

DB Systemtechnik

auswerten



berichten



Bericht

Aus- und Neubaustrecke Stuttgart-Augsburg, Bereich Wendlingen-Ulm, PFA 2.4, Albabstieg: Aerodynamische MDW Untersuchung am Tunnel Albabstieg gem. Ril 853.1002A01

Dokument: 13-19087-T.TVI32(2)
Datum: 11.06.2013

Fachabteilung: Aerodynamik und Klimatechnik



Entscheidung nach § 76 (3) VwVfG
59163-591p/008-2304#007
vom 02.10.2013
Im Auftrag
(Kögel)
Eisenbahn-Bundesamt,
Außenstelle Karlsruhe/Stuttgart



Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Bericht beschriebenen Sachverhalte. Dieser Bericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung des im Bericht genannten Auftragnehmers

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Angaben zum Auftrag	6
2 Einführung	7
2.1 Eingangsgrößen Tunnelgeometrie	7
2.2 Eingangsgrößen Betrieb	8
3 Aerodynamische Untersuchung	8
3.1 Modellansätze für die verschiedenen MDW-Teilmechanismen	8
3.1.1 Generierung der Einfahrdruckwelle	9
3.1.2 Aufsteilung der Einfahrdruckwelle	10
3.1.3 Emission der Mikrodruckwelle	11
3.2 Vorgehen bei der Untersuchung	12
4 Ergebnisse	12
4.1 Überarbeitetes Maßnahmenkonzept	12
4.2 Generierung der Einfahrdruckwelle	13
4.3 Aufsteilung der Einfahrdruckwelle	14
4.4 Emission der Mikrodruckwelle	16
5 Zusammenfassung	17
6 Unterschriften	17

Verzeichnis der Anlagen

		Seite
A1	Portal Dornstadt Lageplan	18
A2	Portal Dornstadt Portalansicht	18
A3	Portal Dornstadt Längsschnitt	19
A4	Portal Ulm Lageplan	20
A5	Portal Ulm Portalansicht	20
A6	Portal Ulm Längsschnitt	21
A7	Tunnelquerschnitte Gleis Stuttgart-Ulm	22
A8	Tunnelquerschnitte Gleis Ulm-Stuttgart	23

Verzeichnis der Abkürzungen und Indizes

Größe	Symbol	Einheit	Wert / Bemerkungen
Querschnittsfläche	A	m^2	
Schallgeschwindigkeit	c	m/s	Normalluftschallgeschwindigkeit: $c_0 = 343,5 m/s$
Hydraulischer Durchmesser	d_h	m	$= 4 \cdot \text{Querschnitt} / \text{Umfang}$
Druckgradient	dp/dt	Pa/s	
Druck	p	Pa	
Portalabstand des Messorts in Gleisrichtung	r	m	
Zeit	t	s	
Temperatur	T	K	
Geschwindigkeit	v	km/h	
Temperatur	ζ	$^{\circ}C$	Atmosphärische Normallufttemperatur: $\zeta_0 = 20 ^{\circ}C$
Verblockung	Φ	-	$= 1 - (A_{zug}/A_{tun})$
Kopf- und Portalformfaktor	η	-	wird empirisch bestimmt
Korrekturfaktor für die Abstrahlung	γ_{em}	-	
Raumwinkel für die Abstrahlung (Emission)	Ω	rad	
Dichte	ρ	kg/m^3	Atmosphärische Normalluftdichte: $\rho_0 = 1,204 kg/m^3$
Integrationsvariable für Gedächtnisintegral	τ	s	

Indizes

am Einfahrportal bzw. Normalzustand	l_0
bezogen auf Position 1, 2 bzw. 3	l_1, l_2, l_3
bezogen auf den Tunnel	l_{tun}
bezogen auf das Fahrzeug	l_{zug}

Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis

- [Ad08] **Adami S., Kaltenbach H.-J.:** *Sensitivity of the wave-steepening in railway tunnels with respect to the friction model.* Proceedings of the 6th International Colloquium on: Bluff Body Aerodynamics and Applications, Milano, Italy, 2008.
- [DB09a] **Deutsche Bahn AG:** *Aerodynamische Detailuntersuchung der Maßnahmen zur Beherrschung der Mikrodruckwellen Thematik am Alabstiegstunnel.* DB Systemtechnik, Bericht 09-P-10633-TTZ113-MDWNachweisAero-Alabstieg-V3, München, November 2009.
- [DB09b] **Deutsche Bahn AG:** *Prognose und akustische Bewertung von Mikrodruckwellen-Immissionen am Tunnel Alabstieg.* DB Systemtechnik, Bericht 09-P-10633-T3-TTZ 112, München, November 2009.
- [DB13] **Deutsche Bahn AG:** *Aus- und Neubaustrecke Stuttgart-Augsburg, Bereich Wendlingen-Ulm, PFA 2.4, Alabstieg: Akustische Bewertung der MDW-Immissionen am Tunnel Alabstieg gem. Ril 853.1002A01.* DB Systemtechnik GmbH, Bericht 13-19087-T.TVI32(1), München, Juni 2013.
- [Oz97] **Ozawa S., Murata K., Maeda T.:** *Effect of ballasted track on distortion of pressure wave in tunnel and emission of micro-pressure wave.* Proceedings of the 9th International Symposium on Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, Aosta Valley, Italy, 1997, BHR Group, pp. 935-947.
- [Ril853] **DB Netz AG:** *Richtlinie 853 (Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten),* DB Netz AG, Frankfurt a. M., Stand 01.02.2013
- [Sch08] **Schlämmer M., Hieke M.:** *CFD-simulations on the generation of the pressure wave when a high-speed train enters a tunnel with different portal modifications.* Proceedings of the 6th International Colloquium on: Bluff Body Aerodynamics and Applications, Milano, Italy, 2008.

1 Angaben zum Auftrag

Aufgabenstellung:

Es sollen die von den Portalen des Alabstiegstunnels emittierten Mikrodruckwellen als vollständige Drucksignale bestimmt werden. Diese Signale dienen als Ausgangsbasis für eine akustische Bewertung der Mikrodruckwellen, welche den Nachweis erbringen soll, dass die Mikrodruckwellenemissionen am Alabstiegstunnel nach Anpassung und Umsetzung der geplanten baulichen Gegenmaßnahmen die Richtwerte nach Ril 853 (Stand vom 01.02.2013) einhalten. Die akustische Bewertung erfolgt in einem getrennten Bericht [DB13].

Die Beauftragung erfolgte per Leistungsvereinbarung 100539489 (OPX Nr. 19087) vom 16.05.2013.

Auftraggeber:

DB Projektbau GmbH
I.BV-SW-S(7)
Räpplenstraße 17
70191 Stuttgart
Ansprechpartner:
Hr. André Reinhardt
Tel. +49 711 93319 231
E-Mail: andre.reinhardt@deutschebahn.com

Auftragnehmer:

DB Systemtechnik GmbH
Aerodynamik und Klimatechnik
Völckerstraße 5
80939 München
Herr Michael Hieke
Tel. +49 89 1308 6609
Fax. +49 89 1308 6795
E-Mail michael.hieke@deutschebahn.com

Verteiler des Berichtes:

Auftraggeber	(5xPapier + PDF)
T.TVI32(1) Gerbig	(1xPapier)
T.TVI32(2) Hieke	(1xPapier)
T.TVI32(2) Archiv	(1xPapier)

2 Einführung

Im Rahmen von Versuchsfahrten auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt trat im Dezember 2005 unter betrieblichen Bedingungen erstmals in Deutschland ein deutlich akustisch wahrnehmbares Mikrodruckwellen-Phänomen auf. Hierbei handelt es sich um die von einem Tunnelportal ausgehende Emission einer hörbaren Mikrodruckwelle (MDW). Das Phänomen wird umgangssprachlich auch als Tunnelknall oder in der englischen Sprache als Sonic Boom bezeichnet (letztere Bezeichnung ist dabei eher unglücklich, da sie eine Verwechslung mit dem Überschallknall von Flugzeugen nahelegt).

Vor dem Hintergrund der MDW-Vorkommnisse auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt und der dort gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem bauvorhaben-übergreifenden Projekt BEMT (Beherrschung der Mikrodruckwellen-Thematik) geeignete Werkzeuge zur Prognose der emittierten MDW erarbeitet. Ebenfalls wurde im Projekt ein Bewertungs- und Nachweisverfahren inklusive Richtwerte mit Vertretern von Eisenbahn Bundesamt und Umweltbundesamt fachlich diskutiert und abgestimmt. Dieses Verfahren wurde als Modul 853.1002A01 in der Ril 853 „Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten“ [Ril853] verankert und am 01.02.2013 in Kraft gesetzt.

Nachdem der im Jahr 2009 geführte Mikrodruckwellen-Nachweis [DB09a, DB09b] mit veralteten Richtwerten und Referenzfahrzeugen geführt wurde, sollen in dieser Untersuchung die MDW Emissionen analog der aktuellen Vorgehensweise der Ril 853 bestimmt werden. Die so emittierten Drucksignale werden an T.TVI32(1) „Akustik und Erschütterungen“ übergeben und dort an den aktuellen Richtwerten gespiegelt. Im Falle einer Überschreitung der Richtwerte sind die ursprünglich geplanten Maßnahmen am Alabstiegstunnel nochmals zu optimieren bis die Richtwerte eingehalten werden.

Die Dokumentation dieser MDW Untersuchung besteht aus zwei Teilen, einem aerodynamischen Teil, welcher in diesem Bericht dokumentiert ist und einem akustischen Teil, der in [DB13] beschrieben ist.

2.1 Eingangsgrößen Tunnelgeometrie

Der Alabstiegstunnel besitzt zwei eingleisige Tunnelröhren die über Verbindungsbauwerke in einem regelmäßigen Abstand miteinander verbunden sind. Aus Gründen der Sicherheit sind die Verbindungsbauwerke mit Schleusentüren verschlossen, ein Überströmen von Luft aus einer Tunnelröhre in die andere ist somit nicht möglich. Die westliche Tunnelröhre (Gleis Stuttgart – Ulm) ist 5.875 m, die östliche Röhre (Gleis Ulm – Stuttgart) ist 5.886 m lang. Am Portal Dornstadt ist aktuell ein 38 m langes Portalbauwerk geplant, welches die Portalhauben für beide Tunnelröhren umfasst. Am Portal Ulm sind keine MDW-Gegenmaßnahmen vorgesehen, hier beträgt die Entwurfsgeschwindigkeit lediglich 100 km/h. Die Portalhauben am Portal Dornstadt besitzen einen lichten Querschnitt von 90 m² und sind vollständig im Gelände integriert, korrespondieren aber über Entlüftungsöffnungen an der Decke mit der freien Umgebung. Die Ausfahrt aus dem Portal Dornstadt erfolgt in einen Geländeeinschnitt in Troglage, im Bereich des Portals Ulm mündet der Tunnel in ein Trogbauwerk. Detaillierte Ausschnitte aus den Planungsunterlagen befinden sich im Anhang (A1 bis A6).

Der lichte Querschnitt der Tunnelröhren beträgt je nach Geschwindigkeitsbereich zwischen 61,4 m² bis 49,5 m² (siehe Abbildung 1). Eine detaillierte Auflistung der unterschiedlichen Tunnelabschnitte ist im Anhang (A7 und A8) dargestellt. Als Oberbau kommt eine Feste Fahrbahn zum Einsatz. Die Wände und Decken sind mit hydraulisch glatten Betonelementen verkleidet.

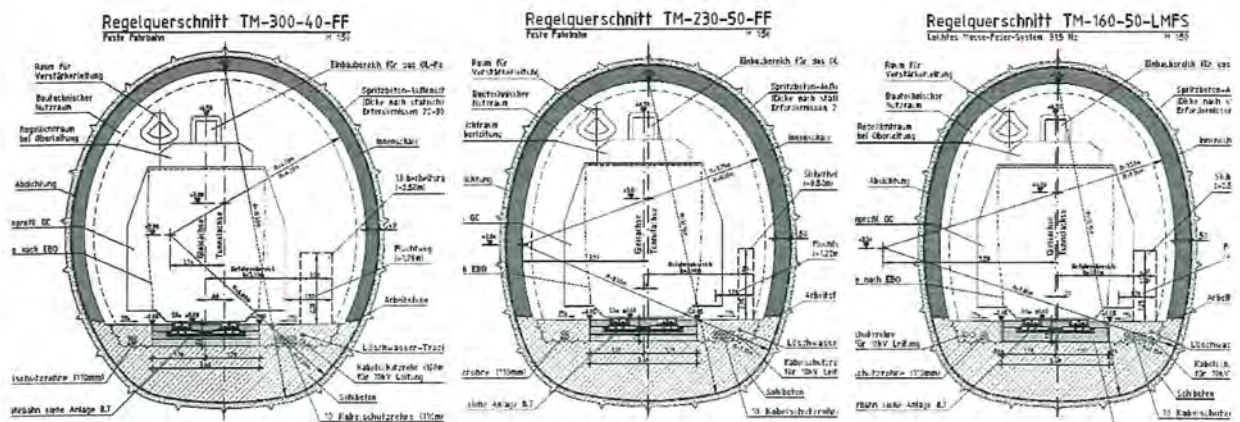


Abbildung 1: Regelquerschnitte der Tunnelröhren (entnommen aus Planungsunterlagen)

2.2 Eingangsgrößen Betrieb

Die NBS Ulm-Wendlingen wird für eine Betriebsgeschwindigkeit von 250 km/h gebaut. In beiden Röhren des Alabstiegstunnels ist restriktionsfreier Gleiswechselbetrieb vorgesehen. Die vorliegende Untersuchung bezieht sich damit auf maximal 250 km/h schnellen Betrieb für die Einfahrt ins Portal Dornstadt. Die Einfahrt in das Portal Ulm mit 100 km/h wird gesondert (vereinfacht) betrachtet.

Gemäß aktueller Ril 853 ist der MDW-Nachweis für die Fahrzeuge der Verkehrsprognose zu führen. In der Verkehrsprognose des Alabstiegstunnels sind - MDW relevant - HGW-Verkehr mit 250 km/h und ergänzender Fernverkehr mit 230 km/h festgelegt. Dies bedeutet für den Alabstiegstunnel, dass zwei Referenzfahrzeuge zu betrachten sind: für eine Geschwindigkeit von 250 km/h der ICE1 und für eine Geschwindigkeit von 230 km/h ein Lokzug mit führender BR101. Fahrzeuge des konventionellen Verkehrs erzeugen aufgrund ihrer geringeren Fahrgeschwindigkeiten geringere Mikrodruckwellen und werden daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

Für das Portal Ulm mit einer max. Einfahrtsgeschwindigkeit von 100 km/h wird die MDW-Thematik durch konventionelle Fahrzeuge dominiert, deren aerodynamische Eigenschaften deutlich schlechter sein können als die von HGW Fahrzeugen. Aus diesem Grund wird für die Einfahrt ins Portal Ulm als ungünstigstes Fahrzeug eine Lok BR101 betrachtet.

3 Aerodynamische Untersuchung

3.1 Modellansätze für die verschiedenen MDW-Teilmechanismen

Die Erzeugung von Mikrodruckwellen lässt sich anhand der folgenden Darstellung gut beschreiben:

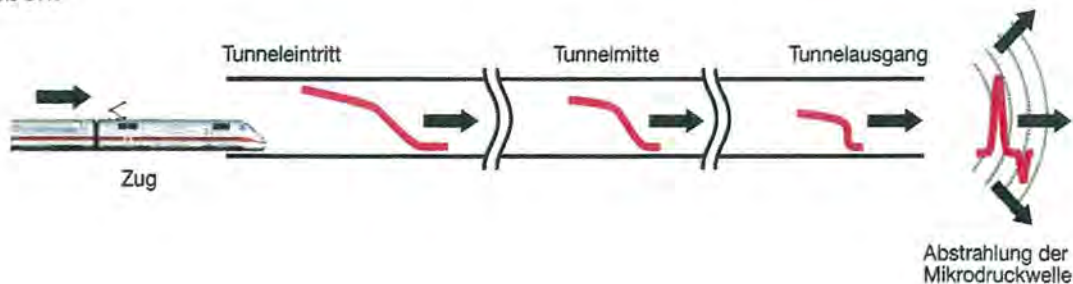


Abbildung 2: Prinzipskizze der verschiedenen Teilmechanismen des Mikrodruckwellen-Phänomens

Bei der Einfahrt des Zugkopfes in den Tunnel entsteht durch die plötzliche Querschnittsänderung eine Verdichtungswelle, die dem Zug mit Schallgeschwindigkeit voraus läuft. Wenn die Reibungsverluste an Leibung und Einbauten klein sind und keine größeren „trägen“ Luftvolumina in im Tunnel verlegten porösen Materialien (Schotter) oder in Kammern und Spalten enthalten sind, steilt sich diese Verdichtungswelle während ihrer Laufzeit durch den Tunnel stetig auf. Die Aufsteilung erfolgt, da im hinteren Teil der Welle der Druck geringfügig höher ist als an der Druckwellenfront. Damit einher geht eine etwas höhere Temperatur und daraus resultierend eine etwas höhere Schallgeschwindigkeit im hinteren Bereich der Welle. Damit bewegt sich dieser Teil schneller als der Vordere und der Druckgradient wird immer größer. Insbesondere in sehr langen Tunneln kann der Druckgradient so stark ansteigen, dass am Tunnelausgang eine hörbare Mikrodruckwelle emittiert wird, die je nach Stärke als ein dumpfer „Plopp“ oder als ein lauter Knall empfunden werden kann.

Die Entstehung des Tunnelknalls lässt sich vereinfacht durch drei Einzelprozesse beschreiben:

- Erzeugung der Einfahrdruckwelle bei der Einfahrt des Zuges in den Tunnel,
- Aufsteilung der Druckwelle auf ihrem Weg durch den Tunnel,
- Emission einer Mikrodruckwelle am gegenüberliegenden Tunnelausgang.

Für jeden dieser Teilprozesse werden nachfolgend die Modellansätze dargestellt, auf denen diese Untersuchung basiert.

3.1.1 Generierung der Einfahrdruckwelle

Für die Berechnung des Verlaufs der Einfahrdruckwelle in dieser Untersuchung wurde die Einfahrt des Zuges per instationärer 3D-Strömungssimulation [Sch08] berechnet. Zum Einsatz kam dabei die kommerzielle Software ANSYS-CFX in der Version 14.0. Mittels ICEM-CFD in der Version 14.0 wurden die Berechnungsgitter erzeugt, mit denen die Simulationen durchgeführt wurden. Für das Portal Dornstadt wurde ein Rechengitter erzeugt, welches die lokale Geometrie geeignet abbildete.

Das Rechengitter war zweigeteilt. Es bestand aus einem stationären Teil, welcher die Umgebung, den Portalbereich und den Tunnel abbildet, sowie einem beweglichen Teil, der den Zug enthält und der sich innerhalb des stationären Teils in Fahrtrichtung des Zuges longitudinal bewegen konnte. Die grundlegenden Parameter und Randbedingungen der Simulationen sind in Tabelle 1 abgebildet:

Tabelle 1: Parameter und Randbedingungen der Strömungssimulation

Parameter	Wert	Einheit
Turbulenzmodell	SST	
Wandfunktionen	Automatic	
Wärmetransportmodell	Total Energy	
Advection Scheme	High Resolution	
Transient Scheme	Second Order Backward Euler	
Stoffdaten	Luft mit Idealgasverhalten	
Temperatur	10	°C
Zuggeschwindigkeit	250 bzw. 230	km/h
Zeitschrittweite	0,0048	s
Fahrzeug	ICE1 bzw. BR101	

Die Einfahrdruckwelle der Fahrzeuge wird an einem Punkt 100 m im Tunnel ausgelesen und für die weiteren Berechnungen als Druck-Zeit-Signal abgespeichert.

Die Ermittlung der Einfahrdruckwelle für die Einfahrt in das Portal Ulm erfolgt vereinfacht anhand von skalierten 1:1-Messungen der Messgruppe Aerodynamik TTZ 113.1 vom Euerwangtunnel Nordportal. Hier existiert ein ähnliches Steilportal wie am Alabstiegstunnel. Die Einfahrdruckwellen werden für die Referenzfahrzeuge ICE1 und BR101 aus den in Tabelle 2 dargestellten Messungen bestimmt. Die Einflüsse von unterschiedlicher Verblockung, Einfahrtgeschwindigkeit und meteorologischen Größen werden über den in [DB09a] genannten Skalierungsansatz ausgeglichen.

Tabelle 2: Messungen zur Bestimmung der Einfahrdruckwelle Portal Ulm

Fahrzeug	Messung	Einfahrtgeschwindigkeit in km/h	Temperatur in °C	Druck in hPa
BR-101	06110721	198	8	970
BR-101	06110735	168	7	972
ICE 1	06110738	199	7	972
ICE 1	06110743	247	7	971

3.1.2 Aufteilung der Einfahrdruckwelle

Die Berechnung der Aufteilung der Druckwelle beim Durchlaufen des Tunnels erfolgt mit dem innerhalb des Projekts BEMT neu entwickelten Programm „WAVE“ in der Version 1.4. Dieses Programm basiert auf dem in [Ad08] beschriebenen Berechnungsansatz und kann die Aufteilung für das vollständige Zeitsignal des Druckes berechnen.

Die Anwendung wurde anhand von Messungen innerhalb der Tunneln Euerwang und Irlahüll auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt kalibriert. Die innere Auskleidung (Ortbetoninnenschale) dieser beiden Tunnel ist repräsentativ für neue HGV-Tunnel, so dass die aerodynamischen Eigenschaften vergleichbar mit dem Alabstiegstunnel sind. In Abbildung 3 ist ein Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Druckwellen dargestellt.

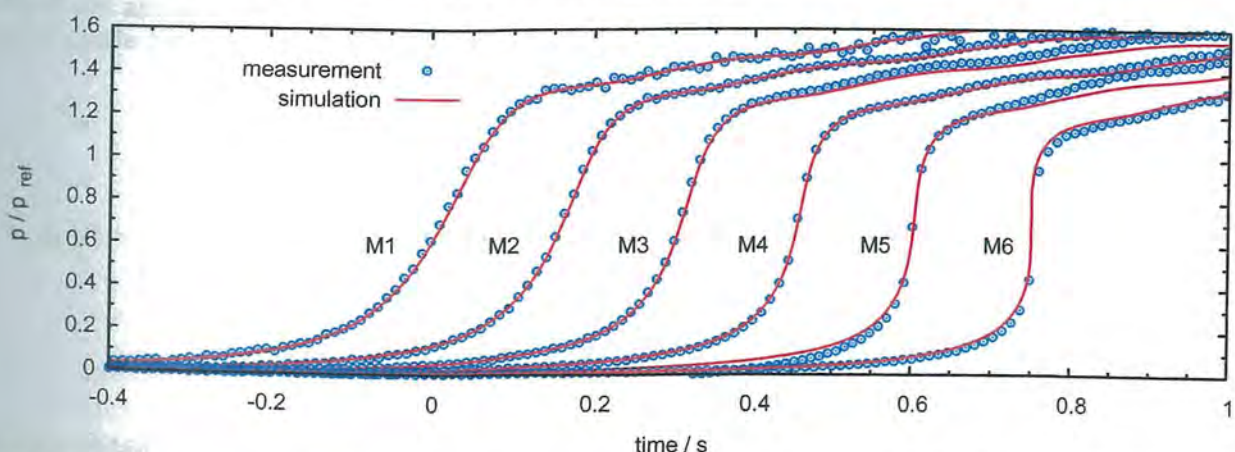


Abbildung 3: Vergleich von gemessenen und berechneten Druckverläufen an 6 Positionen innerhalb des Euerwangtunnel ohne akustische Absorber

Für die Berechnung der Aufsteilung mit WAVE kommen folgende Parameter zum Einsatz:

Tabelle 3: Parameter und Randbedingungen der Aufsteilungsberechnung

Parameter	Wert	Einheit
Bewegtes Rechengitter	An	
Räumliche Diskretisierung	0,0625	m
CFL- Zahl	0,9	
Nachlauf der Welle	500	m
Stationäre Reibung	An	
Reibungskoeffizient	0,04	
Instationäre Reibung	An	
Instationäres Reibungsmodell	Vardy 2003	
Inst. Wichtungsfaktor	2,5	
Tunneltemperatur	12	°C
Tunnellänge	5875 5890	m
Tunnelquerschnitt	61,4 52,4 49,5	m ²
Hydr. Durchmesser	8,5 7,8 7,5	m
bei Unstetigkeiten	Alte Werte benutzen	

Die unterschiedlichen Tunnelquerschnitte werden in der Berechnung mit berücksichtigt.

3.1.3 Emission der Mikrodruckwelle

Wenn die dem Zugkopf voraus laufende Verdichtungswelle das Ausfahrportal erreicht, wird sie dort fast vollständig reflektiert und läuft als Verdünnungswelle zurück in den Tunnel. Ein geringer Teil ihrer Energie wird in Form einer Mikrodruckwelle an die Umgebung abgestrahlt. Die Form der abgestrahlten MDW kann nach [Oz97] über die analytische Fernfeldlösung für eine vibrierende Scheibe (bzw. Kolben) in einer unendlich ausgedehnten Wand bestimmt werden:

$$p_{MDW}(t) = \frac{A_{tun}}{\gamma_{em} \cdot \Omega \cdot c_0 \cdot r} \cdot \left[\begin{aligned} & \frac{d}{dt} p\left(t - \frac{r}{c_0}\right) + \frac{1}{4 \cdot \sqrt{\pi} \cdot T_1} \cdot \int_0^{t - \frac{r}{c_0}} e^{-\frac{\left(t - \frac{r}{c_0} - \tau\right)^2}{4 \cdot T_1^2}} \frac{d}{dt} p(\tau) d\tau + \\ & + \frac{11}{50 \cdot \sqrt{\pi} \cdot T_2^2} \cdot \int_0^{t - \frac{r}{c_0}} \left(t - \frac{r}{c_0} - \tau\right) e^{-\frac{\left(t - \frac{r}{c_0} - \tau\right)^2}{4 \cdot T_2^2}} \frac{d}{dt} p(\tau) d\tau \end{aligned} \right] \quad (4)$$

Dabei bezeichnet *r* den Abstand vom Portal entlang der Tunnelachse und Ω den Raumwinkel, der über die Abstrahlung in die Portalumgebung charakterisiert ist. Der Faktor γ_{em} stellt eine Korrektur bzw. empirische Anpassung an Messwerte dar.

Als Höchstwert für den Raumwinkel kann der Wert $\Omega = 2\pi$ angesehen werden. Dies entspricht einem Portal, das in eine flache Umgebung ohne Hindernisse mündet. Die Druckwelle kann hier sowohl vor als auch hinter das Portal abgestrahlt werden. Ist der freie Raum in der Portalumge-

bung durch Trogvorbauten oder Einschnitte versperrt, muss das durch Verminderung von Ω berücksichtigt werden.

Messungen im Rahmen des Projekts BEMT am Euerwangtunnel - das südliche Ausfahrportal liegt in einem Geländeeinschnitt, das nördliche in einem Trogbauwerk - lassen Rückschlüsse auf die zu erwartenden Verhältnisse am Alabstiegstunnel zu. In Tabelle 4 sind verschiedene real gemessene Abstrahlszenarien mit den entsprechend Gl. 4 berechneten Abstrahlwinkeln dargestellt:

Tabelle 4: Berechnete Abstrahlwinkel von gemessenen MDW in Abhängigkeit von der Umgebung

Tunnel	Abstand vom Portal	$\gamma_{em} \cdot \Omega$
Euerwang Südportal (Schrägportal ins Freie)	25 m	3,2
	50 m	3,2
Euerwang Nordportal (Trogbauwerk) (Messort: Trogrüstung)	25 m	2,6
	50 m	2,1

Da der Alabstiegstunnel am Portal Dornstadt in einem Geländeeinschnitt ins Freie mündet, werden hier die Abstrahlwinkel vom Euerwang Südportal $\Omega = 3,2$ benutzt. Für das Portal Ulm, welches in ein Trogbauwerk mündet, wird $\Omega = 2,6$ benutzt. Alle Drucksignale werden in einem Abstand von 25 m vom Portal berechnet. Am Portal Ulm befindet sich der Auswerteort an der Trogrüstung.

3.2 Vorgehen bei der Untersuchung

Über die in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschriebene CFD-Lösung mittels „ANSYS-CFX 14.0“ wird für die Einfahrt ins Portal Dornstadt der zeitliche Verlauf der Einfahrdruckwelle für die verschiedenen Fahrzeuge und Umgebungsbedingungen bestimmt. Für die Einfahrt ins Portal Ulm werden vereinfacht skalierte Messwerte aus 1:1-Versuchen benutzt. Anschließend wird die durch die Tunnelröhre laufende Verdichtungswelle entsprechend dem Aufstellungsansatz 3.1.2 als vollständiges Zeitsignal bestimmt. Die Berechnung erfolgt mittels „WAVE“ in der Version 1.4. An den Tunnelportalen wird ein Teil der Verdichtungswelle als MDW in die Umgebung emittiert. Die Berechnung des vollständigen Drucksignals der emittierten MDW erfolgt analog Abschnitt 3.1.3.

Die berechneten MDW-Signale werden an T.TVI32(1) „Akustik und Erschütterungen“ zur Bestimmung der akustischen Pegel und für die akustische Bewertung der MDW-Emissionen übergeben. Die Vorgehensweise zur Pegelbestimmung und der Bewertung sind nicht Bestandteil dieser aerodynamischen Untersuchung und werden in einem separaten Bericht durch T.TVI32(1) dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Überarbeitetes Maßnahmenkonzept

Der in [DB09a, DB09b] erbrachte MDW-Nachweis gelang nur mit einer Umplanung der Deckenöffnungen im Portalbauwerk Dornstadt. Mit den geänderten Deckenöffnungen konnte der Nachweis für den „TSI-Zug“ (damaliges Referenzfahrzeug) erbracht werden. Eine Neubewertung im Rahmen dieser Untersuchung zeigte jedoch, dass für die aktuellen Referenzfahrzeuge der Nachweis nicht mehr gelingt. Es konnte im Zuge weiterer Optimierungen eine Variante für die Portalhaube gefunden werden, mit der der Nachweis auch für die aktuellen Referenzfahrzeuge und die aktuellen Richtwerte gelingt.

Zur Einhaltung der aktuellen MDW-Richtwerte war eine Verlängerung des Haubenbauwerks um 10 m notwendig unter Beibehaltung der aktuell (mit Stand vom 22.03.2012) geplanten Form und Position der Entlüftungsöffnungen. Die Untersuchung erfolgte mit einer unterirdischen Verlängerung des konstanten Haubenquerschnitts im hinteren Bereich der Haube, wobei der Querschnittsprung Haube-Tunnel (nicht zu verwechseln mit dem Ende des Haubenbauwerks!) um 10 m weiter in Richtung des Tunnels wandern musste. Mit dieser verlängerten Haube konnten die MDW-Richtwerte nach aktueller Ril 853 eingehalten werden.

Für einen restriktionsfreien Gleiswechselbetrieb sind die Positionen und Größen der Entlüftungsöffnungen und die grundlegenden Haubendimensionen auf das Gegengleis zu übertragen. Ist dies nicht möglich, muss im Falle einer Einfahrt in das nicht angepasste Einfahrportal die Geschwindigkeit reduziert werden.

Für die zuvor beschriebene verlängerte Haube wurde ein entsprechendes CFD-Gitter des Portals und der näheren Portalumgebung erstellt, um die Generierung der Einfahrdruckwelle simulieren zu können. In Abbildung 4 ist das finale Einfahrscenario abgebildet. Zur Optimierung der Rechenzeit wurden verschiedene Vereinfachungen vorgenommen. So wurde z.B. der Bereich des Gegengleises mit einem etwas gröberen Rechengitter modelliert. Auch der weiter entfernte Geländeverlauf und der Tunnel des Gegengleises wurden entsprechend vereinfacht.



Abbildung 4: Einfahrscenario für die CFD Simulation

Der in dieser Untersuchung zu erbringende aerodynamische Nachweis erfolgte für die Einfahrt in die vorgestellte Portalkonfiguration.

4.2 Generierung der Einfahrdruckwelle

Die Einfahrten in die beiden Portale des Alabstiegstunnels wurden mittels CFD Simulation untersucht bzw. aus 1:1-Messungen skaliert. Für den meteorologischen Referenzfall ($T_{\text{umgebung}} = 10^{\circ}\text{C}$) sind die Einfahrdruckwellen in Abbildung 5 dargestellt.

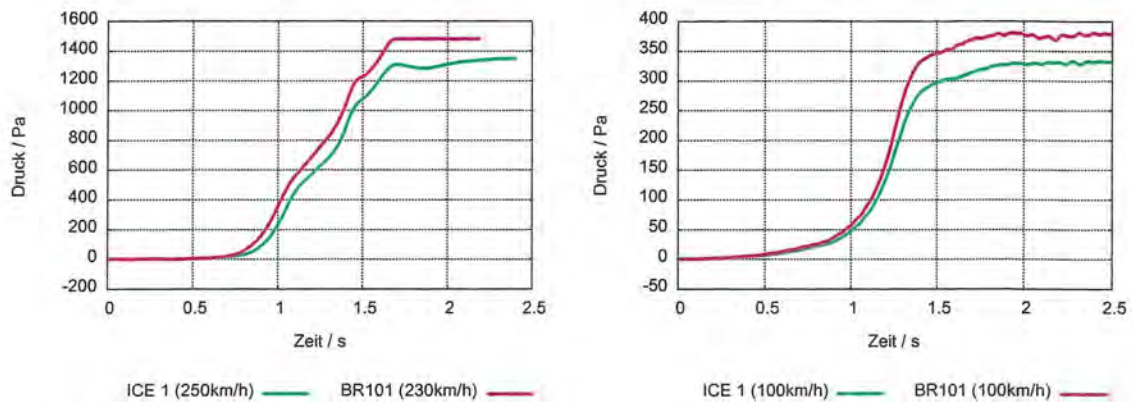


Abbildung 5: Druckwellen bei der Einfahrt verschiedener Fahrzeuge in den Alabstiegstunnel (links: Einfahrt Portal Dornstadt, rechts: Einfahrt Portal Ulm)

Ein gleichmäßiger linearer Anstieg bis zum maximalen Druck wäre der Idealfall. In diesem Fall sind die Einfahrdruckgradienten am kleinsten. Mit den für das Portal Dornstadt ausgewiesenen Entlüftungsöffnungen kann sich diesem Ziel hinreichend genähert werden, um die geforderten Richtwerte einhalten zu können. Die maximalen Einfahrdruckgradienten sind für die beiden Referenzfahrzeuge und für die Einfahrt auf dem Regelgleis in beide Portale in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: maximale Einfahrdruckgradienten

Fahrzeug und maximale Einfahrtgeschwindigkeit	bei Einfahrt in das Portal Dornstadt in Pa/s	bei Einfahrt in das Portal Ulm ($v_{max}=100km/h!$) in Pa/s
ICE 1/2 (250km/h)	3068	856
BR 101 (230km/h)	3101	1181

4.3 Aufsteilung der Einfahrdruckwelle

Die Aufsteilung der Einfahrdruckwelle wurde mittels „WAVE“-Simulation berechnet. Die Wellenausbreitung wurde mit einer Tunnellänge von 5.875 m für die Fahrtrichtung Stuttgart-Ulm bzw. 5.886 m für die Fahrtrichtung Ulm-Stuttgart berechnet. Die in den Planungsunterlagen ausgewiesenen Querschnittsänderungen wurden dabei berücksichtigt. In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Ergebnisse für die meteorologische Referenztemperatur 10°C und die Einfahrt eines ICE 1 mit 250 km/h bzw. einer BR101 mit 230 km/h ins Portal Dornstadt dargestellt.

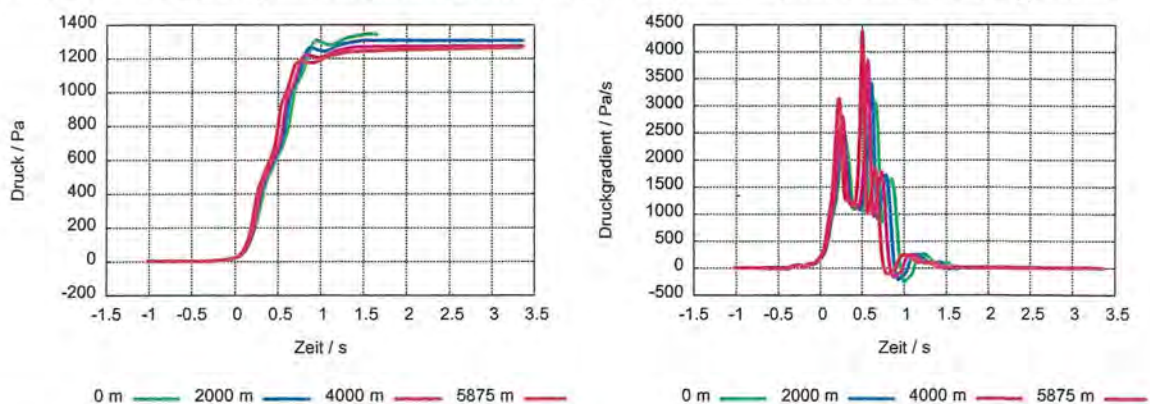


Abbildung 6: Aufsteilung der Druckwelle nach der Einfahrt eines ICE 1 mit 250 km/h ins Portal Dornstadt in verschiedenen Sektionen des Tunnels (links: Druck, rechts: Druckgradienten)

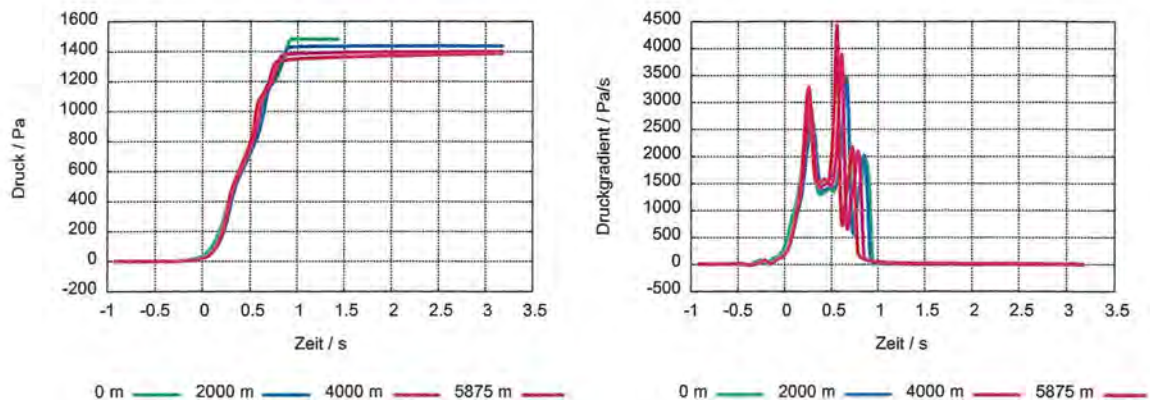


Abbildung 7: Aufsteilung der Druckwelle nach der Einfahrt einer BR101 mit 230 km/h ins Portal Dornstadt in verschiedenen Sektionen des Tunnels (links: Druck, rechts: Druckgradienten)

In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Ergebnisse für die meteorologische Referenztemperatur 10°C und die Einfahrt eines ICE 1 bzw. einer BR101 mit 100 km/h ins Portal Ulm dargestellt.

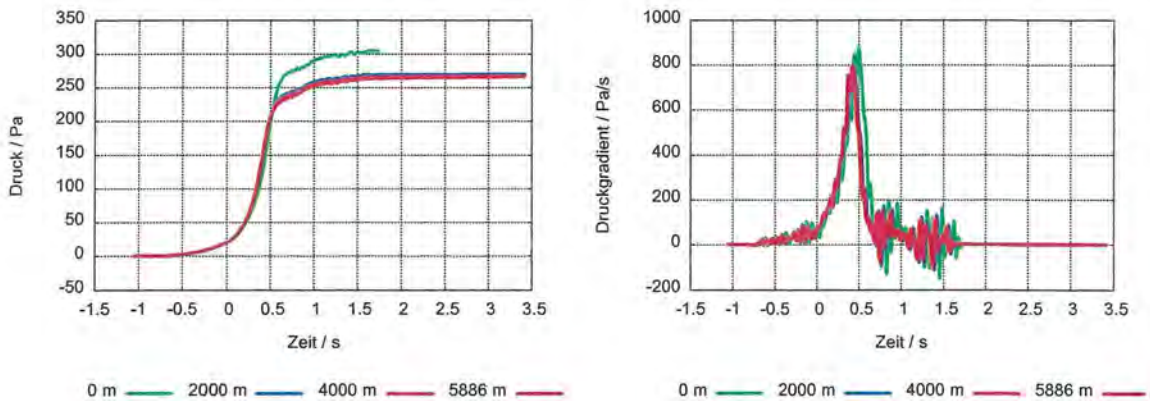


Abbildung 8: Aufsteilung der Druckwelle nach der Einfahrt eines ICE 1 mit 100 km/h ins Portal Ulm in verschiedenen Sektionen des Tunnels (links: Druck, rechts: Druckgradienten)

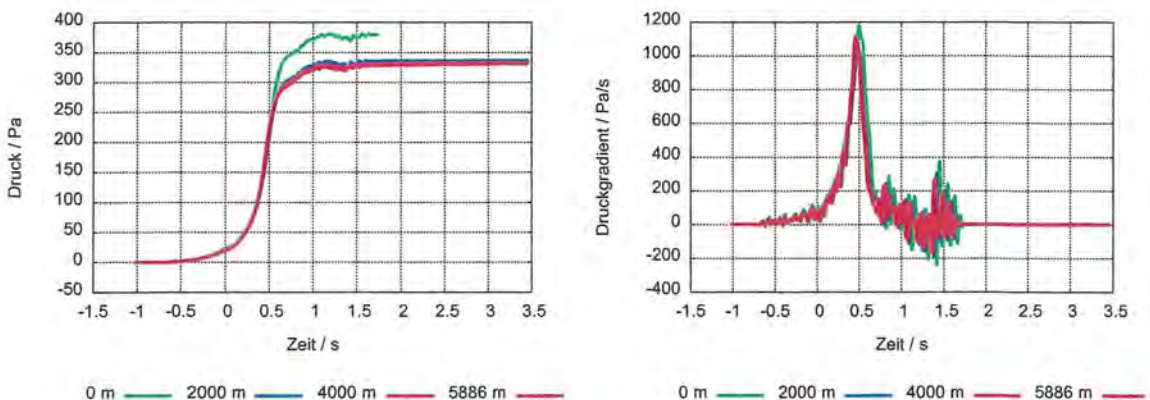


Abbildung 9: Aufsteilung der Druckwelle nach der Einfahrt einer BR101 mit 100 km/h ins Portal Ulm in verschiedenen Sektionen des Tunnels (links: Druck, rechts: Druckgradienten)

Die Berechnung der Aufsteilung erfolgte kontinuierlich, wohingegen in den Bildern ausschließlich die Drücke und Gradienten an 4 festen Positionen (am Einfahrportal, am Ausfahrportal und an 2 Positionen im Tunnelinneren) gezeigt werden.

4.4 Emission der Mikrodruckwelle

Die an den Portalen abgestrahlte MDW wurde in einem Abstand von 25 m von den Portalen berechnet. In Abbildung 10 sind die Emissionen für den Standardfall (10°C) und die Einfahrt auf dem Regelgleis grafisch dargestellt.

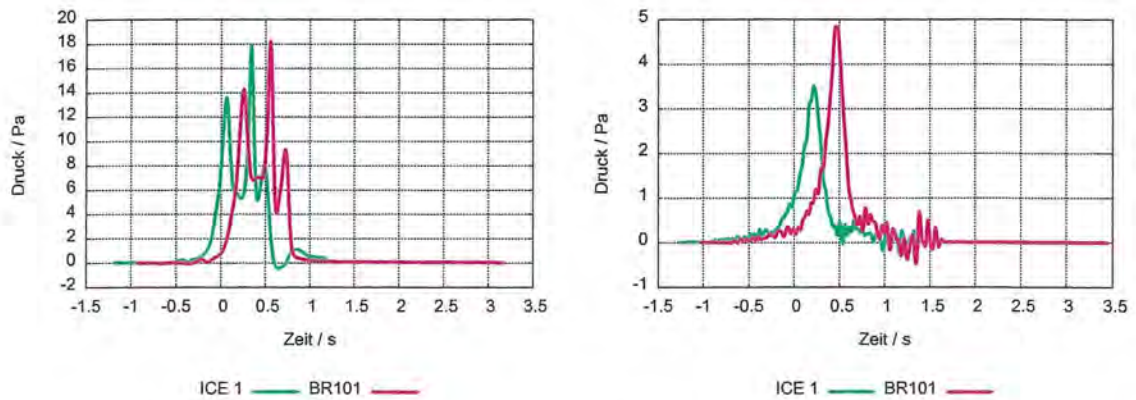


Abbildung 10: Emittierte Mikrodruckwellen in 25 m Abstand vom Ausfahrportal für die Einfahrt der Referenzfahrzeuge (Links: Emissionen am Portal Ulm, Rechts: Emissionen am Portal Dornstadt)

Diese Zeitverläufe werden für die Berechnung der akustischen Schallpegel und für die akustische Bewertung an T.TVI32(1) übergeben und an dieser Stelle nicht weiter diskutiert.

5 Zusammenfassung

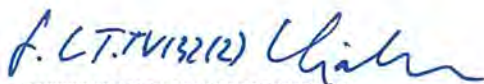
Aufgrund geänderter Randbedingungen musste der MDW-Nachweis aus dem Jahr 2009 [DB09a, DB09b] wiederholt werden. In dieser Untersuchung wurden die von den Portalen des Alabstiegstunnels abgestrahlten MDW-Emissionen analog der in der Ril 853 beschriebenen Vorgehensweise bestimmt. Diese Vorgehensweise wurde (innerhalb des Projekts BEMT) mit Behördenvertretern von Eisenbahn-Bundesamt und Umweltbundesamt fachlich und inhaltlich abgestimmt und bildet die Grundlage für alle aktuellen Tunnelplanungen

Mit den neuen Referenzfahrzeugen konnte der Nachweis für das Einfahrportal Dornstadt (mit Planungsstand 22.03.2012) zuerst nicht erbracht werden. Ein überarbeitetes Maßnahmenkonzept mit einem um 10 m unterirdisch verlängerten Haubenbauwerk am Portal Dornstadt wurde daraufhin vorgestellt und die MDW-Emissionen am Portal Ulm neu bestimmt. Das verlängerte Haubenbauwerk senkt die zu erwartenden Mikrodruckwellen-Emissionen am Portal Ulm unter die aktuell geforderten Richtwerte.

Die Untersuchungen basierten auf den im Projekt BEMT erarbeiteten Werkzeugen und Erkenntnissen. Diese ermöglichten eine Vorhersage des vollständigen Zeitverlaufs der Mikrodruckwellen, welche für eine akustische Pegelberechnung und eine abschließende Bewertung der Emissionen notwendig war.

Die von den Portalen Dornstadt und Ulm ausgehenden Emissionen wurden als vollständige Druck-Zeit-Verläufe prognostiziert. Ausgehend von der Berechnung des vollständigen Signals der Einfahrdruckwelle per CFD-Simulation bzw. aus skalierten Messungen wurde die Aufsteilung der Druckwelle im Tunnelinneren per „WAVE“-Simulation berechnet. Die an den Ausfahrportalen eintreffende Druckwelle wurde schließlich umgerechnet in die emittierte Mikrodruckwelle. Das Ergebnis der Berechnungen waren die vollständigen Drucksignale der emittierten MDW in einem Abstand von 25 m vom Ausfahrportal. Diese wurden an T.TVI32(1) „Akustik und Erschütterungen“ in digitaler Form übergeben. Die akustische Bewertung der Emissionen gemäß aktueller Ril 853 erfolgt in einem getrennten Untersuchungsbericht [DB13] durch T.TVI32(1).

6 Unterschriften

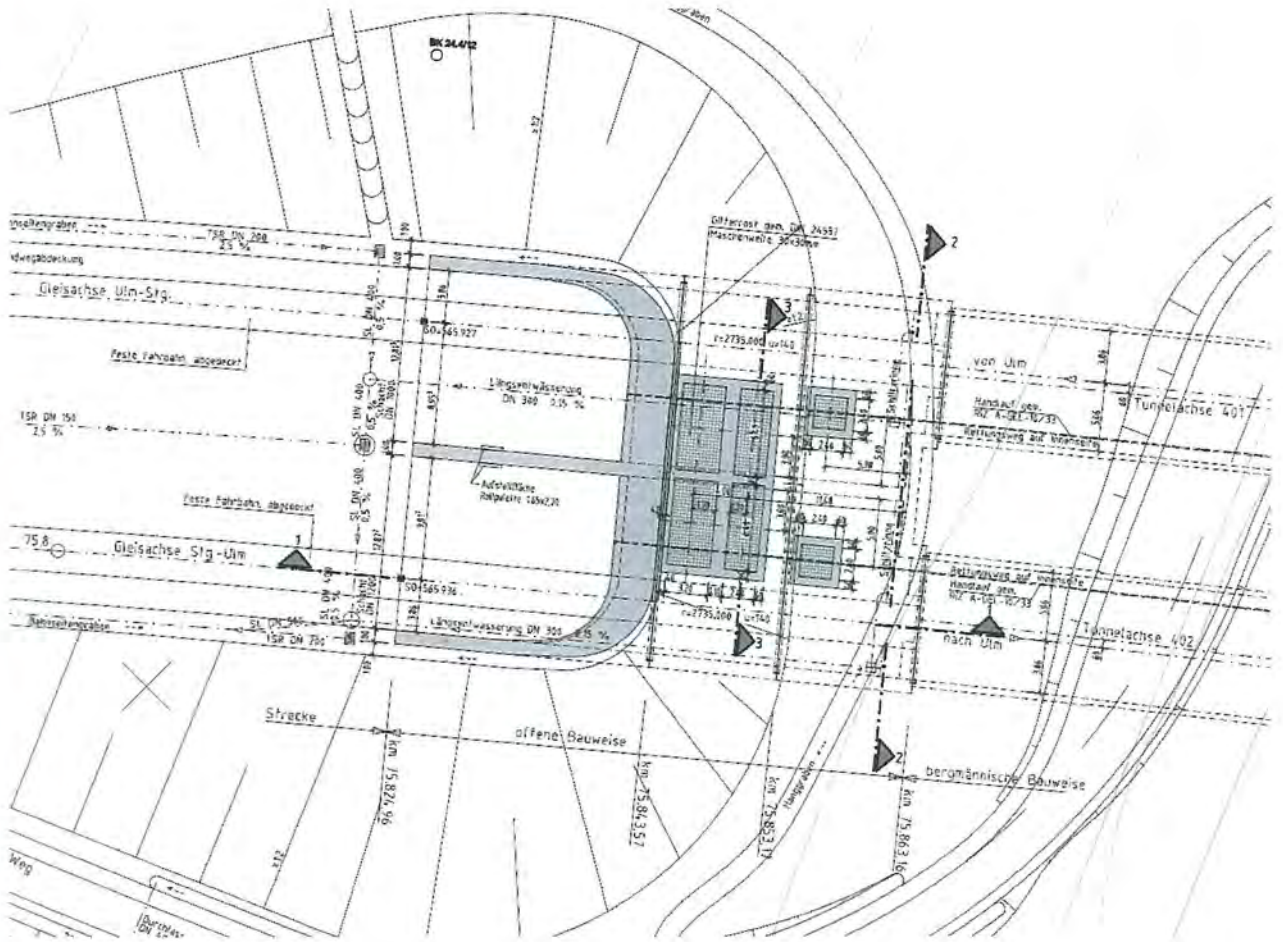


Peter Deeg
L T.TVI32(2)

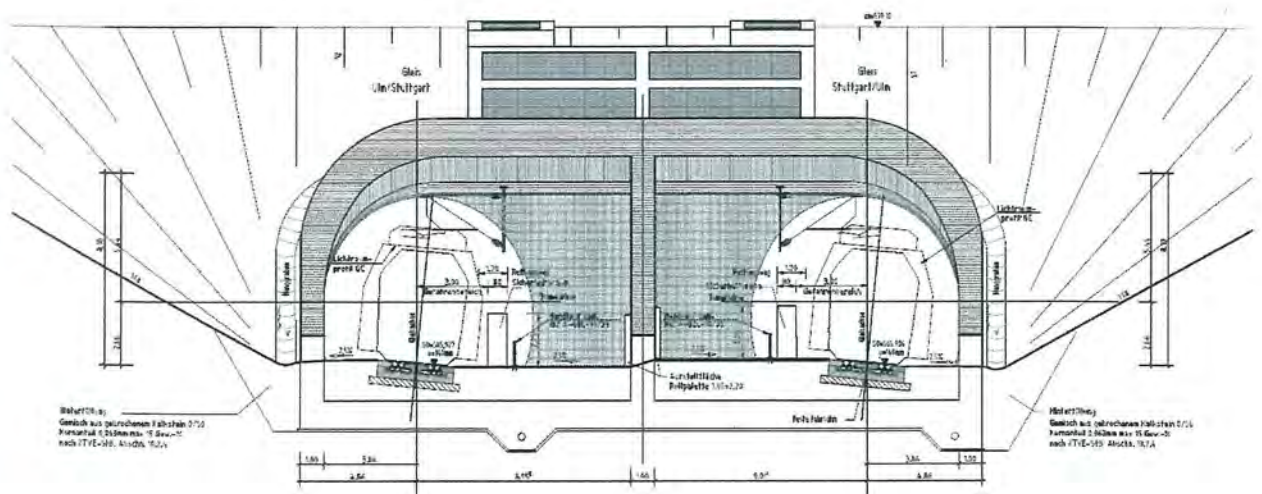


Michael Hieke
T.TVI32(2)

Anlage A1: Portal Dornstadt Lageplan
Quelle - „Anlage 4-2.3.2.6 vom 22.03.2012“ - „A04-02.03.02.06_b.pdf“

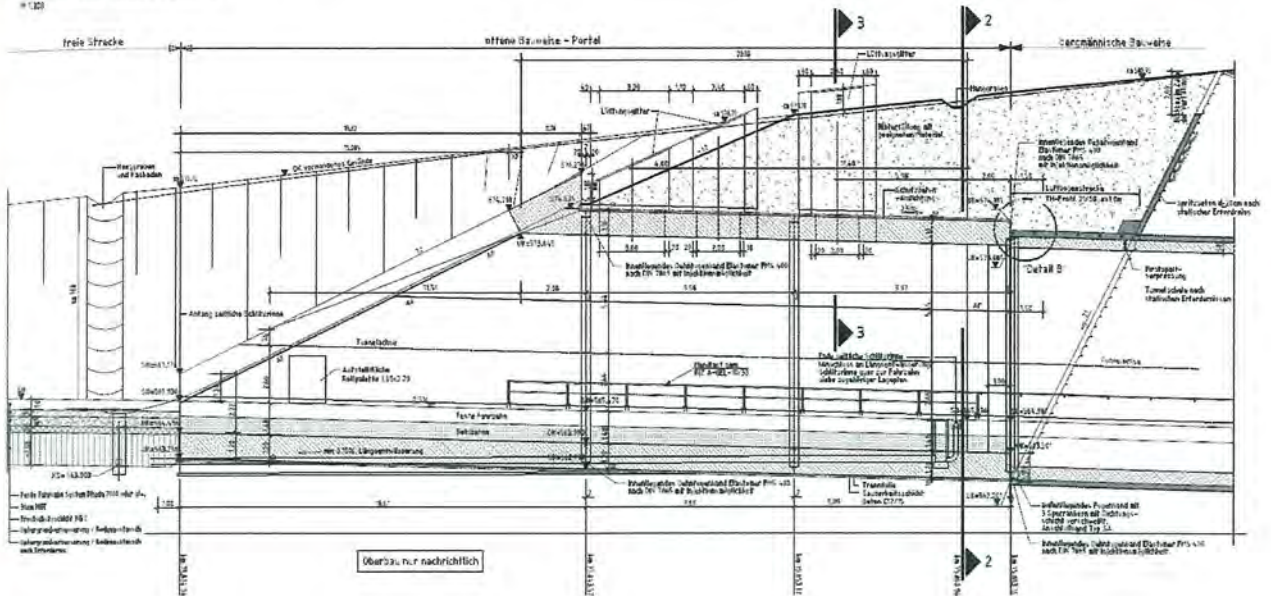


Anlage A2: Portal Dornstadt Portalansicht
Quelle - „Anlage 4-2.3.2.9 vom 22.03.2012“ - „A04-02.03.02.09_b.pdf“

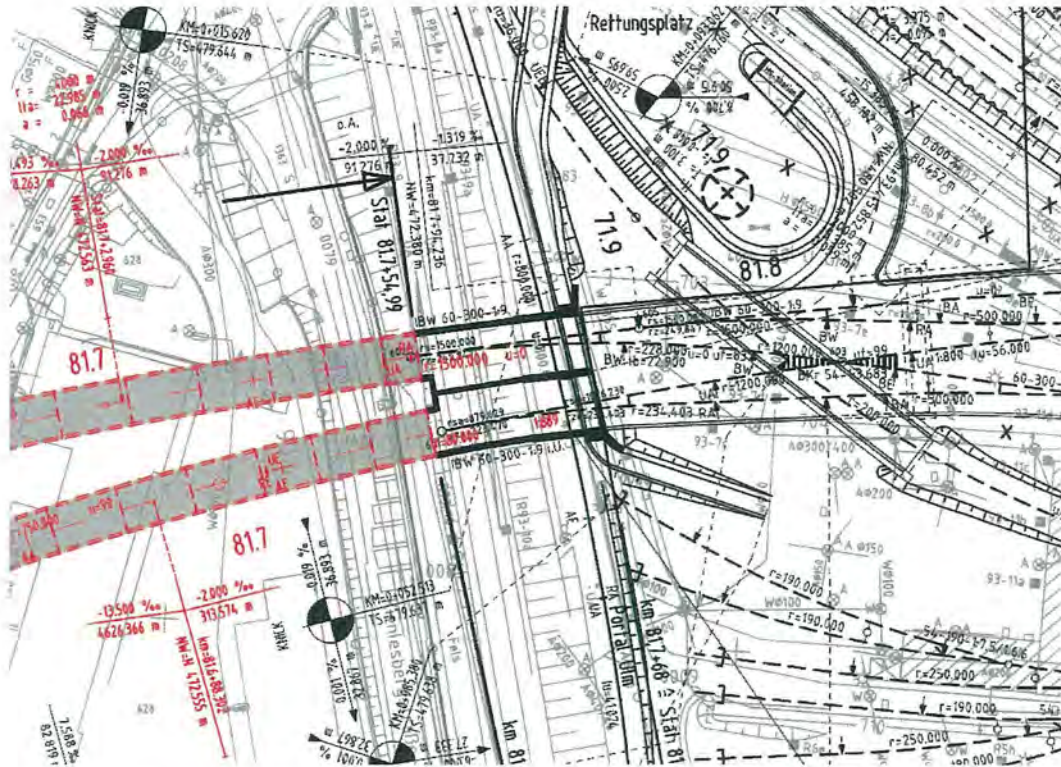


Anlage A3: Portal Dornstadt Längsschnitt
Quelle - „Anlage 4-2.3.2.8 vom 22.03.2012“ - „A04-02.03.02.08_b.pdf“

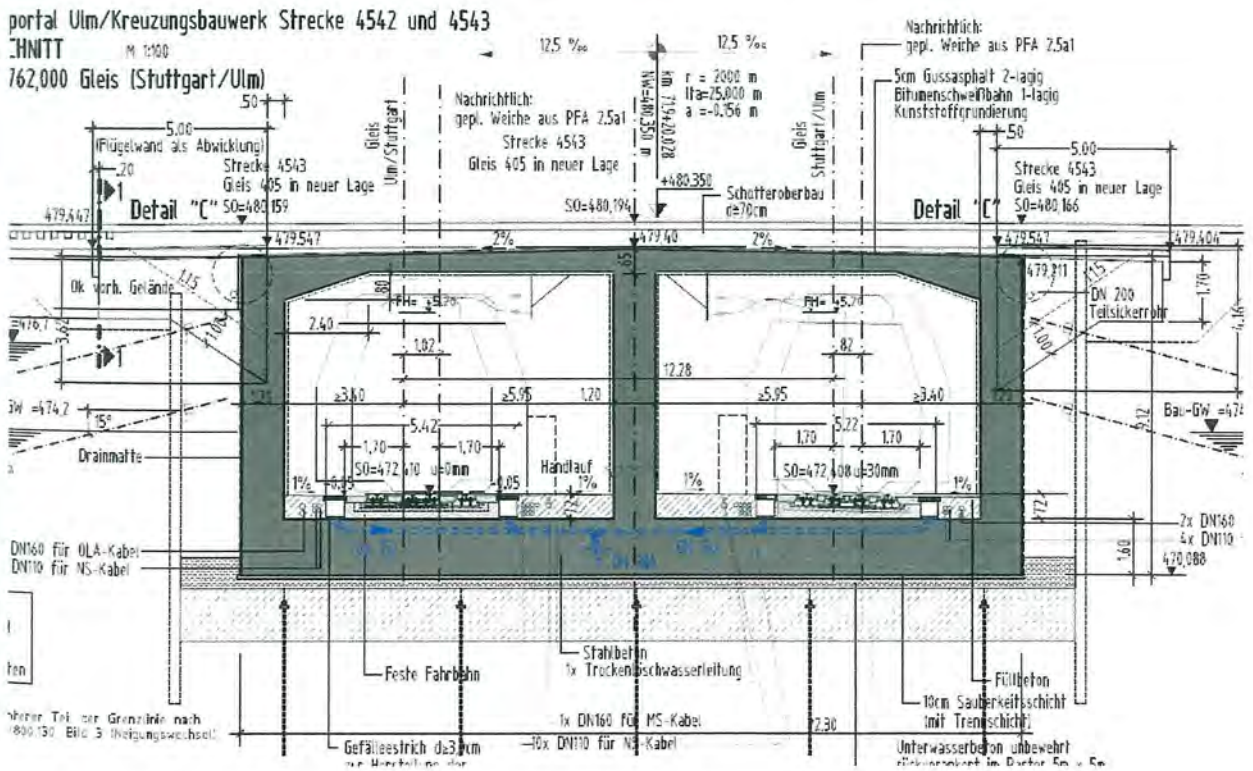
LÄNGSSCHNITT 1-1 Gleis Stuttgart/Ulm,
Portalbauwerk mit Mikro-Druckwellen-Ausgleich
km 75,824,95 bis 75,863,16 (Achse 402)
1:100



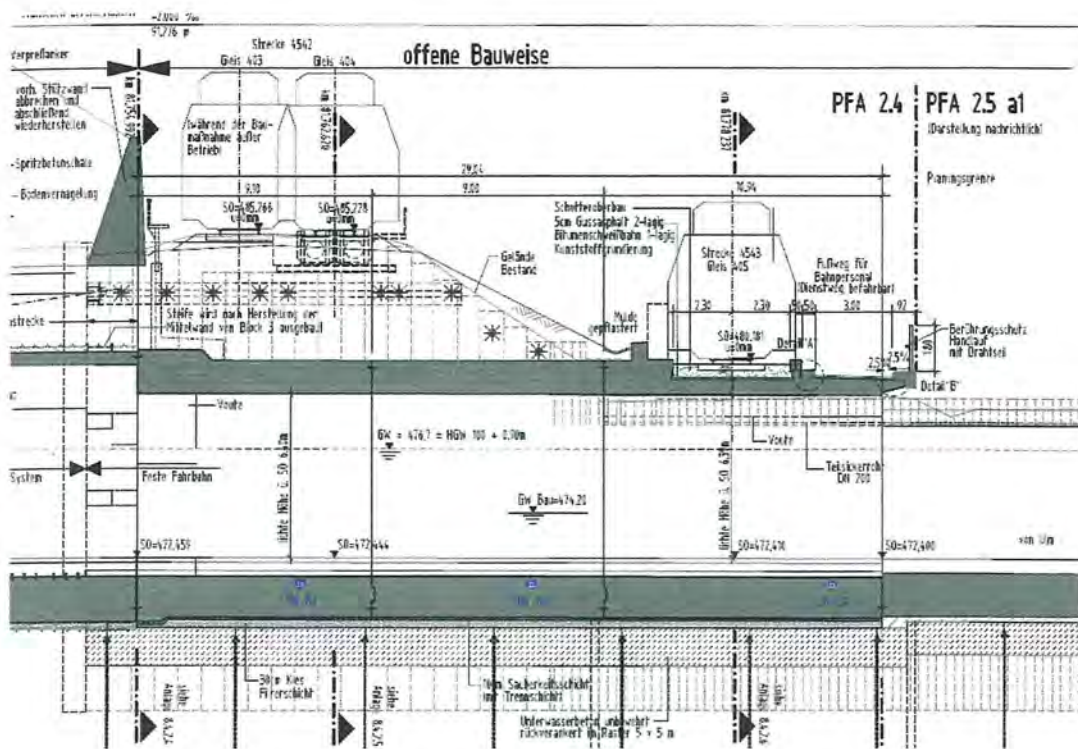
Anlage A4: Portal Ulm Lageplan
Quelle - „Anlage 8.1.9 vom 17.06.2009“



Anlage A5: Portal Ulm Portalansicht / Portalquerschnitt
Quelle - „Anlage 8.4.2.6 vom 06.07.2009“



Anlage A6: Portal Ulm Längsschnitt
Quelle - „Anlage 8.4.2.3 vom 06.07.2009“



Anlage A7: Tunnelquerschnitte Gleis Stuttgart-Ulm
Quelle - „Anlage 6.3.1 + 6.3.2 vom 29.06.2009“

Gleis Stuttgart-Ulm			
Strecken km	Länge m	Querschnitt Typ	Querschnitt m ²
75.825	38	Portalbauwerk	90
75.863	881	TM-300-40-FF	61.4
76.744	413	TM-300-50-FF	61.4
77.157	2605	TM-300-40-FF	61.4
79.762	221	TM-300-40-LMFS	61.4
79.983	212	TM-300-40-FF	61.4
80.195	1038	TM-300-50-FF	61.4
81.233	87	TM-230-50-FF	52.4
81.320	200	TM-230-50-LMFS	52.4
81.520	125	TM-230-50-SMFS	52.4
81.645	93	TM-160-50-SMFS	49.5
81.738			

Anlage A8: Tunnelquerschnitte Gleis Ulm-Stuttgart
Quelle - „Anlage 6.3.1 + 6.3.2 vom 29.06.2009“

Gleis Ulm-Stuttgart			
Strecken km	Länge m	Querschnitt Typ	Querschnitt m ²
75.831	38	Portalbauwerk	90
75.869	881	TM-300-40-FF	61.4
76.750	407	TM-300-50-FF	61.4
77.157	2612	TM-300-40-FF	61.4
79.769	225	TM-300-40-LMFS	61.4
79.994	198	TM-300-40-FF	61.4
80.192	1136	TM-300-50-FF	61.4
81.328	52	TM-300-50-LMFS	61.4
81.380	149	TM-160-50-LMFS	49.5
81.529	226	TM-160-50-SMFS	49.5
81.755			