Durchmesser von im Lichten 7,70 m ermittelt (vgl. hierzu Anlage 3.2). Die entsprechenden Querschnitte für die Tunnelabschnitte in offener Bauweise und der angrenzenden Trogstrecken sind den Anlagen 3.3 und 3.4 zu entnehmen. Überträgt man anschließend diese Querschnittsabmessungen auf den vorhandenen Längsschnitt der Machbarkeitsstudie, ergibt sich ein Tunnelverlauf mit gleichen Neigungsverhältnissen, der jedoch aufgrund des größeren Querschnittes tiefer in den Baugrund einbindet.

In Anlage 1 ist die Variante 1a im Längsschnitt dargestellt. Analog zu der Machbarkeitsstudie (Variante 1) ergeben sich damit folgende Kosten, die in der Anlage 3.1 „Grobkostenschätzung Variante 1a“ einzeln aufgegliedert sind.

▪ Baustelleneinrichtung	2.500.000 €
▪ Trogstrecke Nord	1.866.000 €
▪ Offene Bauweise Nord	2.108.000 €
▪ Schildstrecke	20.110.000 €
▪ Offene Bauweise Süd	1.052.000 €
▪ Trogstrecke Süd	1.440.000 €
▪ Notausstieg Mitte	704.000 €
▪ Sonstiges	3.000.000 €
▪ Technische Ausstattung	1.440.000 €
▪ Ingenieurplanung	1.200.000 €
Gesamtsumme netto	35.420.000 €

Die Kosten erhöhen sich damit gegenüber der Variante 1 aufgrund der geänderten Querschnittsabmessungen um 5.603.000 €.

5.3 Investitionskosten für einen Tunnel in offener Bauweise

In dem BUNG zur Verfügung gestellten Lageplan Ersatztrasse Steinerne Brücke mit den Tunnelvarianten „Unterer Wöhrd-Gries“ ist neben der in der Machbarkeitsstudie untersuchten Tunneltrasse eine zweite Tunneltrasse dargestellt. Diese verläuft außerhalb der Bebauung. Durch die Linienführung entlang der Donau kann auf die Unterfahrung von Gebäuden verzichtet werden. Die dargestellte Tunneltrasse könnte eine Alternative zu der bereits untersuchten Machbarkeitsstudie darstellen. Denkbar wäre eine Kombination der beiden Tunneltrassen in der Linienführung. Die Trasse könnte im Norden entsprechend der Tunneltrasse „Unterer Wöhrd-Gries“ verlaufen und im Süden in die neue Trassenführung übergehen.

In einer ersten Abschätzung werden für diese Trasse die Baukosten bei einer Herstellung in offener Bauweise ermittelt. Als Grundlage für die Kostenschätzung werden die in der Anlage 4.2 und 4.3 dargestellten Querschnitte herangezogen. Die Querung des Donau-Nord-Armes erfolgt in offener Bauweise, wobei dieser Tunnelbereich in zwei Abschnitten bei gleichzeitiger Einengung des Donau-Nord-Armes erfolgen muss.

In der beigefügten Kostenschätzung sind die erhöhten Aufwendungen für die Baugruben im Donaubereich separat erfasst.

Analog zu den Varianten 1 und 1a lassen sich die Kosten, siehe Anlage 4.1 „Grobkostenschätzung Variante 2“, wie folgt aufschlüsseln:

▪ Baustelleneinrichtung	2.000.000 €
▪ Trogstrecke Nord	2.264.000 €
▪ Tunnel offene Bauweise	16.362.000 €
▪ Trogstrecke Süd	1.678.000 €
▪ Notausstieg Mitte	565.000 €
▪ Sonstiges	2.500.000 €
▪ Technische Ausstattung	1.530.000 €
▪ Ingenieurplanung	1.000.000 €
Gesamtsumme netto	27.899.000 €

Obwohl der Tunnel bei der Variante in offener Bauweise mind. 30 m länger ist, liegen die Gesamtkosten unter denen der Variante 1 und 1a. Der Querschnitt erfüllt die Anforderungen der Richtlinien und erfüllt die Kriterien der Barrierefreiheit. Die Längsneigungen können gegenüber den Festlegungen in der Machbarkeitsstudie reduziert werden.

5.4 Investitions- und Betriebskosten der technischen Ausstattung

5.4.1 Investitionskosten technische Ausstattung

Der geplante Bustunnel weist unter Berücksichtigung der Trassierungsparameter der Machbarkeitsstudie eine Länge von ca. 480 m auf. Die RABT sieht für Tunnel ab einer Länge von 400 m eine Komplettausstattung mit betriebs- und sicherheitstechnischen Anlagen vor. Im Einzelnen wird der Tunnel wie folgt ausgestattet:

Beleuchtung

Natriumdampfhochdruckleuchten werden im Allgemeinen in Fahrbahnmitte als Einzelleuchten angeordnet.

Lüftung

Aufgrund der großen Längsneigung ist zu prüfen, ob der Tunnel im Normalbetrieb mit einer Längslüftung auszustatten ist. Für den Brandfall wird in jedem Fall eine Längslüftung für den Abtrieb des Rauches erforderlich.

Verkehrstechnische Einrichtungen

Der Tunnel wird mit einer Grundausrüstung verkehrstechnisch ausgerüstet.

Notausgänge

Für Tunnellängen über 400 m ist in Abständen von 300 m ein Notausgang erforderlich. Dieser ist mit einer Überdruckbelüftung auszustatten.

Leiteinrichtungen

Der Tunnel wird mit aktiv leuchtenden Leitelementen am Bordstein ausgestattet. Diese Leiteinrichtungen dienen dem Busfahrer zur Orientierung und können im Brandfall gleichzeitig als Orientierungspunkte für flüchtende Mitfahrer genutzt werden.

Notrufstationen

Notrufstationen sollten in Abständen von 150 m angeordnet werden..

Videoüberwachung

Der Tunnel ist mit einer Videoüberwachung auszustatten, die es erlaubt, jeden Standort im Tunnel von einer Außenstelle aus zu überwachen.

Tunnelfunk

Der Tunnel erhält eine Funkanlage, die sowohl den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (Polizei, Feuerwehr und weitere Rettungskräfte) wie auch dem Betreiber eine Funkverbindung ermöglicht.

Verkehrsfunk

Der Verkehrsfunk soll dem Verkehrsteilnehmer als Informationsquelle dienen. Da der Bustunnel nur von Busfahrern genutzt wird, wird dieser Funkkanal vom Betreiber belegt.

Lautsprechanlage

Der Tunnel wird mit einer Lautsprechanlage ausgerüstet, über die von einer Außenstelle ein Einsprechen im Tunnel möglich wird. In Gefahrensituationen können die ÖPNV-Nutzer Anweisungen von der besetzten Außenstelle erhalten und den Gefahrenort zielgerichtet und schnell verlassen.

Manuelle Brandmeldeeinrichtungen

An den Notrufnischen werden Handdruckmelder angeordnet, über die ein Brandalarm abgegeben werden kann.

Automatische Brandmeldeeinrichtung

Tunnel, die mit einer Lüftungsanlage ausgestattet werden, erhalten zur Branddetektion eine automatische Brandmeldeeinrichtung. Hierbei handelt es sich um ein Sensorkabel, welches an der Tunneldecke angeordnet ist und bei Temperaturveränderungen einen Alarm auslöst.

Löschwasserversorgung

Für Tunnel über 400 m ist eine durchgängige Löschwasserversorgung im Tunnel vorzusehen. In Abständen von 150 m befinden sich Löschwasserentnahmestellen, die von der Feuerwehr im Einsatzfall genutzt werden können. Im Allgemeinen wird die Löschwasserleitung, soweit möglich, an das örtliche Versorgungsnetz angeschlossen. Alternativ ist eine Versorgung mit Druckerhöhungsanlagen möglich.

Orientierungsbeleuchtung und Fluchtwegkennzeichnung

In Abständen von 25 m werden auf der Wandfläche der Notausgangsseite, sog. Orientierungs- und Fluchtwegkennzeichnungen, angeordnet. Diese erzeugen im Brandfall eine helle Lichtquelle (Orientierungspunkt) und weisen über eine Entfernungsangabe den Abstand zum Notausgang bzw. Portal auf.

Betriebsgebäude

Zur Unterbringung der Steuerung und Versorgung der technischen Anlagen im Tunnel ist ein Betriebsgebäude erforderlich.

Außenstelle

Die Tunneltechnik ist in einer besetzten Außenstelle aufzuschalten. Von dort erfolgt die Überwachung und der mögliche Eingriff in Gefahrensituationen.

Die Kosten für die Technische Ausstattung des Tunnels lassen sich für die Variante 1 (Machbarkeitsstudie) wie folgt zusammenfassen:

▪ Beleuchtung	216.000 €
▪ Lüftung	144.000 €
▪ Verkehrseinrichtungen	144.000 €
▪ sicherheitstechnische Einrichtungen	864.000 €
▪ Energieversorgung	72.000 €
Gesamtsumme netto	1.440.000 €

Für die übrigen Varianten können die Kosten den jeweiligen Grobkostenschätzungen entnommen werden.

5.4.2 Betriebskosten Technische Ausstattung

Die Betriebskosten eines Tunnels werden im Wesentlichen durch die elektrotechnischen und die baulichen Unterhaltungskosten bestimmt. Für die elektrotechnischen Einrichtungen sind neben Wartung und Unterhalt maßgeblich die Stromkosten für Beleuchtung, für Lüftung und sonstige Anlagen zu berücksichtigen. Daneben muss der Tunnel auch baulich unterhalten werden, wobei Aufwendungen für die Reinigung der Tunnelwände, der Fahrbahn sowie der Entwässerung anfallen.

Die Kosten lassen sich wie folgt abschätzen:

- | | |
|---|-----------|
| ▪ Wartung und Unterhalt elektrotechnische Einrichtung | 72.000 € |
| ▪ Wartung und Unterhalt von Fahrbahn, Entwässerung u. Wände | 140.000 € |

Summe Jahresbetriebskosten netto	212.000 €
---	------------------

Eine Aufschlüsselung ist analog für die übrigen Varianten der beigefügten Grobkostenschätzungen zu entnehmen.

5.5 Gesamtkostenvergleich

Die Variante Machbarkeitsstudie beläuft sich bei einer Überprüfung der Investitionskosten auf netto 29.817.000 €.

Bei einer Berücksichtigung der Richtlinien erhöhen sich die Investitionskosten durch die Vergrößerung des Tunnelquerschnitts für einen im Schildvortrieb aufgefahrenen Tunnel auf 35.420.000 €. Wird der Tunnel dagegen in offener Bauweise errichtet, kann zum einen die Längsneigung des Tunnels reduziert und gleichzeitig die Baukosten auf 27.899.000 € verringert werden.

Bei der Kostenschätzung für die Variante der offenen Bauweise handelt es sich aufgrund der fehlenden Trassierung in Lage und Höhe um eine grobe Schätzung, so dass wir hier empfehlen, im Zuge eines Variantenvergleiches die beiden Trassen vergleichend gegenüberzustellen.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Stufe 2 der Untersuchung zur Machbarkeitsstudie wurden eine Risikobeurteilung sowie eine Prüfung der Kosten durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Untersuchungsfälle betrachtet.

Für die Risikobeurteilung wurde das Risiko der Lösung gemäß Machbarkeitsstudie (Planfall) auf Basis einer groben Ereignisbaumanalyse untersucht und mit einem Referenztunnel, der die RABT erfüllt, verglichen. Dabei zeigt sich, dass die Risiken des Planfalls um annähernd 30 % über den Risiken des Referenztunnels liegen. Insbesondere zeigt sich dass in einem Ereignisfall sehr viele Opfer zu erwarten sind, da durch den beengten Raum in Verbindung mit den starken Längsneigungen eine zügige Evakuierung nur begrenzt möglich ist.

Im Rahmen der Risikountersuchung wurde die Wirkung von Maßnahmen beurteilt. Zum einen eine elektronische Spurführung im Tunnel und zum anderen eine verbesserte Detektion eines Brandereignisses in Verbindung mit einem Querschnitt nach RABT. Es zeigt sich die Tendenz, dass sich mit beiden Maßnahmen deutliche Verbesserungen erreichen lassen, wobei die Gesamtrisiken noch ca. 13-14 % über dem des Vergleichstunnels liegen. Jedoch sind die Wirkmechanismen sehr unterschiedlich. So senkt die Spurführung annähernd ausschließlich das Kollisionsrisiko. Hohe Personenschäden im Brandfall lassen sich dadurch nicht beeinflussen. Die verbesserte Detektion wirkt sich positiv auf die zur Verfügung stehende Zeit in der Selbstrettungsphase aus.

Im Vergleich zu anderen Straßentunneln ist das Gesamtrisiko-niveau jedoch für alle Untersuchungsfälle relativ niedrig. Es liegt unter dem Niveau eines vergleichbaren IV-Tunnels, der die RABT in allen Anforderungen erfüllt. Der Unterschied ist mit dem Betriebskonzept als reiner Bustunnel und der damit verbundenen verhältnismäßig geringen Verkehrsbelastung zu erklären.

Die Überprüfung der Kosten zeigt, dass die in der Machbarkeitsstudie aufgeführten Projektkosten sehr günstig angesetzt wurden. Dies ist überwiegend darauf zurückzuführen, dass für die Kalkulation davon ausgegangen wurde, eine gebrauchte Vortriebsmaschine annähernd kostenneutral nutzen zu können und Aufwendungen für die in offener Bauweise zu erstellen den Eingangsbereiche infolge eines niedrig angesetzten Grundwasserstands zu minimieren. Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Kosten liegen mehr als doppelt so hoch. Kalkuliert man einen nach RABT erforderlichen Querschnitt, der nach der durchgeführten Risikoanalyse notwendig würde, sind die Kosten um ca. 19% höher. Daher wurde eine weitere Variante in offener Bauweise grob kalkuliert, wobei hier Trassierungsgrundlagen fehlen. Eine solche Variante zeigt die niedrigsten Projektkosten bei einer möglichen deutlichen Reduzierung der

Rampenneigungen und der Einhaltung eines nach RABT erforderlichen Querschnitts. Hinsichtlich des zu erwartenden Risikos sind bei dieser Lösung deutliche Vorteile zu erwarten, da es sich um einen nach RABT gestalteten Tunnel handelt.

Auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse aus der Risikoabschätzung ist die Tunnelvariante entsprechend der Machbarkeitsstudie ohne weitere Optimierung nicht zu empfehlen. Zusatzmaßnahmen in baulicher und technischer Hinsicht sind erforderlich, um die ermittelten Sicherheitsdefizite weitgehend zu kompensieren.

Sowohl unter dem Gesichtspunkt der Kostenreduzierung als auch der Reduzierung der Risiken in der Bauphase und der Betriebsphase bietet sich eine leicht in nördlicher Richtung verschobene alternative Tunneltrasse an, bei der der Tunnel in offener Bauweise erstellt werden kann.

Zur Lösung der Gesamtproblematik unter besonderer Berücksichtigung der Genehmigungsfähigkeit (z.B. Einvernehmen mit den privat Betroffenen und den Trägern öffentlicher Belange, Erfüllung der Randbedingungen zum Weltkulturerbe) empfehlen wir die alternative Tunneltrasse in offener Bauweise aus Kosten- und Risikogründen weiter zu verfolgen und in einer Machbarkeitsstudie die Randbedingungen einzugrenzen.

Aufgestellt:

Heidelberg, 08. April 2010



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baltzer

Literaturverzeichnis

- [1] STUVA, Herrenknecht, Ways&Freytag, derori:
Machbarkeitsstudie für eine künftige Donau-Nordarm-Tunnel-Querung für den ÖPNV
in Regensburg, Juni 2009
- [2] FGSV:
Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln
(RABT, Ausgabe 2006), Köln
- [3] FGSV:
Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RAST 06, Ausgabe 2009), Köln
- [4] FGSV:
Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs
(EAÖ, Ausgabe 2003), Köln
- [5] FGSV:
Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen (ESAS, Ausgabe 2002), Köln
- [6] DAUB:
Empfehlung zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen,
Ausgabe 1997
- [7] STUVA, Institut für barrierefreie Gestaltung und Mobilität GmbH:
FE 03.0405/2005/FRB Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Aus-
stattung und Betrieb von Straßentunneln, Bergisch Gladbach 2008
- [8] DEKRA:
Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen,
BASt, Bergisch Gladbach 2005
- [9] BUNG, PTV:
Quantitative Risikoanalyse Richard-Strauss-Tunnel München,
Stadt München Juni 2009
- [10] BUNG, BASLER, PTV:
Heft B66, Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln,
BASt, Bergisch Gladbach 2009
- [11] DESTATIS:
Unfälle von Kraftomnibussen im Straßenverkehr,
Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009

- [12] Regensburger Verkehrsverbund:
Schreiben vom 14.09.09 zur Busfrequenz durch den Bustunnel
- [13] BUNG, Donau- Nordarm-Tunnelquerung, Sicherheitsbewertung für die Lösung aus
der Machbarkeitsstudie vom Juni 2009 - Stufe 1, Stadt Regensburg Februar 2010
- [14] Informationen zu spurgeführten Bussystemen:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Spurbus>; Wikipedia 2010

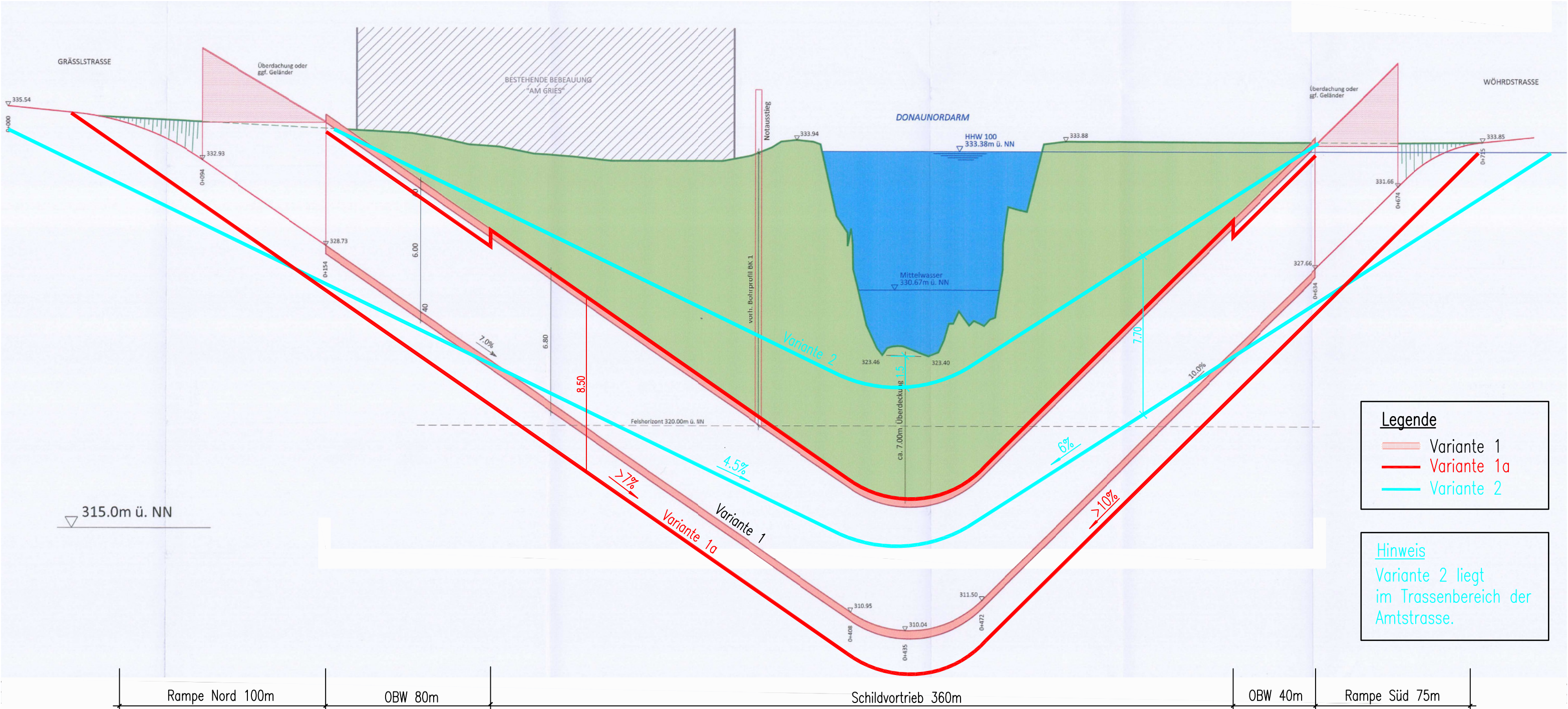
**Donau-Nordarm-Tunnelquerung
Sicherheitsbewertung für die Lösung aus der
Machbarkeitsstudie vom Juni 2009**

Stufe 2 - Risikobeurteilung und Kostenprüfung

Anhang

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersicht der Varianten im Längsschnitt
Anlage 2	Grobkostenschätzung Variante 1 (Lösung aus Machbarkeitsstudie)
Anlage 2.1	Zusammenstellung der Kosten
Anlage 2.2	Querschnitt Schildvortrieb
Anlage 2.3	Querschnitt Offene Bauweise
Anlage 2.4	Querschnitt Trog
Anlage 3	Grobkostenschätzung Variante 1a (RABT-konformer Tunnel)
Anlage 3.1	Zusammenstellung der Kosten
Anlage 3.2	Querschnitt Schildvortrieb
Anlage 3.3	Querschnitt offene Bauweise
Anlage 3.4	Querschnitt Trog
Anlage 4	Grobkostenschätzung Variante 2 (Tunnel in offener Bauweise)
Anlage 4.1	Zusammenstellung der Kosten
Anlage 4.2	Querschnitt offene Bauweise
Anlage 4.3	Querschnitt Trog
Anlage 5	Herleitung Eingangsgrößen Ereignisbäume
Anlage 5.1	Unfall
Anlage 5.2	Brand
Anlage 6	Ergebnisse
Anlage 6.1	Schadenindikator Todesopfer durch Kollision
Anlage 6.2	Schadenindikator Todesopfer durch Brand
Anlage 6.3	Schadenindikator Todesopfer - gesamt
Anlage 6.4	Monetarisierete Risiken



Legende

- Variante 1
- Variante 1a
- Variante 2

Hinweis
Variante 2 liegt im Trassenbereich der Amtstrasse.

Anlage 1	Maßstab:	–
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Übersicht Varianten im Längsschnitt		
bearb. : BUNO	Datum : März 2010	

Anlage 2

Stadt Regensburg

Donau-Nordarm-Tunnelquerung

Grobkostenschätzung

Variante 1

Schildvortrieb (Außendurchmesser 6,80 m)

(Lösung aus der Machbarkeitsstudie vom Juni 2009)

Stand März 2010

Kostenschätzung - Anlage 2.1

Bustunnel Regensburg Variante 1 - Schildvariante (Außendurchmesser = 6,80 m)

	Menge	EP	GP	
Baustelleneinrichtung				
Baustelleneinrichtung allgemein	1 psch	1.000.000 €	1.000.000 €	
Gesamtkosten Baustelleneinrichtung			1.000.000 €	1.000.000 €
Baugrube Nord				
Verbau einschl. Verankerung	2.792 m²	300 €/m²	837.600 €	
Erdaushub	10.579 m³	25 €/m³	264.480 €	
Wiederverfüllung	3.232 m³	15 €/m³	48.480 €	
Unterwasserbetonsohle	2.349 m³	140 €/m³	328.860 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	4.608 m	70 €/m	322.560 €	
Summe Baugrube Nord			1.801.980 €	
Baugrube Süd				
Verbau einschl. Verankerung	1.900 m²	300 €/m²	570.000 €	
Erdaushub	7.265 m³	25 €/m³	181.613 €	
Wiederverfüllung	2.049 m³	15 €/m³	30.729 €	
Unterwasserbetonsohle	1.501 m³	140 €/m³	210.105 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	2.944 m	70 €/m	206.080 €	
Summe Baugrube Süd			1.198.527 €	
Gesamtsumme Baugrube				3.000.507 €
Schildvortrieb				
Vortriebsabhängige Kosten				
Gehälter Bauleitung	3 Mo	110.000 €/Mo	275.000 €	
Lohnkosten Vortrieb	3 Mo	500.000 €/Mo	1.250.000 €	
Stahlbetontübbinge	2.895 m³	553 €/m³	1.600.714 €	
Ringspaltverpressung	1.380 m³	145 €/m³	200.172 €	
Ausbruch (Förderung, Separation, Deponierung)	2.574 m³	25 €/m³	64.350 €	
Reparatur / Betriebskosten / Verschleiß	360 m	750 €/m	270.000 €	
Energiekosten	1.109.510 kWh	0,15 €/kWh	166.426 €	
Summe vortriebsabhängige Kosten			3.826.662 €	
Pauschale Kosten				
Schildmaschine (incl. Nachläufer etc.)	1 St	8.580.000 €/St	8.580.000 €	
Gehälter Bauleitung	10 Mo	55.000 €/Mo	522.500 €	
Geotechnisches Messprogramm	1 psch	450.000 €	450.000 €	
Einrichtung Startschacht	1 psch	223.234 €	223.234 €	
Einrichtung Zielschacht	1 psch	159.000 €	159.000 €	
Auf- und Abbau Schildmaschine	1 psch	1.095.000 €	1.095.000 €	
Summe pauschale Kosten			11.029.734 €	
Sondermaßnahmen				
Dichtblock Schildeinfahrt	1.729 m³	350 €/m³	605.229 €	
Dichtblock Schildausfahrt	1.729 m³	350 €/m³	605.229 €	
Übergangskonstruktion Tübbing-OBW	2 psch	100.000 €	200.000 €	
Gebäudesicherungsmaßnahmen	948 m³	350 €/m³	331.929 €	
Summe Sondermaßnahmen			1.742.386 €	
Baustelleneinrichtung	1 psch	1.000.000 €	1.000.000 €	
Gesamtsumme Schildvortrieb				17.598.782 €
Beton- und Stahlbetonarbeiten Tunnel (OBW Nord)				
Tunneldecke	590 m³	250 €/m³	147.400 €	
Wände	704 m³	250 €/m³	176.000 €	
Bodenplatte	590 m³	250 €/m³	147.400 €	
Betonstahl	263,6 t	700 €/t	184.554 €	
Summe Tunnel (OBW Nord)			655.354 €	
Tunnel (OBW Süd)				
Tunneldecke	295 m³	250 €/m³	73.700 €	
Wände	352 m³	250 €/m³	88.000 €	
Bodenplatte	295 m³	250 €/m³	73.700 €	
Betonstahl	131,8 t	700 €/t	92.277 €	
Summe Tunnel (OBW Süd)			327.677 €	
Trog (Nord)				
Wände	400 m³	250 €/m³	100.000 €	
Bodenplatte	737 m³	250 €/m³	184.250 €	
Betonstahl	159,2 t	700 €/t	111.426 €	
Summe Trog (Nord)			395.676 €	

Kostenschätzung - Anlage 2.1

Bustunnel Regensburg Variante 1 - Schildvariante (Außendurchmesser = 6,80 m)

	Menge	EP	GP	
Trog (Süd)				
Wände	516 m³	250 €/m³	129.000 €	
Bodenplatte	553 m³	250 €/m³	138.188 €	
Betonstahl	149,6 t	700 €/t	104.738 €	
Summe Trog (Süd)			371.925 €	
Gesamtsumme Beton- u. Stahlbetonarbeiten				1.750.631 €
Entwässerung				
Tunnel Schildvortrieb				
TLE DN 400, Guss	360 m	250 €/m	90.000 €	
Sohldrainage DN 160	360 m	60 €/m	21.600 €	
Auffangschächte Tunnel	8 St	1.500 €/St	12.000 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	8 St	1.950 €/St	15.600 €	
Schlitzrinne	360 m	180 €/m	64.800 €	
Summe Tunnel Schildvortrieb			204.000 €	
Tunnel (OBW Nord + Süd)				
TLE DN 400, Guss	120 m	250 €/m	30.000 €	
Sohldrainage DN 160	120 m	60 €/m	7.200 €	
Auffangschächte Tunnel	1 St	1.500 €/St	1.500 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	1 St	1.950 €/St	1.950 €	
Schlitzrinne	120 m	180 €/m	21.600 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			62.250 €	
Trog (Nord + Süd)				
TLE DN 400, Guss	175 m	250 €/m	43.750 €	
Sohldrainage DN 160	175 m	60 €/m	10.500 €	
Auffangschächte Tunnel	3 St	1.500 €/St	4.500 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	3 St	1.950 €/St	5.850 €	
Schlitzrinne	175 m	180 €/m	31.500 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			96.100 €	
Gesamtsumme Entwässerung				362.350 €
Löschwasser				
Tunnel Schildvortrieb				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	360 m	135 €/m	48.600 €	
Blockfugenübergänge				
Überflurhydrant einschl. Anschlussleitung	3 St	3.850 €/St	11.550 €	
Spülschacht einschl. Abdeckung u. Entleerung	3 St	2.900 €/St	8.700 €	
Summe Tunnel Schildvortrieb			68.850 €	
Tunnel (OBW Nord + Süd)				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	120 m	135 €/m	16.200 €	
Blockfugenübergänge				
Überflurhydrant einschl. Anschlussleitung	1 St	3.850 €/St	3.850 €	
Spülschacht einschl. Abdeckung u. Entleerung	1 St	2.900 €/St	2.900 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			22.950 €	
Trog (Nord + Süd)				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	175 m	135 €/m	23.625 €	
Blockfugenübergänge				
Summe Trog (Nord + Süd)			23.625 €	
Gesamtsumme Löschwasser				115.425 €
Innenausbau				
Notgehwege Tunnel Schildvortrieb				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	347 m³	120 €/m³	41.580 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	126 m³	185 €/m³	23.310 €	
Betonstahl Kappe	16,4 t	800 €/t	13.104 €	
Fundamentanker einschl. Anschluss	360 m	4 €/m	1.440 €	
Deckschicht 4 cm	1.116 m²	19 €/m²	21.204 €	
Binderschicht 8 cm	1.116 m²	17 €/m²	18.972 €	
Tragschicht 16 cm	1.116 m²	16 €/m²	17.856 €	
Schottertragschicht 22 cm	249 m³	30 €/m³	7.484 €	
Mineralgemisch	818 m³	25 €/m³	20.441 €	
Summe Tunnel Schildvortrieb			165.392 €	

Kostenschätzung - Anlage 2.1

Bustunnel Regensburg Variante 1 - Schildvariante (Außendurchmesser = 6,80 m)

	Menge	EP	GP	
Notgehwege (OBW Nord + Süd)				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	209 m³	120 €/m³	25.020 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	42 m³	185 €/m³	7.770 €	
Betonstahl Kappe	5,5 t	800 €/t	4.368 €	
Fundamente der einschl. Anschluss	120 m	4 €/m	480 €	
Deckschicht 4 cm	372 m²	19 €/m²	7.068 €	
Binderschicht 8 cm	372 m²	17 €/m²	6.324 €	
Tragschicht 16 cm	372 m²	16 €/m²	5.952 €	
Schottertragschicht 22 cm	82 m³	30 €/m²	2.455 €	
Mineralgemisch	126 m³	25 €/m³	3.162 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			62.599 €	
Notgehwege Trog (Nord + Süd)				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	304 m³	120 €/m³	36.488 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	61 m³	185 €/m³	11.331 €	
Betonstahl Kappe	8,0 t	800 €/t	6.370 €	
Fundamente der einschl. Anschluss	175 m	4 €/m	700 €	
Deckschicht 4 cm	543 m²	19 €/m²	10.308 €	
Binderschicht 8 cm	543 m²	17 €/m²	9.223 €	
Tragschicht 16 cm	543 m²	16 €/m²	8.680 €	
Schottertragschicht 22 cm	119 m³	30 €/m²	3.581 €	
Mineralgemisch	184 m³	25 €/m³	4.611 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			91.291 €	
Gesamtsumme Innenausbau				319.281 €
Abdichtung				
Tunnel (OBW Nord + Süd)				
Fugenband innen Tunnel	298 m	50 €/m	14.880 €	
Fugenabschlussband Tunnel	252 m	30 €/m	7.560 €	
Fugeneinlage	306 m²	15 €/m²	4.594 €	
Fugenblech	480 m	10 €/m	4.800 €	
Injektionsschlauch	480 m	12 €/m	5.760 €	
Fugenverguss	142 m	10 €/m	1.416 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			39.010 €	
Trog (Nord + Süd)				
Fugenband innen Tunnel	225 m	50 €/m	11.250 €	
Fugenabschlussband Tunnel	286 m	30 €/m	8.586 €	
Fugeneinlage	161 m²	15 €/m²	2.422 €	
Fugenblech	350 m	10 €/m	3.500 €	
Injektionsschlauch	350 m	12 €/m	4.200 €	
Fugenverguss	92 m	10 €/m	918 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			30.876 €	
Gesamtsumme Abdichtung				69.885 €
Fluchttreppenhaus				
Baugrube				
Verbau einschl. Verankerung	841 m²	400 €/m²	336.384 €	
Erdaushub	1.926 m³	25 €/m³	48.154 €	
Wiederverfüllung	667 m³	15 €/m³	10.010 €	
Unterwasserbetonsohle	138 m³	140 €/m³	19.354 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	256 m	70 €/m	17.920 €	
Summe Baugrube			431.822 €	
Beton- und Stahlbetonarbeiten				
Wände	309 m³	250 €/m³	77.280 €	
Bodenplatte	58 m³	250 €/m³	14.440 €	
Betonstahl	51,4 t	700 €/t	35.954 €	
Summe Beton- und Stahlbetonarbeiten			127.674 €	
Innenausbau				
Fluchttür	1 St	6.000 €/St	6.000 €	
Treppen und Podeste	36 m³	800 €/m³	28.800 €	
Geländer	35 m³	150 €/m	5.175 €	
Summe Innenausbau			39.975 €	
Ausgang an Geländeoberfläche	1 psch	60.000 €	60.000 €	
Gesamtsumme Fluchttreppenhaus				659.471 €

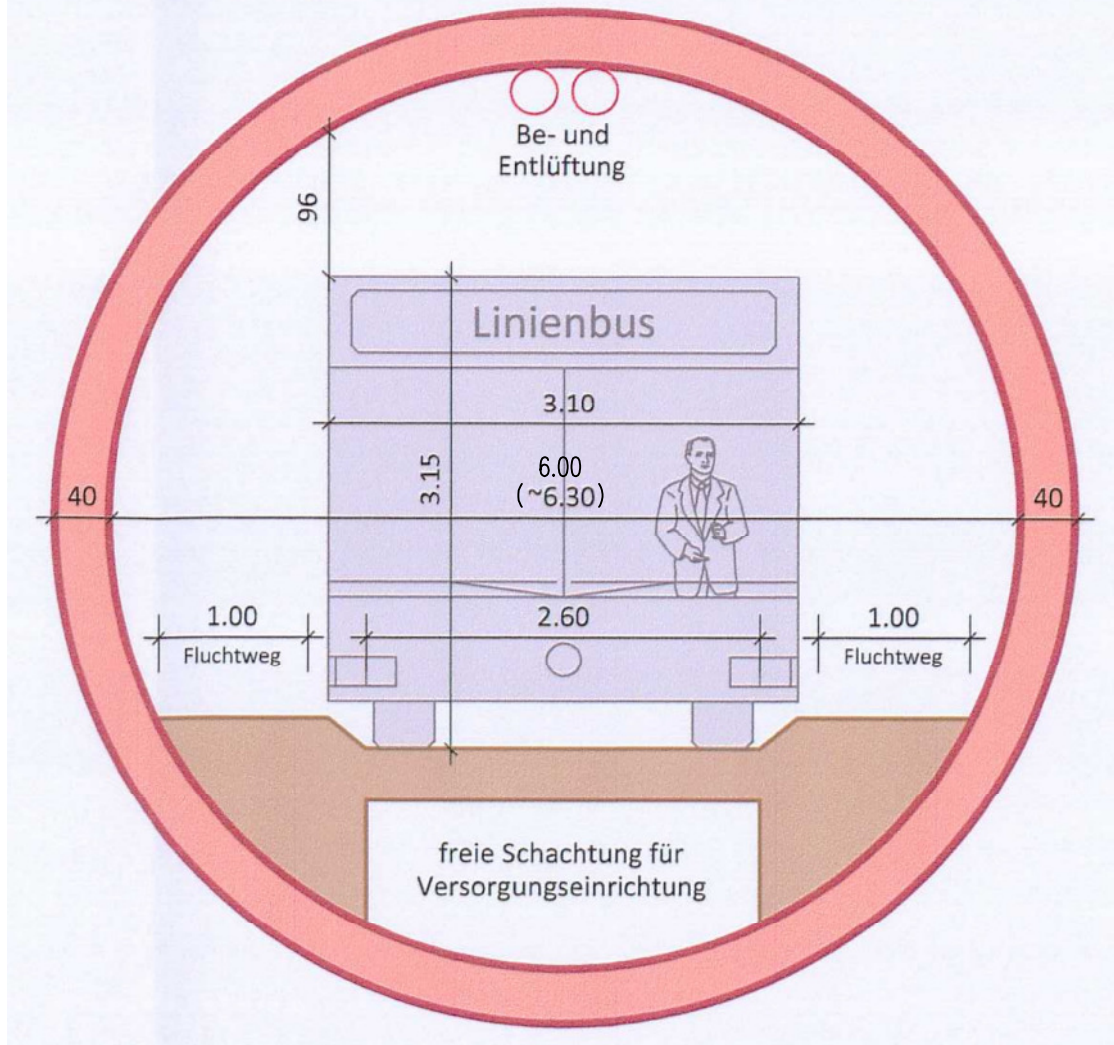
Kostenschätzung - Anlage 2.1

Bustunnel Regensburg Variante 1 - Schildvariante (Außendurchmesser = 6,80 m)

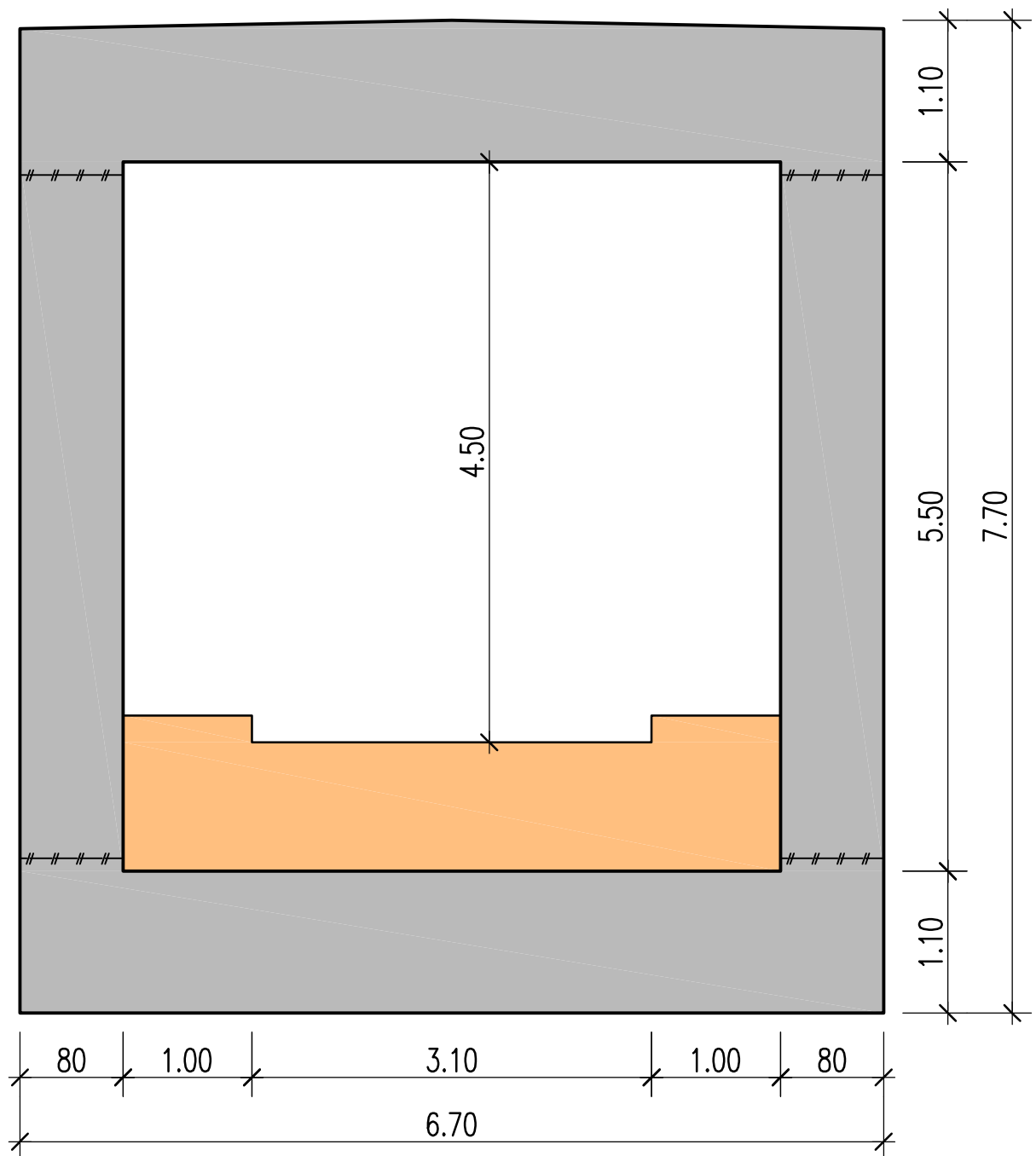
	Menge	EP	GP	
Betriebstechnik				
Tunnel (Schildvortrieb und OBW Nord + Süd))				
Beleuchtung	1 psch	216.000 €	216.000 €	
Lüftung	1 psch	144.000 €	144.000 €	
Verkehrseinrichtungen	1 psch	144.000 €	144.000 €	
Sicherheitstechnische Einrichtungen	1 psch	864.000 €	864.000 €	
Energieversorgung	1 psch	72.000 €	72.000 €	
Summe Tunnel			1.440.000 €	
Gesamtsumme Betriebstechnik				1.440.000 €
Ingenieurplanung				
Ingenieurplanung	1 psch	1.000.000 €	1.000.000 €	
Gesamtkosten Ingenieurplanung			1.000.000 €	1.000.000 €
Sonstiges				
Sonstiges allgemein	1 psch	2.500.000 €	2.500.000 €	
Gesamtkosten Sonstiges			2.500.000 €	2.500.000 €
Gesamtsumme (netto)				29.816.332 €
Zuschlag für Mehrwertsteuer 19%				5.665.103 €
Gesamtsumme (brutto)				35.481.436 €

Betriebskosten pro Jahr				
Elektrotechnik	480 m	150 €/m	72.000 €	
Bauliche Unterhaltung	1 psch	140.000 €	140.000 €	
Summe Betriebskosten pro Jahr			212.000 €	
Gesamtsumme Betriebskosten pro Jahr				212.000 €

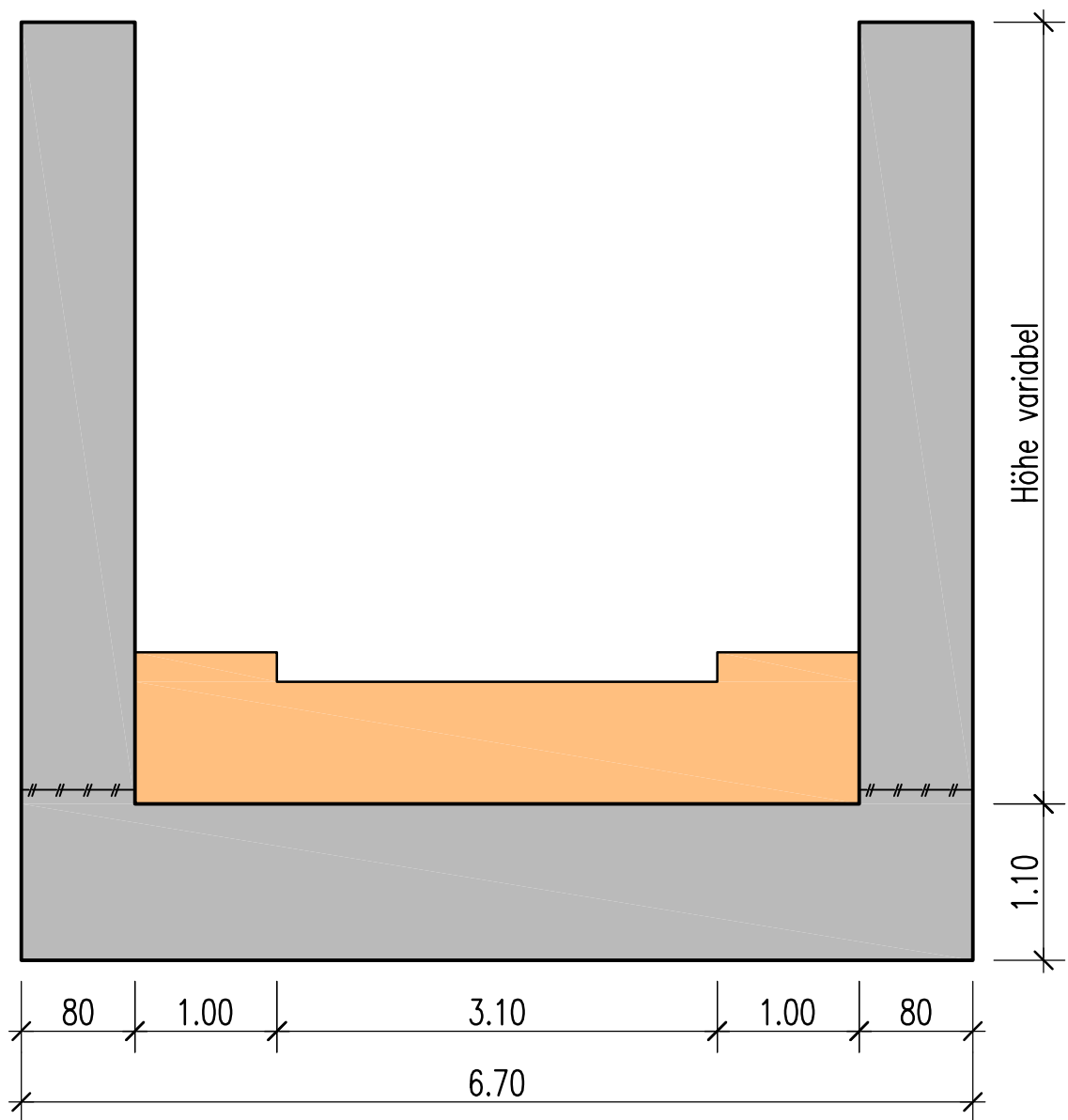
BUS-TUNNEL



Anlage 2.2	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 1 Schildvortrieb		
bearb. : BUNO	Datum : März 2010	



Anlage 2.3	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 1 Offene Bauweise		
bearb. :	BUNG	Datum : März 2010



Anlage 2.4	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 1 Trog		
bearb. :	BUNG	Datum : März 2010

Anlage 3

Stadt Regensburg

Donau-Nordarm-Tunnelquerung

Grobkostenschätzung

Variante 1a

Schildvortrieb (Außendurchmesser 8,50 m)

Stand März 2010

Kostenschätzung - Anlage 3.1

Bustunnel Regensburg Variante 1a - Schildvariante angepasster Querschnitt (Außendurchmesser = 8,50 m)

	Menge	EP	GP	
Baustelleneinrichtung				
Baustelleneinrichtung	1 psch	1.500.000 €	1.500.000 €	
Gesamtkosten Baustelleneinrichtung			1.500.000 €	1.500.000 €
Baugrube Nord				
Verbau einschl. Verankerung	3.620 m²	300 €/m²	1.086.000 €	
Erdaushub	16.362 m³	25 €/m³	409.050 €	
Wiederverfüllung	4.290 m³	15 €/m³	64.350 €	
Unterwasserbetonsohle	2.879 m³	140 €/m³	402.990 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	4.864 m	70 €/m	340.480 €	
Summe Baugrube Nord			2.302.870 €	
Baugrube Süd				
Verbau einschl. Verankerung	2.230 m²	300 €/m²	669.000 €	
Erdaushub	9.999 m³	25 €/m³	249.975 €	
Wiederverfüllung	2.320 m³	15 €/m³	34.797 €	
Unterwasserbetonsohle	1.894 m³	140 €/m³	265.125 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	3.200 m	70 €/m	224.000 €	
Summe Baugrube Süd			1.442.897 €	
Gesamtsumme Baugrube				3.745.767 €
Schildvortrieb				
Vortriebsabhängige Kosten				
Gehälter Bauleitung	3 Mo	110.000 €/Mo	275.000 €	
Lohnkosten Vortrieb	3 Mo	500.000 €/Mo	1.250.000 €	
Stahlbetontübbinge	3.664 m³	548 €/m³	2.006.779 €	
Ringspaltverpressung	1.717 m³	145 €/m³	248.959 €	
Ausbruch (Förderung, Separation, Deponierung)	3.186 m³	25 €/m³	79.650 €	
Reparatur / Betriebskosten / Verschleiß	360 m	750 €/m	270.000 €	
Energiekosten	1.540.184 kWh	0,15 €/kWh	231.028 €	
Summe vortriebsabhängige Kosten			4.361.415 €	
Pauschale Kosten				
Schildmaschine (incl. Nachläufer etc.)	1 St	10.620.000 €/St	10.620.000 €	
Gehälter Bauleitung	10 Mo	55.000 €/Mo	522.500 €	
Geotechnisches Messprogramm	1 psch	450.000 €	450.000 €	
Einrichtung Startschacht	1 psch	258.483 €	258.483 €	
Einrichtung Zielschacht	1 psch	179.500 €	179.500 €	
Auf- und Abbau Schildmaschine	1 psch	1.095.000 €	1.095.000 €	
Summe pauschale Kosten			13.125.483 €	
Sondermaßnahmen				
Dichtblock Schildeinfahrt	2.205 m³	350 €/m³	771.829 €	
Dichtblock Schildausfahrt	2.205 m³	350 €/m³	771.829 €	
Übergangskonstruktion Tübbing-OBW	2 psch	100.000 €	200.000 €	
Gebäudesicherungsmaßnahmen	1.149 m³	350 €/m³	402.026 €	
Summe Sondermaßnahmen			2.145.683 €	
Baustelleneinrichtung	1 psch	1.000.000 €	1.000.000 €	
Gesamtsumme Schildvortrieb				20.632.582 €
Beton- und Stahlbetonarbeiten Tunnel (OBW Nord)				
Tunneldecke	713 m³	250 €/m³	178.200 €	
Wände	704 m³	250 €/m³	176.000 €	
Bodenplatte	713 m³	250 €/m³	178.200 €	
Betonstahl	298,1 t	700 €/t	208.701 €	
Summe Tunnel (OBW Nord)			741.101 €	
Tunnel (OBW Süd)				
Tunneldecke	356 m³	250 €/m³	89.100 €	
Wände	352 m³	250 €/m³	88.000 €	
Bodenplatte	356 m³	250 €/m³	89.100 €	
Betonstahl	149,1 t	700 €/t	104.350 €	
Summe Tunnel (OBW Süd)			370.550 €	
Trog (Nord)				
Wände	792 m³	250 €/m³	198.000 €	
Bodenplatte	980 m³	250 €/m³	245.025 €	
Betonstahl	248,1 t	700 €/t	173.666 €	
Summe Trog (Nord)			616.691 €	

Kostenschätzung - Anlage 3.1

Bustunnel Regensburg Variante 1a - Schildvariante angepasster Querschnitt (Außendurchmesser = 8,50 m)

	Menge	EP	GP	
Trog (Süd)				
Wände	612 m³	250 €/m³	153.000 €	
Bodenplatte	757 m³	250 €/m³	189.338 €	
Betonstahl	191,7 t	700 €/t	134.196 €	
Summe Trog (Nord)			476.534 €	
Gesamtsumme Beton- u. Stahlbetonarbeiten				2.204.876 €
Entwässerung				
Tunnel Schildvortrieb				
TLE DN 400, Guss	360 m	250 €/m	90.000 €	
Sohldrainage DN 160	360 m	60 €/m	21.600 €	
Auffangschächte Tunnel	8 St	1.500 €/St	12.000 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	8 St	1.950 €/St	15.600 €	
Schlitzrinne	360 m	180 €/m	64.800 €	
Summe Tunnel Schildvortrieb			204.000 €	
Tunnel (OBW Nord + Süd)				
TLE DN 400, Guss	120 m	250 €/m	30.000 €	
Sohldrainage DN 160	120 m	60 €/m	7.200 €	
Auffangschächte Tunnel	1 St	1.500 €/St	1.500 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	1 St	1.950 €/St	1.950 €	
Schlitzrinne	120 m	180 €/m	21.600 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			62.250 €	
Trog (Nord + Süd)				
TLE DN 400, Guss	195 m	250 €/m	48.750 €	
Sohldrainage DN 160	195 m	60 €/m	11.700 €	
Auffangschächte Tunnel	1 St	1.500 €/St	1.500 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	1 St	1.950 €/St	1.950 €	
Schlitzrinne	195 m	180 €/m	35.100 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			99.000 €	
Gesamtsumme Entwässerung				365.250 €
Löschwasser				
Tunnel Schildvortrieb				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	360 m	135 €/m	48.600 €	
Blockfugenübergänge				
Überflurhydrant einschl. Anschlussleitung	3 St	3.850 €/St	11.550 €	
Spülschacht einschl. Abdeckung u. Entleerung	3 St	2.900 €/St	8.700 €	
Summe Tunnel Schildvortrieb			68.850 €	
Tunnel (OBW Nord + Süd)				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	120 m	135 €/m	16.200 €	
Blockfugenübergänge				
Überflurhydrant einschl. Anschlussleitung	1 St	3.850 €/St	3.850 €	
Spülschacht einschl. Abdeckung u. Entleerung	1 St	2.900 €/St	2.900 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			22.950 €	
Trog (Nord + Süd)				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	195 m	135 €/m	26.325 €	
Blockfugenübergänge				
Summe Trog (Nord + Süd)			26.325 €	
Gesamtsumme Löschwasser				118.125 €
Innenausbau				
Notgehwege Tunnel Schildvortrieb				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	450 m³	120 €/m³	54.000 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	198 m³	185 €/m³	36.630 €	
Betonstahl Kappe	25,7 t	800 €/t	20.592 €	
Fundament der einschl. Anschluss	360 m	4 €/m	1.440 €	
Deckschicht 4 cm	1.224 m²	19 €/m²	23.256 €	
Binderschicht 8 cm	1.224 m²	17 €/m²	20.808 €	
Tragschicht 16 cm	1.224 m²	16 €/m²	19.584 €	
Schottertragschicht 22 cm	249 m³	30 €/m³	7.484 €	
Mineralgemisch	818 m³	25 €/m³	20.441 €	
Summe Tunnel Schildvortrieb			204.236 €	

Kostenschätzung - Anlage 3.1

Bustunnel Regensburg Variante 1a - Schildvariante angepasster Querschnitt (Außendurchmesser = 8,50 m)

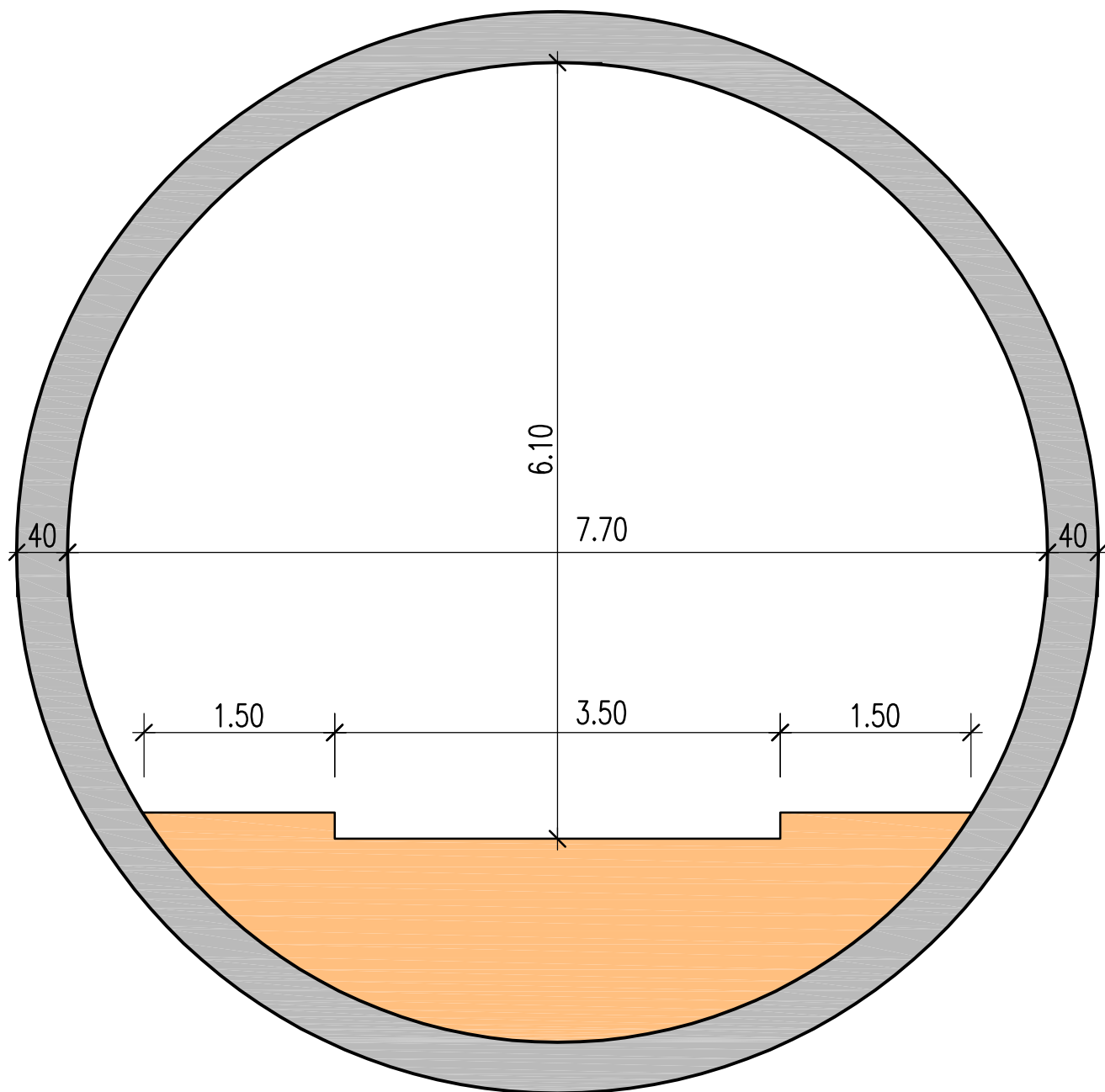
	Menge	EP	GP	
Notgehwege Tunnel (OBW Nord + Süd)				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	314 m³	120 €/m³	37.620 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	66 m³	185 €/m³	12.210 €	
Betonstahl Kappe	8,6 t	800 €/t	6.864 €	
Fundamente der einschl. Anschluss	120 m	4 €/m	480 €	
Deckschicht 4 cm	420 m²	19 €/m²	7.980 €	
Binderschicht 8 cm	420 m²	17 €/m²	7.140 €	
Tragschicht 16 cm	420 m²	16 €/m²	6.720 €	
Schottertragschicht 22 cm	92 m³	30 €/m³	2.772 €	
Mineralgemisch	143 m³	25 €/m³	3.570 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			85.356 €	
Notgehwege Trog (Nord + Süd)				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	509 m³	120 €/m³	61.133 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	107 m³	185 €/m³	19.841 €	
Betonstahl Kappe	13,9 t	800 €/t	11.154 €	
Fundamente der einschl. Anschluss	195 m	4 €/m	780 €	
Deckschicht 4 cm	683 m²	19 €/m²	12.968 €	
Binderschicht 8 cm	683 m²	17 €/m²	11.603 €	
Tragschicht 16 cm	683 m²	16 €/m²	10.920 €	
Schottertragschicht 22 cm	150 m³	30 €/m³	4.505 €	
Mineralgemisch	232 m³	25 €/m³	5.801 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			138.704 €	
Gesamtsumme Innenausbau				428.295 €
Abdichtung				
Tunnel (OBW Nord + Süd)				
Fugenband innen Tunnel	330 m	50 €/m	16.500 €	
Fugenabschlussband Tunnel	286 m	30 €/m	8.568 €	
Fugeneinlage	356 m²	15 €/m²	5.333 €	
Fugenblech	480 m	10 €/m	4.800 €	
Injektionsschlauch	480 m	12 €/m	5.760 €	
Fugenverguss	175 m	10 €/m	1.752 €	
Summe Tunnel (OBW Nord + Süd)			42.713 €	
Trog (Nord + Süd)				
Fugenband innen Tunnel	325 m	50 €/m	16.250 €	
Fugenabschlussband Tunnel	310 m	30 €/m	9.300 €	
Fugeneinlage	200 m²	15 €/m²	3.002 €	
Fugenblech	390 m	10 €/m	3.900 €	
Injektionsschlauch	390 m	12 €/m	4.680 €	
Fugenverguss	130 m	10 €/m	1.300 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			38.432 €	
Gesamtsumme Abdichtung				81.145 €
Fluchttreppenhaus				
Baugrube				
Verbau einschl. Verankerung	906 m²	400 €/m²	362.496 €	
Erdaushub	2.083 m³	25 €/m³	52.070 €	
Wiederverfüllung	726 m³	15 €/m³	10.888 €	
Unterwasserbetonsohle	138 m³	140 €/m³	19.354 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	256 m	70 €/m	17.920 €	
Summe Baugrube			462.728 €	
Beton- und Stahlbetonarbeiten				
Wände	338 m³	250 €/m³	84.420 €	
Bodenplatte	58 m³	250 €/m³	14.440 €	
Betonstahl	55,4 t	700 €/t	38.753 €	
Summe Beton- und Stahlbetonarbeiten			137.613 €	
Innenausbau				
Fluchttür	1 St	6.000 €/St	6.000 €	
Treppen und Podeste	39 m³	800 €/m³	31.200 €	
Geländer	38 m³	150 €/m	5.625 €	
Summe Innenausbau			42.825 €	
Ausgang an Geländeoberfläche	1 psch	60.000 €/m²	60.000 €	
Gesamtsumme Fluchttreppenhaus				703.166 €

Kostenschätzung - Anlage 3.1

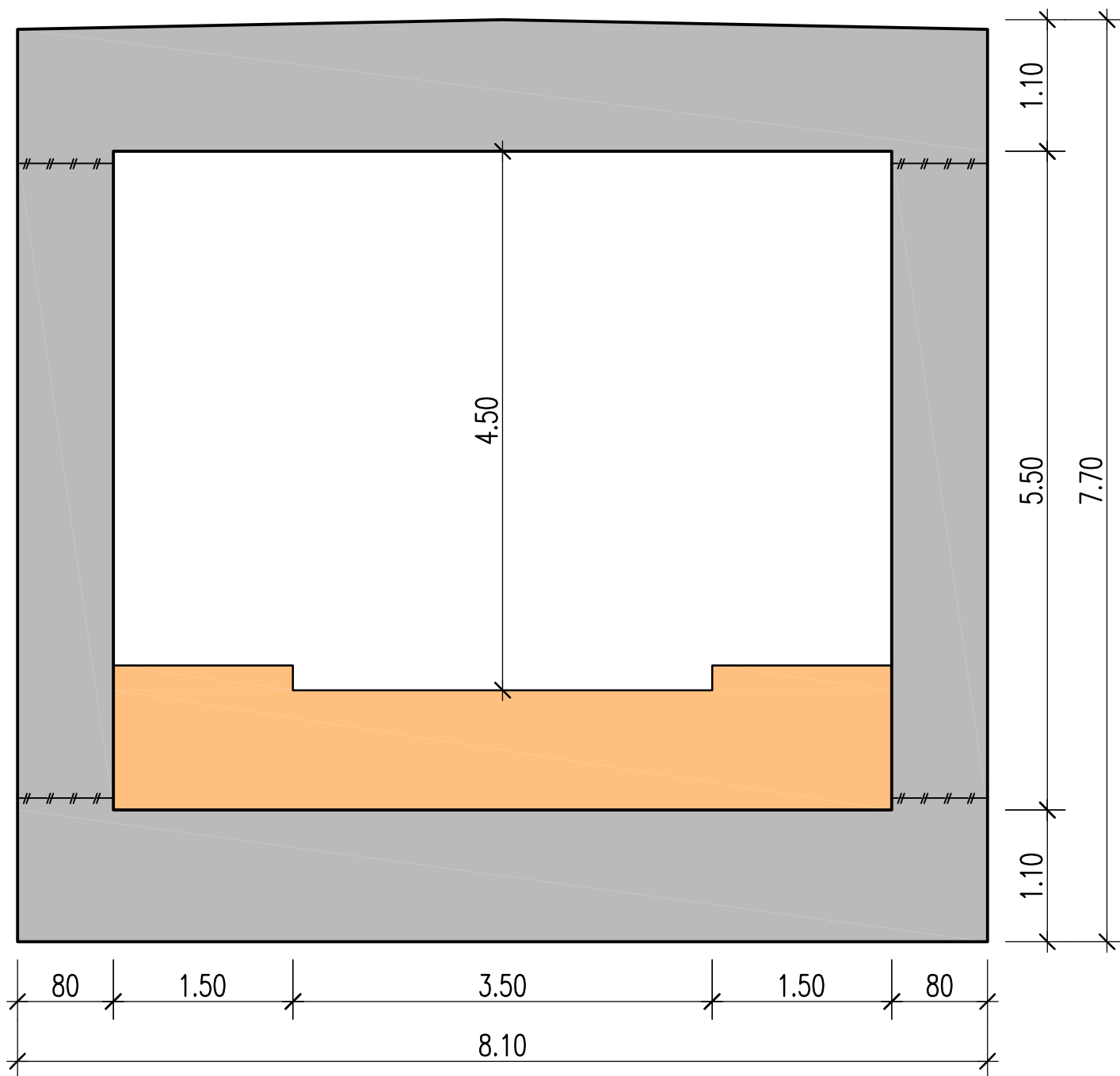
Bustunnel Regensburg Variante 1a - Schildvariante angepasster Querschnitt (Außendurchmesser = 8,50 m)

	Menge	EP	GP	
Betriebstechnik				
Tunnel (Schildvortrieb und OBW Nord + Süd))				
Beleuchtung	1 psch	216.000 €	216.000 €	
Lüftung	1 psch	144.000 €	144.000 €	
Verkehrseinrichtungen	1 psch	144.000 €	144.000 €	
Sicherheitstechnische Einrichtungen	1 psch	864.000 €	864.000 €	
Energieversorgung	1 psch	72.000 €	72.000 €	
Summe Tunnel			1.440.000 €	
Gesamtsumme Betriebstechnik				1.440.000 €
Ingenieurplanung				
Ingenieurplanung	1 psch	1.200.000 €	1.200.000 €	
Gesamtkosten Ingenieurplanung			1.200.000 €	1.200.000 €
Sonstiges				
Sonstiges allgemein	1 psch	3.000.000 €	3.000.000 €	
Gesamtkosten Sonstiges			3.000.000 €	3.000.000 €
Gesamtsumme (netto)				35.419.206 €
Zuschlag für Mehrwertsteuer 19%				6.729.649 €
Gesamtsumme (brutto)				42.148.855 €

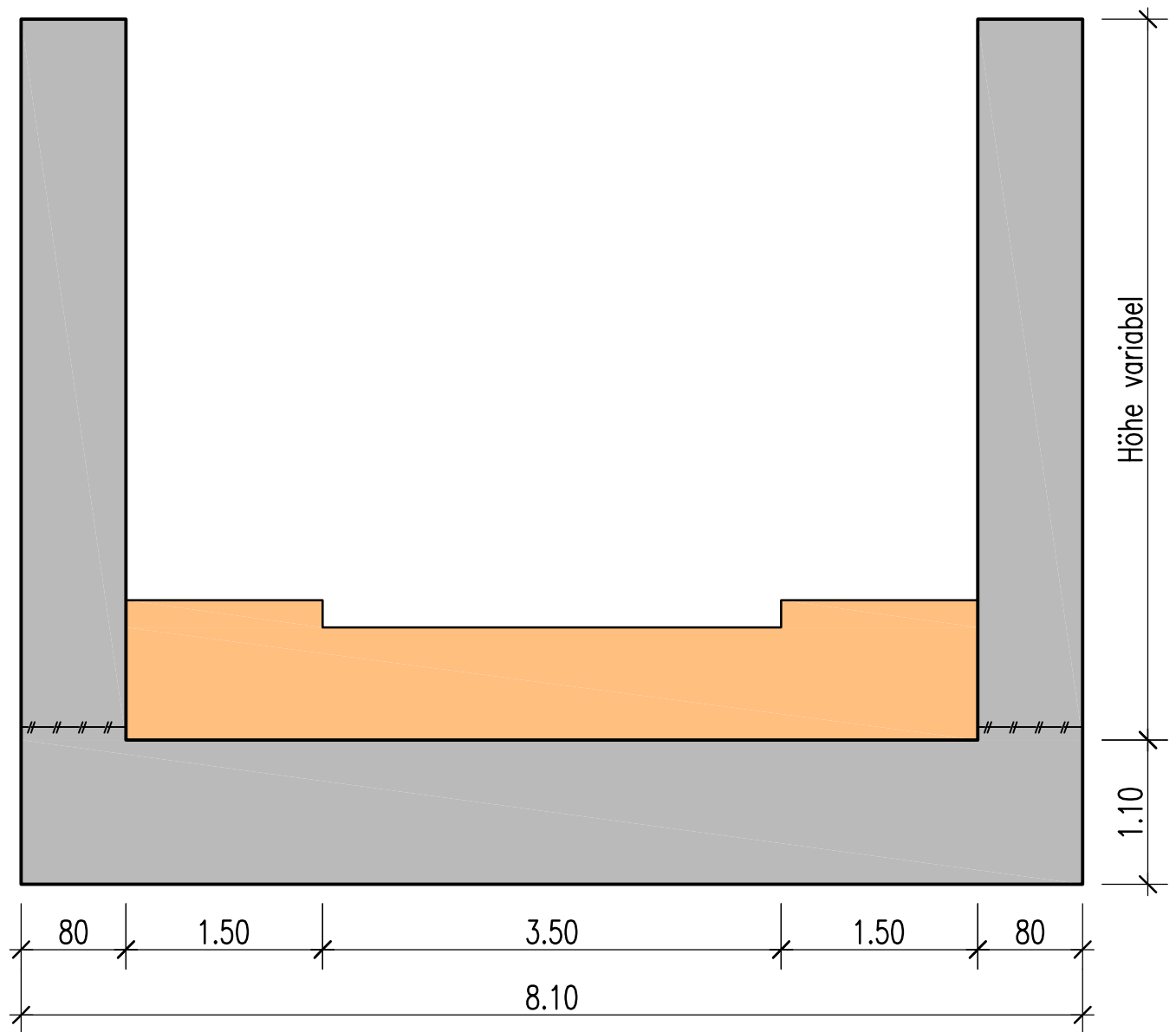
Betriebskosten pro Jahr				
Elektrotechnik	480 m	150 €/m	72.000 €	
Bauliche Unterhaltung	1 psch	160.000 €	160.000 €	
Summe Betriebskosten pro Jahr			232.000 €	
Gesamtsumme Betriebskosten pro Jahr				232.000 €



Anlage 3.2	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 1a Schildvortrieb		
bearb. : BUNO	Datum : März 2010	



Anlage 3.3	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 1a Offene Bauweise		
bearb. : BUNG	Datum : März 2010	



Anlage 3.4	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 1a Trog		
bearb. : BUNG	Datum : März 2010	

Anlage 4

Stadt Regensburg

Donau-Nordarm-Tunnelquerung

Grobkostenschätzung

Variante 2

Alternativtrasse in offener Bauweise (lichte Breite = 6,50 m)

Stand März 2010

Kostenschätzung - Anlage 4.1

Bustunnel Regenbug Variante 2 - Alternativtrasse in OBW (lichte Breite = 6,50 m)

	Menge	EP	GP	
Baustelleneinrichtung				
Baustelleneinrichtung	1 psch	2.000.000 €	2.000.000 €	
Gesamtkosten Baustelleneinrichtung			2.000.000 €	2.000.000 €
Baugrube Tunnel OBW				
Verbau einschl. Verankerung (Bereich Donau)	6.033 m ²	400 €/m ²	2.413.312 €	
Verbau einschl. Verankerung (sonstige Bereiche)	10.156 m ²	350 €/m ²	3.554.600 €	
Erdaushub	68.512 m ³	25 €/m ³	1.712.809 €	
Wiederverfüllung	28.688 m ³	15 €/m ³	430.313 €	
Unterwasserbetonsohle	7.727 m ³	140 €/m ³	1.081.710 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	13.056 m	70 €/m	913.920 €	
Herstellung Querschott	1 psch	100.000 €	100.000 €	
Baugrube lenzen	1 psch	300.000 €	300.000 €	
Wasserhaltung Bauzeit	1 psch	250.000 €	250.000 €	
Summe Baugrube Tunnel			10.756.664 €	
Baugrube Trog Nord				
Verbau einschl. Verankerung	2.100 m ²	300 €/m ²	630.000 €	
Erdaushub	9.090 m ³	25 €/m ³	227.250 €	
Wiederverfüllung	1.350 m ³	15 €/m ³	20.250 €	
Unterwasserbetonsohle	227 m ³	140 €/m ³	31.815 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	3.840 m	70 €/m	268.800 €	
Summe Baugrube Nord			1.178.115 €	
Baugrube Trog Süd				
Verbau einschl. Verankerung	1.425 m ²	300 €/m ²	427.500 €	
Erdaushub	6.237 m ³	25 €/m ³	155.919 €	
Wiederverfüllung	950 m ³	15 €/m ³	14.250 €	
Unterwasserbetonsohle	1.439 m ³	140 €/m ³	201.495 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	2.432 m	70 €/m	170.240 €	
Summe Baugrube Trog Süd			969.404 €	
Gesamtsumme Baugrube				12.904.183 €
Beton- und Stahlbetonarbeiten Tunnel (OBW)				
Tunneldecke	4.544 m ³	250 €/m ³	1.136.025 €	
Wände	4.488 m ³	250 €/m ³	1.122.000 €	
Bodenplatte	4.544 m ³	250 €/m ³	1.136.025 €	
Betonstahl	1.900,7 t	700 €/t	1.330.468 €	
Summe Tunnel (OBW)			4.724.518 €	
Trog (Nord)				
Wände	1.080 m ³	250 €/m ³	270.000 €	
Bodenplatte	1.337 m ³	250 €/m ³	334.125 €	
Betonstahl	338,3 t	700 €/t	236.817 €	
Summe Trog (Nord)			840.942 €	
Trog (Süd)				
Wände	760 m ³	250 €/m ³	190.000 €	
Bodenplatte	846 m ³	250 €/m ³	211.613 €	
Betonstahl	224,9 t	700 €/t	157.432 €	
Summe Trog (Süd)			559.045 €	
Gesamtsumme Beton- u. Stahlbetonarbeiten				6.124.504 €
Entwässerung Tunnel (OBW)				
TLE DN 400, Guss	510 m	250 €/m	127.500 €	
Sohldrainage DN 160	510 m	60 €/m	30.600 €	
Auffangschächte Tunnel	11 St	1.500 €/St	16.500 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	11 St	1.950 €/St	21.450 €	
Schlitzrinne	510 m	180 €/m	91.800 €	
Summe Tunnel (OBW)			287.850 €	
Trog (Nord + Süd)				
TLE DN 400, Guss	245 m	250 €/m	61.250 €	
Sohldrainage DN 160	245 m	60 €/m	14.700 €	
Auffangschächte Tunnel	4 St	1.500 €/St	6.000 €	
Tauchwandschacht mit Anschluss	4 St	1.950 €/St	7.800 €	
Schlitzrinne	245 m	180 €/m	44.100 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			133.850 €	
Gesamtsumme Entwässerung				421.700 €

Kostenschätzung - Anlage 4.1

Bustunnel Regenburg Variante 2 - Alternativtrasse in OBW (lichte Breite = 6,50 m)

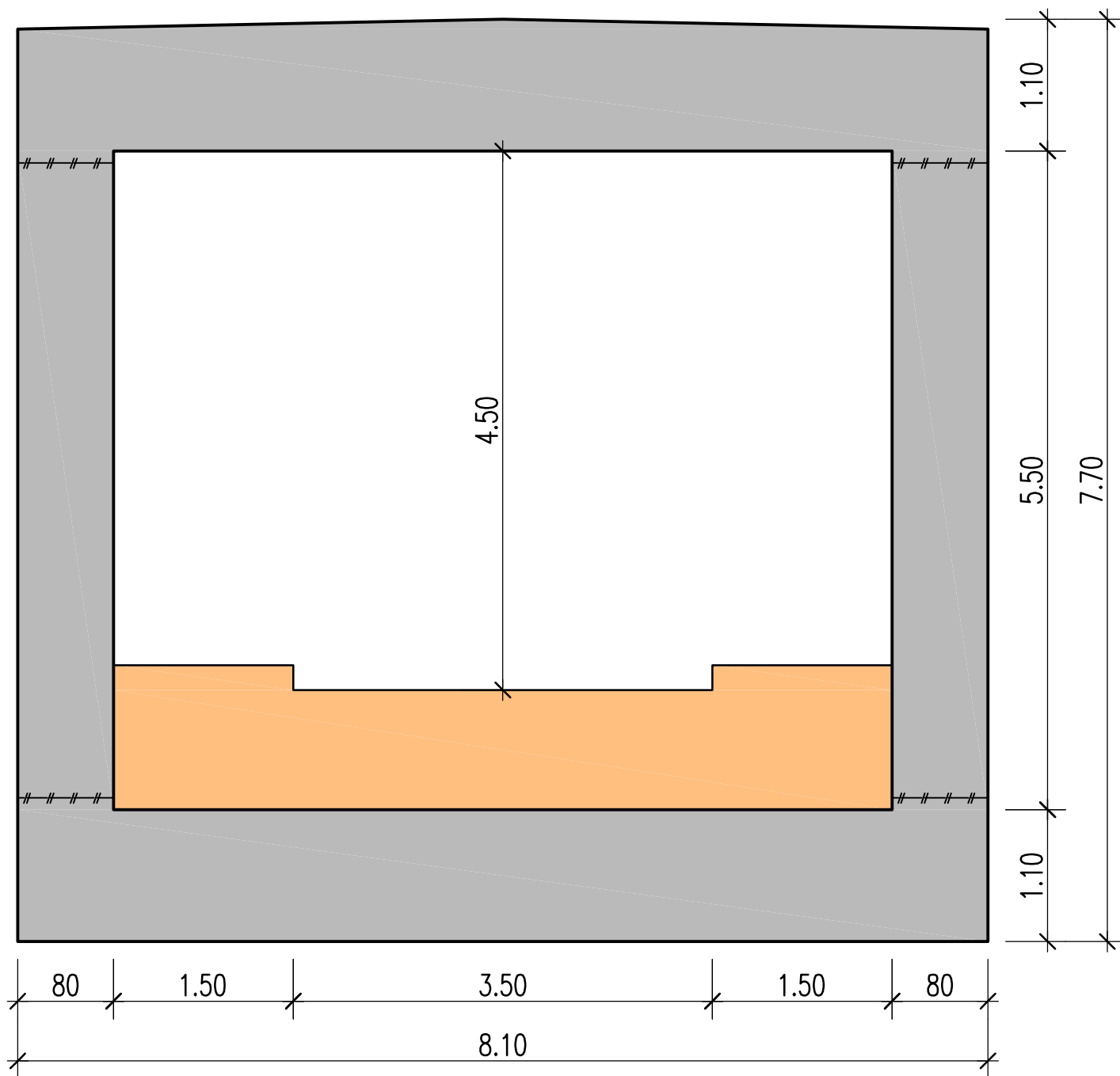
	Menge	EP	GP	
Löschwasser Tunnel (OBW)				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	510 m	135 €/m	68.850 €	
Blockfugenübergänge				
Überflurhydrant einschl. Anschlussleitung	4 St	3.850 €/St	15.400 €	
Spülschacht einschl. Abdeckung u. Entleerung	4 St	2.900 €/St	11.600 €	
Summe Tunnel (OBW)			95.850 €	
Trog (Nord + Süd)				
Löschwasserleitung DN _D 150, einschl.	245 m	135 €/m	33.075 €	
Blockfugenübergänge				
Überflurhydrant einschl. Anschlussleitung	1 St	3.850 €/St	3.850 €	
Spülschacht einschl. Abdeckung u. Entleerung	1 St	2.900 €/St	2.900 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			39.825 €	
Gesamtsumme Löschwasser				135.675 €
Innenausbau				
Notgehwege Tunnel (OBW)				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	1.103 m³	120 €/m³	132.345 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	281 m³	185 €/m³	51.893 €	
Betonstahl Kappe	36,5 t	800 €/t	29.172 €	
Fundamenterder einschl. Anschluss	510 m	4 €/m	2.040 €	
Deckschicht 4 cm	1.785 m²	19 €/m²	33.915 €	
Binderschicht 8 cm	1.785 m²	17 €/m²	30.345 €	
Tragschicht 16 cm	1.785 m²	16 €/m²	28.560 €	
Schottertragschicht 22 cm	393 m³	30 €/m³	11.781 €	
Mineralgemisch	607 m³	25 €/m³	15.173 €	
Summe Tunnel (OBW)			335.223 €	
Notgehwege Trog (Nord + Süd)				
Füllbeton (einschl. Fugeneinlage)	634 m³	120 €/m³	76.073 €	
Kappenbeton (einschl. Fugenabschl)	135 m³	185 €/m³	24.929 €	
Betonstahl Kappe	17,5 t	800 €/t	14.014 €	
Fundamenterder einschl. Anschluss	245 m	4 €/m	980 €	
Deckschicht 4 cm	858 m²	19 €/m²	16.293 €	
Binderschicht 8 cm	858 m²	17 €/m²	14.578 €	
Tragschicht 16 cm	858 m²	16 €/m²	13.720 €	
Schottertragschicht 22 cm	189 m³	30 €/m³	5.660 €	
Mineralgemisch	292 m³	25 €/m³	7.289 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			173.534 €	
Gesamtsumme Innenausbau				508.757 €
Abdichtung Tunnel (OBW)				
Fugenband innen Tunnel	1.403 m	50 €/m	70.125 €	
Fugenabschlussband Tunnel	1.214 m	30 €/m	36.414 €	
Fugeneinlage	178 m²	15 €/m²	2.666 €	
Fugenblech	2.040 m	10 €/m	20.400 €	
Injektionsschlauch	2.040 m	12 €/m	24.480 €	
Fugenverguss	745 m	10 €/m	7.446 €	
Summe Tunnel (OBW)			161.531 €	
Trog (Nord + Süd)				
Fugenband innen Tunnel	416 m	50 €/m	20.813 €	
Fugenabschlussband Tunnel	398 m	30 €/m	11.925 €	
Fugeneinlage	203 m²	15 €/m²	3.050 €	
Fugenblech	490 m	10 €/m	4.900 €	
Injektionsschlauch	490 m	12 €/m	5.880 €	
Fugenverguss	135 m	10 €/m	1.350 €	
Summe Trog (Nord + Süd)			47.918 €	
Gesamtsumme Abdichtung				209.449 €

Kostenschätzung - Anlage 4.1

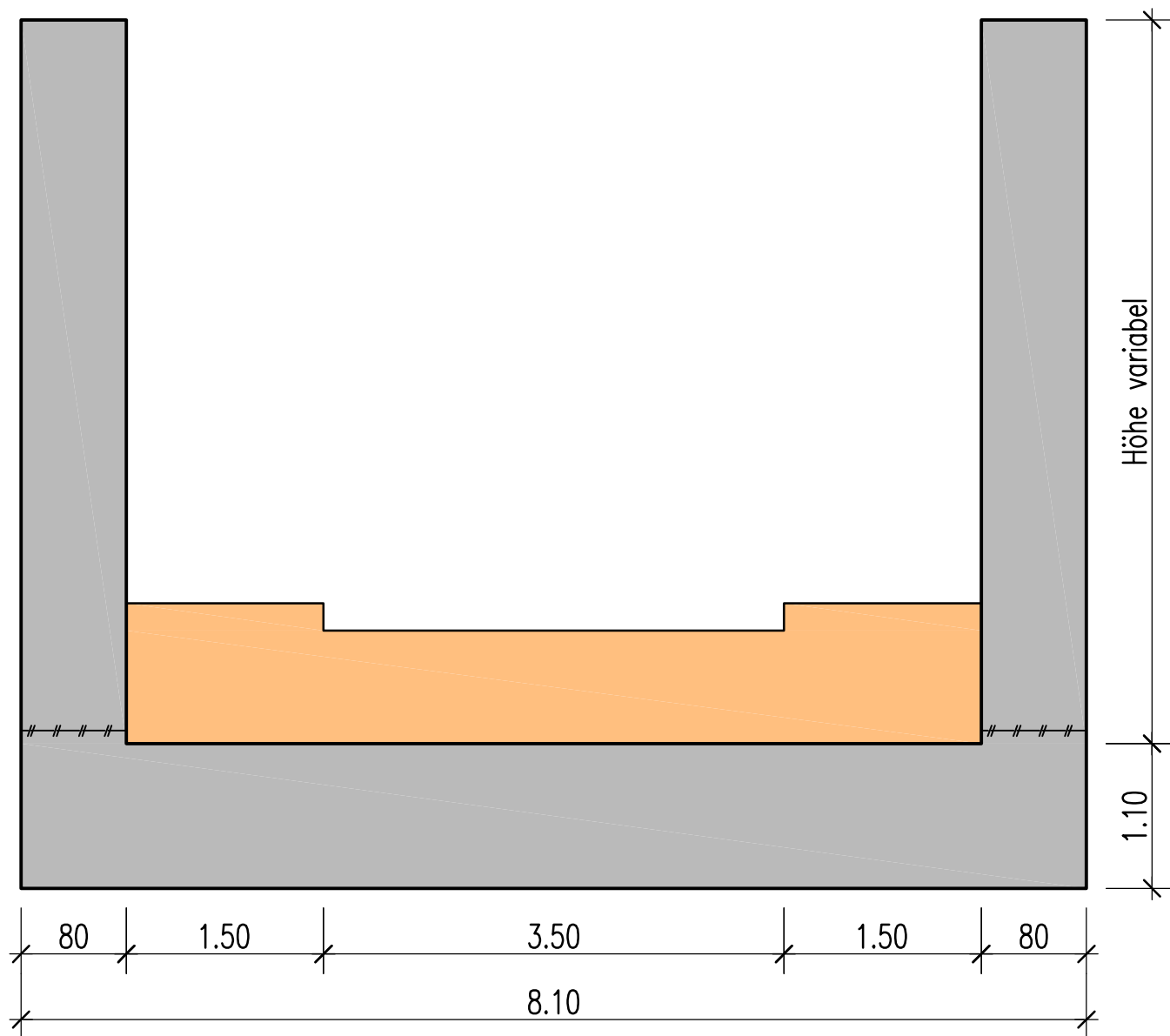
Bustunnel Regensburg Variante 2 - Alternativtrasse in OBW (lichte Breite = 6,50 m)

	Menge	EP	GP	
Fluchttreppenhaus				
Baugrube				
Verbau einschl. Verankerung	700 m ²	400 €/m ²	280.000 €	
Erdaushub	1.585 m ³	25 €/m ³	39.629 €	
Wiederverfüllung	540 m ³	15 €/m ³	8.101 €	
Unterwasserbetonsohle	138 m ³	140 €/m ³	19.354 €	
Zugpfähle UWB-Sohle	256 m	70 €/m	17.920 €	
Summe Baugrube			365.004 €	
Beton- und Stahlbetonarbeiten				
Wände	247 m ³	250 €/m ³	61.740 €	
Bodenplatte	58 m ³	250 €/m ³	14.440 €	
Betonstahl	42,7 t	700 €/t	29.863 €	
Summe Beton- und Stahlbetonarbeiten			106.043 €	
Innenausbau				
Fluchttür	1 St	6.000 €/St	6.000 €	
Treppen und Podeste	30 m ³	800 €/m ³	24.000 €	
Geländer	27 m ³	150 €/m	4.050 €	
Summe Innenausbau			34.050 €	
Ausgang an Geländeoberfläche	1 psch	60.000 €/m ²	60.000 €	
Gesamtsumme Fluchttreppenhaus				565.096 €
Betriebstechnik				
Tunnel (OBW)				
Beleuchtung	1 psch	229.500 €	229.500 €	
Lüftung	1 psch	153.000 €	153.000 €	
Verkehrseinrichtungen	1 psch	153.000 €	153.000 €	
Sicherheitstechnische Einrichtungen	1 psch	918.000 €	918.000 €	
Energieversorgung	1 psch	76.500 €	76.500 €	
Summe Tunnel (OBW)			1.530.000 €	
Gesamtsumme Betriebstechnik				1.530.000 €
Ingenieurplanung				
Ingenieurplanung	1 psch	1.000.000 €	1.000.000 €	
Gesamtkosten Ingenieurplanung			1.000.000 €	1.000.000 €
Sonstiges				
Sonstiges allgemein	1 psch	2.500.000 €	2.500.000 €	
Gesamtkosten Sonstiges			2.500.000 €	2.500.000 €
Gesamtsumme (netto)				27.899.364 €
Zuschlag für Mehrwertsteuer 19%				5.300.879 €
Gesamtsumme (brutto)				33.200.243 €

Betriebskosten pro Jahr				
Elektrotechnik	510 m	150 €/m	76.500 €	
Bauliche Unterhaltung	1 psch	125.000 €	125.000 €	
Summe Betriebskosten pro Jahr			201.500 €	
Gesamtsumme Betriebskosten pro Jahr				201.500 €



Anlage 4.2	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung Querschnitt Variante 2 Offene Bauweise		
bearb. :	BUNGE	Datum : März 2010



Anlage 4.3	Maßstab:	1:50
Donau-Nordarm-Tunnelquerung		
Querschnitt Variante 2		
Trog		
bearb. :	BUNG	Datum : März 2010

Anlage 5 Herleitung Eingangsgrößen Ereignisbäume

5.1 Unfall

Quelle: DESTATIS [11]

Verkehr, Unfälle von Kraftomnibussen im Straßenverkehr 2008

hier: Bezug Linienbusse

	Bezugsjahr	Quelle	
Unfallzahlen			
Unfälle mit Personenschäden (Linienverkehr)	2008	Schaubild 3	3.284 Unfälle
Unfälle mit Personenschäden (Linienverkehr), Fehlverhalten Busfahrer	2008	1.4, Seite 10	1.418 Unfälle
<u>davon abzüglich (nicht relevant im Bustunnel)</u>		Überholen	57 Unfälle
		Vorfahrt, Vorrang	107 Unfälle
		Fehler beim Abbiegen	92 Unfälle
		Fehler beim Ein- und Anfahren	60 Unfälle
		Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern	196 Unfälle
Relevante Unfälle mit Personenschäden, Fehlverhalten Busfahrer			906 Unfälle *
Bezugsgröße			
Fahrzeugkilometer	2008	2.4, Seite 19	2,526E+09 km
Schadenausmaß			
Verunglückte Insassen	2008	2.1, Seite 13	3.179
Verletzte Insassen	2008	2.1, Seite 13	3.174
Getötete Insassen	2008	2.1, Seite 13	5
Berechnung von Raten			
Unfallrate mit Personenschaden			1,300E-06 1/Bus km
Unfallrate mit Personenschaden, Fehlverhalten Busfahrer			5,614E-07 1/Bus km
Unfallrate mit Personenschaden, Fehlverhalten Busfahrer, relevant für Bustunnel			3,587E-07 1/Bus km *

* Eingangsdaten für Gutachten

5.2 Brand

Quelle: Berliner Verkehrsbetriebe

Fahrleistung Linienbusse: ca. 83 Mio km pro Jahr

Busbrände ca. 1 pro Jahr

→ Brandrate: ca. $1,2 \cdot 10^{-8}$ Brände pro Bus-km

Anlage 6 Ergebnisse

6.1 Schadenindikator Todesopfer durch Kollision

Risiko Kollision [GT/a] - Bustunnel - Referenzfall (RABT)							
Klasse GT/a	Häufigkeit						Summe
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	
keine	8,21E-03	2,07E-03	5,23E-03	8,20E-03	2,07E-03	5,23E-03	3,10E-02
1	2,00E-05	5,59E-06	1,41E-05	2,22E-05	5,59E-06	1,41E-05	8,16E-05
2-3	1,66E-05	5,21E-06	1,32E-05	2,07E-05	5,21E-06	1,32E-05	7,41E-05
4-9	4,12E-06	1,04E-06	2,63E-06	4,12E-06	1,04E-06	2,63E-06	1,56E-05
10-30	8,25E-08	2,08E-08	5,26E-08	8,25E-08	2,08E-08	5,26E-08	3,12E-07
>30	8,25E-09	2,08E-09	5,26E-09	8,25E-09	2,08E-09	5,26E-09	3,12E-08
Gesamt Kollision							Gesamtrisiko Kollision 3,14E-04 100%

Risiko Kollision [GT/a] - Bustunnel - Planfall							
Klasse GT/a	Häufigkeit						Summe
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	
keine	1,23E-02	2,48E-03	6,28E-03	9,84E-03	2,48E-03	7,84E-03	4,12E-02
1	3,00E-05	6,81E-06	1,72E-05	2,70E-05	6,81E-06	2,19E-05	1,10E-04
2-3	2,49E-05	6,46E-06	1,63E-05	2,56E-05	6,46E-06	2,11E-05	1,01E-04
4-9	6,19E-06	1,25E-06	3,16E-06	4,95E-06	1,25E-06	3,95E-06	2,07E-05
10-30	1,24E-07	2,49E-08	6,31E-08	9,90E-08	2,49E-08	7,89E-08	4,15E-07
>30	1,24E-08	2,49E-09	6,31E-09	9,90E-09	2,49E-09	7,89E-09	4,15E-08
Gesamt Kollision							Gesamtrisiko Kollision 4,23E-04 135%

Risiko Kollision [GT/a] - Bustunnel - Planfall + elektron. Spurführung							
Klasse GT/a	Häufigkeit						Summe
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	
keine	8,21E-05	2,07E-05	5,23E-05	8,20E-05	2,07E-05	5,23E-05	3,10E-04
1	2,00E-07	5,59E-08	1,41E-07	2,22E-07	5,59E-08	1,41E-07	8,16E-07
2-3	1,66E-07	5,21E-08	1,32E-07	2,07E-07	5,21E-08	1,32E-07	7,41E-07
4-9	4,12E-08	1,04E-08	2,63E-08	4,12E-08	1,04E-08	2,63E-08	1,56E-07
10-30	8,25E-10	2,08E-10	5,26E-10	8,25E-10	2,08E-10	5,26E-10	3,12E-09
>30	8,25E-11	2,08E-11	5,26E-11	8,25E-11	2,08E-11	5,26E-11	3,12E-10
Gesamt Kollision							Gesamtrisiko Kollision 3,14E-06 1%

Risiko Kollision [GT/a] - Bustunnel - Planfall + Detektion + QS (RABT)							
Klasse GT/a	Häufigkeit						Summe
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	
keine	9,85E-03	2,07E-03	5,23E-03	8,20E-03	2,07E-03	6,28E-03	3,37E-02
1	2,40E-05	5,59E-06	1,41E-05	2,22E-05	5,59E-06	1,72E-05	8,87E-05
2-3	1,99E-05	5,21E-06	1,32E-05	2,07E-05	5,21E-06	1,63E-05	8,06E-05
4-9	4,95E-06	1,04E-06	2,63E-06	4,12E-06	1,04E-06	3,16E-06	1,69E-05
10-30	9,90E-08	2,08E-08	5,26E-08	8,25E-08	2,08E-08	6,31E-08	3,39E-07
>30	9,90E-09	2,08E-09	5,26E-09	8,25E-09	2,08E-09	6,31E-09	3,39E-08
Gesamt Kollision							Gesamtrisiko Kollision 3,41E-04 109%

6.2 Schadenindikator Todesopfer durch Brand

Risiko Brand [GT/a] - Bustunnel - Referenzfall (RABT)							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
keine	1,92E-04	4,03E-05	5,46E-05	6,88E-05	4,03E-05	0,00E+00	3,96E-04
1	5,38E-05	1,64E-05	4,40E-05	7,58E-05	1,64E-05	6,03E-06	2,12E-04
2-3	2,43E-05	9,04E-06	3,48E-05	5,87E-05	9,04E-06	8,62E-05	2,22E-04
4-9	5,11E-06	2,99E-06	3,44E-05	5,81E-05	2,99E-06	6,43E-05	1,68E-04
10-30	8,29E-07	5,61E-07	6,44E-06	1,18E-05	5,61E-07	1,57E-05	3,58E-05
>30	8,29E-08	2,23E-07	1,77E-06	2,78E-06	2,23E-07	3,82E-06	8,91E-06
Gesamt Brand						Gesamtrisiko Brand	2,35E-03 100%

Risiko Brand [GT/a] - Bustunnel - Planfall							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
0	1,92E-04	3,35E-05	1,34E-05	3,75E-05	3,35E-05	0,00E+00	3,10E-04
1	5,38E-05	1,95E-05	4,04E-05	7,17E-05	1,95E-05	6,03E-06	2,11E-04
2 - 3	2,43E-05	1,09E-05	4,79E-05	6,40E-05	1,09E-05	8,62E-05	2,44E-04
4 - 9	5,11E-06	4,59E-06	5,99E-05	8,01E-05	4,59E-06	6,16E-05	2,16E-04
10 - 30	8,29E-07	8,39E-07	1,13E-05	1,77E-05	8,39E-07	1,67E-05	4,82E-05
> 30	8,29E-08	2,78E-07	3,18E-06	4,98E-06	2,78E-07	5,41E-06	1,42E-05
						Gesamtrisiko Brand	3,00E-03 128%

Risiko Brand [GT/a] - Bustunnel - Planfall + elektron. Spurführung							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
0	1,92E-04	3,35E-05	1,34E-05	3,75E-05	3,35E-05	0,00E+00	3,10E-04
1	5,38E-05	1,95E-05	4,05E-05	7,17E-05	1,95E-05	6,04E-06	2,11E-04
2 - 3	2,43E-05	1,08E-05	4,79E-05	6,40E-05	1,08E-05	8,62E-05	2,44E-04
4 - 9	5,10E-06	4,59E-06	5,98E-05	8,00E-05	4,59E-06	6,16E-05	2,16E-04
10 - 30	8,28E-07	8,38E-07	1,13E-05	1,77E-05	8,38E-07	1,67E-05	4,81E-05
> 30	8,28E-08	2,78E-07	3,17E-06	4,98E-06	2,78E-07	5,40E-06	1,42E-05
						Gesamtrisiko Brand	3,00E-03 128%

Risiko Brand [GT/a] - Bustunnel - Planfall + Detektion + QS (RABT)							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
0	2,01E-04	3,92E-05	2,53E-05	4,77E-05	3,92E-05	0,00E+00	3,52E-04
1	4,97E-05	1,92E-05	4,43E-05	7,45E-05	1,92E-05	6,03E-06	2,13E-04
2 - 3	2,02E-05	7,24E-06	4,40E-05	6,68E-05	7,24E-06	8,62E-05	2,32E-04
4 - 9	4,28E-06	3,10E-06	5,11E-05	6,96E-05	3,10E-06	6,16E-05	1,93E-04
10 - 30	8,29E-07	5,61E-07	8,10E-06	1,41E-05	5,61E-07	1,67E-05	4,09E-05
> 30	8,29E-08	2,23E-07	3,18E-06	3,32E-06	2,23E-07	5,41E-06	1,24E-05
						Gesamtrisiko Brand	2,69E-03 115%

6.3 Schadenindikator Todesopfer - gesamt

Gesamtrisiko [GT/a] - Bustunnel - Referenzfall (RABT)							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
keine	8,40E-03	2,11E-03	5,28E-03	8,27E-03	2,11E-03	5,23E-03	3,14E-02
1	7,38E-05	2,20E-05	5,81E-05	9,79E-05	2,20E-05	2,02E-05	2,94E-04
2-3	4,09E-05	1,43E-05	4,80E-05	7,94E-05	1,43E-05	9,94E-05	2,96E-04
4-9	9,23E-06	4,03E-06	3,70E-05	6,22E-05	4,03E-06	6,69E-05	1,83E-04
10-30	9,12E-07	5,82E-07	6,49E-06	1,18E-05	5,82E-07	1,57E-05	3,61E-05
>30	9,12E-08	2,25E-07	1,78E-06	2,79E-06	2,25E-07	3,83E-06	8,94E-06
Gesamtrisiko	Gesamtrisiko						2,66E-03
							100%

Gesamtrisiko [GT/a] - Bustunnel - Planfall							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
0	1,25E-02	2,51E-03	6,29E-03	9,88E-03	2,51E-03	7,84E-03	4,15E-02
1	8,38E-05	2,63E-05	5,77E-05	9,87E-05	2,63E-05	2,79E-05	3,21E-04
2 - 3	4,92E-05	1,73E-05	6,42E-05	8,97E-05	1,73E-05	1,07E-04	3,45E-04
4 - 9	1,13E-05	5,84E-06	6,30E-05	8,50E-05	5,84E-06	6,56E-05	2,37E-04
10 - 30	9,53E-07	8,64E-07	1,13E-05	1,78E-05	8,64E-07	1,68E-05	4,86E-05
> 30	9,53E-08	2,81E-07	3,18E-06	4,99E-06	2,81E-07	5,42E-06	1,43E-05
Gesamtrisiko	Gesamtrisiko						3,42E-03
							129%

Gesamtrisiko [GT/a] - Bustunnel - Planfall + elektron. Spurführung							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
0	2,74E-04	5,42E-05	6,57E-05	1,20E-04	5,42E-05	5,23E-05	6,20E-04
1	5,40E-05	1,95E-05	4,06E-05	7,20E-05	1,95E-05	6,18E-06	2,12E-04
2 - 3	2,44E-05	1,09E-05	4,80E-05	6,42E-05	1,09E-05	8,64E-05	2,45E-04
4 - 9	5,15E-06	4,60E-06	5,99E-05	8,01E-05	4,60E-06	6,16E-05	2,16E-04
10 - 30	8,29E-07	8,39E-07	1,13E-05	1,77E-05	8,39E-07	1,67E-05	4,81E-05
> 30	8,29E-08	2,78E-07	3,17E-06	4,98E-06	2,78E-07	5,40E-06	1,42E-05
Gesamtrisiko	Gesamtrisiko						3,00E-03
							113%

Gesamtrisiko [GT/a] - Bustunnel - Planfall + Detektion + QS (RABT)							
Klasse GT/a	Häufigkeit						
	FR Süd Segment 1	FR Süd Segment 2	FR Süd Segment 3	FR Nord Segment 1	FR Nord Segment 2	FR Nord Segment 3	Summe
0	1,00E-02	2,11E-03	5,26E-03	8,25E-03	2,11E-03	6,28E-03	3,40E-02
1	7,37E-05	2,48E-05	5,85E-05	9,66E-05	2,48E-05	2,33E-05	3,02E-04
2 - 3	4,01E-05	1,24E-05	5,72E-05	8,75E-05	1,24E-05	1,03E-04	3,12E-04
4 - 9	9,23E-06	4,14E-06	5,37E-05	7,37E-05	4,14E-06	6,48E-05	2,10E-04
10 - 30	9,28E-07	5,82E-07	8,15E-06	1,42E-05	5,82E-07	1,68E-05	4,12E-05
> 30	9,28E-08	2,25E-07	3,18E-06	3,33E-06	2,25E-07	5,42E-06	1,25E-05
Gesamtrisiko	Gesamtrisiko						3,03E-03
							114%

6.4 Monetarisierete Risiken

Bustunnel - Referenzfall (RABT), gesamt					
Segment	Personenschaden		Sachschaden		Schaden- summe
	Kollision	Brand	Kollision	Brand	
Abschnitt Nord	1.264 €	23.954 €	2.312 €	594 €	28.124 €
Abschnitt Mitte	336 €	3.083 €	583 €	150 €	4.152 €
Abschnitt Süd	850 €	14.249 €	1.475 €	379 €	16.953 €
Tunnel Summe	2.450 €	41.286 €	4.369 €	1.124 €	49.229 €

100%

Bustunnel - Planfall, gesamt					
Segment	Personenschaden		Sachschaden		Schaden- summe
	Kollision	Brand	Kollision	Brand	
Abschnitt Nord	1.710 €	34.511 €	2.998 €	700 €	39.919 €
Abschnitt Mitte	410 €	4.159 €	681 €	158 €	5.408 €
Abschnitt Süd	1.178 €	23.140 €	1.912 €	473 €	26.703 €
Tunnel Summe	3.298 €	61.810 €	5.591 €	1.332 €	72.030 €

146%

Bustunnel - Planfall + elektron. Spurführung, gesamt					
Segment	Personenschaden		Sachschaden		Schaden- summe
	Kollision	Brand	Kollision	Brand	
Abschnitt Nord	13 €	34.486 €	23 €	700 €	35.221 €
Abschnitt Mitte	3 €	4.154 €	6 €	158 €	4.322 €
Abschnitt Süd	8 €	23.125 €	15 €	473 €	23.621 €
Tunnel Summe	24 €	61.765 €	44 €	1.331 €	63.164 €

128%

Bustunnel - Planfall + Detektion + QS (RABT), gesamt					
Segment	Personenschaden		Sachschaden		Schaden- summe
	Kollision	Brand	Kollision	Brand	
Abschnitt Nord	1.384 €	27.677 €	2.508 €	700 €	32.269 €
Abschnitt Mitte	336 €	3.060 €	583 €	158 €	4.137 €
Abschnitt Süd	944 €	20.084 €	1.600 €	473 €	23.100 €
Tunnel Summe	2.663 €	50.821 €	4.690 €	1.332 €	59.506 €

121%