

Die Prüfstelle ist „Assoziierter Partner  
von EISENBAHN-CERT“ und vom  
Eisenbahn-Bundesamt anerkannt.

Prüfstelle  
Pionierstraße 10  
D - 32423 Minden

## Untersuchungsbericht – Version 3

### Aerodynamische Detailuntersuchung der Maßnahmen zur Beherrschung der Mikrodruckwellen-Thematik am Albabstiegstunnel

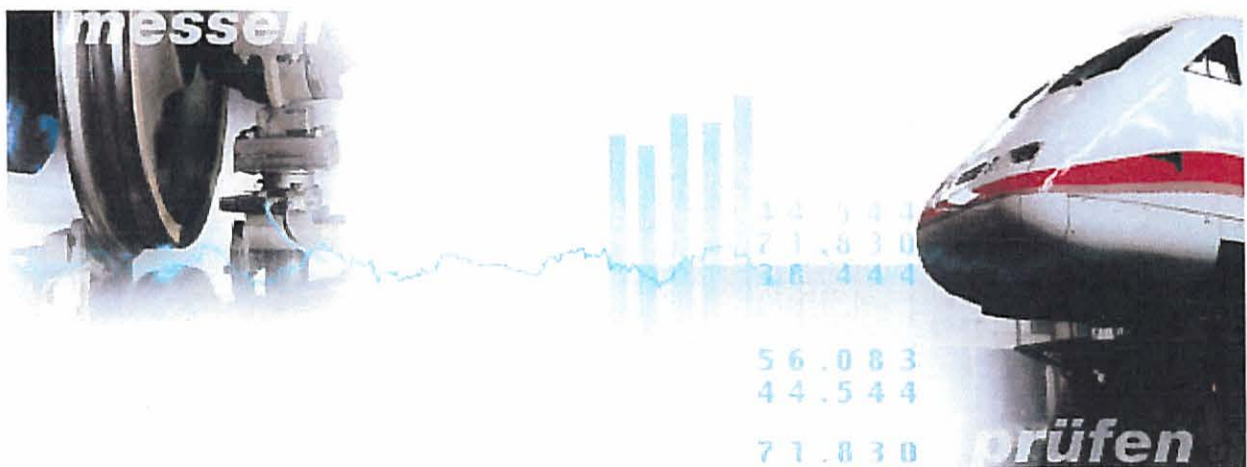


Foto: Contact TIEM

Dokument: 09-P-10633-TTZ113-MDWNachweisAero-Albabstieg-V3  
Datum: 23.11.2009

Fachabteilung: Verbund und Fahrbahntechnik  
Aerodynamik und Klimatechnik  
Völckerstraße 5  
80939 München

Zertifizierter Bereich:  
Technik/Beschaffung



Anwendung eines durch die DQS GmbH  
Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen  
zertifizierten Qualitätsmanagementsystems

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Untersuchungsbericht beschriebenen Untersuchungsgegenstände. Dieser Untersuchungsbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung der Fachabteilung.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Angaben zum Auftrag	8
2	Beschreibung des Untersuchungssachverhalts	9
2.1	Bisheriges Auftreten von Mikrodruckwellen-Phänomenen	9
2.2	Ziel und Einordnung dieser Untersuchungen	10
3	Aerodynamische Untersuchung	11
3.1	Eingangsgroßen Tunnelgeometrie	11
3.2	Eingangsgroßen Betrieb	11
3.3	Modellansätze für die verschiedenen MDW-Teilmechanismen	12
3.3.1	Generierung der Einfahrdruckwelle	13
3.3.2	Aufteilung der Einfahrdruckwelle	14
3.3.3	Emission der Mikrodruckwelle	15
3.4	Vorgehen bei der Untersuchung	16
4	Ergebnisse	17
4.1	Maßnahmenkonzept	17
4.2	Generierung der Einfahrdruckwelle	18
4.3	Aufteilung der Einfahrdruckwelle	20
4.4	Emission der Mikrodruckwelle	20
5	Zusammenfassung	21
6	Unterschriften	22

**Verzeichnis der Anlagen**

		Seite
A1	Portal Dornstadt Lageplan	23
A2	Portal Dornstadt Portalansicht	23
A3	Portal Dornstadt Längsschnitt	24
A4	Portal Ulm Lageplan	25
A5	Portal Ulm Portalansicht	25
A6	Portal Ulm Längsschnitt	26
A7	Tunnelquerschnitte Gleis Stuttgart-Ulm	27
A8	Tunnelquerschnitte Gleis Ulm-Stuttgart	28
A9	Einfahrdruckwellen bei -15°C	29
A10	Einfahrdruckwellen bei 35°C	29
A11	Aufsteilung bei -15°C	30
A12	Aufsteilung bei 35°C	30
A13	MDW Emissionen bei -15°C	31
A14	MDW Emissionen bei 35°C	31

**Verzeichnis der Abkürzungen**

Größe	Symbol	Einheit	Wert / Bemerkungen
Querschnittsfläche	$A$	$m^2$	
Schallgeschwindigkeit	$c$	m/s	Normalluftschallgeschwindigkeit: $c_0 = 343,5 \text{ m/s}$
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	$\zeta$	$^{\circ}\text{C}$	Atmosphärische Normallufttemperatur: $\zeta_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Verblockung	$\Phi$	-	= $1 - (A_{\text{zug}}/A_{\text{tun}})$
Kopf- und Portalformfaktor	$\eta$	-	wird empirisch bestimmt
Korrekturfaktor für die Abstrahlung	$\gamma_{em}$	-	
Raumwinkel für die Abstrahlung (Emission)	$\Omega$	rad	
Dichte	$\rho$	$\text{kg/m}^3$	Atmosphärische Normalluftdichte: $\rho_0 = 1,204 \text{ kg/m}^3$
Integrationsvariable für Gedächtnisintegral	$\tau$	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	$l_{\text{tun}}$
bezogen auf das Fahrzeug	$l_{\text{zug}}$

**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 6<sup>th</sup> International Colloquium on: Bluff Body Aerodynamics and Applications, Milano, Italy, 2008.
- [Be02] **Bellenoue M., Kageyama T.:** *Train/tunnel geometry effects on the compression wave generated by a high speed train.* TRANSAERO, Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Vol. 79, pp. 276-288, Springer, 2002.
- [BRD90a] **BlmSchG:** *Bundes-Immissionsschutzgesetz – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.* Fassung vom 14. Mai 1990.
- [BRD90b] **16. BlmschV:** *Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BlmSchV).* Fassung vom 12. Juni 1990.
- [CEN06] **EN 14067-5:2006:** *Railway Applications – Aerodynamics – Part 5: Requirements and Test Procedures for aerodynamics in tunnels.* Europäische Norm, CEN, Brüssel, 2006.
- [DB06a] **Deutsche Bahn AG:** *Beurteilung von Mikrodruckwellen-Ereignissen im Bereich der Tunnel Euerwang und Irlahüll der Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt.* DB Systemtechnik, Sachverständigenorganisation (SVO). Nicht-öffentliches Gutachten des Gutachters Dr. Degen, Minden, Mai 2006.
- [DB06b] **DB Netz AG:** *NBS Nürnberg-Ingolstadt – Besprechung „Mikrodruckwelle“ vom 24.05.06: Erklärung zur Inbetriebnahmegenehmigung (Selbstverpflichtungserklärung).* Nicht-öffentliches Schreiben an den Präsidenten des Eisenbahn-Bundesamtes vom 26.05.06.
- [DB06c] **Deutsche Bahn AG:** *Projektstudie Beherrschung der Mikrodruckwellen-Thematik (PS BEMT).* Nicht-öffentlicher Bericht 06-P-4663-TZF13, DB Systemtechnik, TZF 13 Aerodynamik und Klimatechnik, München, Oktober 2006.
- [Hie09] **Hieke M., Kaltenbach H.-J., Tielkes T.:** *Prediction of micro-pressure wave emissions from high-speed railway tunnels.* Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, New Brunswick, USA, 2009, BHR Group, pp. 487-501.
- [EG02] **TSI HS RST 2002:** *Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (TSI Rolling Stock).* Veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 245/402 vom 12.9.2002.
- [EG03] **Richtlinie 2003/10EG:** *Richtlinie 2003/10/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm).*
- [EG08] **Revision TSI HS RST:** *Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (TSI Rolling Stock).* Veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L84/132 vom 26.03.2008. In Kraft ab 01.09.2008.
- [Ho00] **Howe M.S., Iida M., Fukuda T.:** *Theoretical and experimental investigation of the compression wave generated by a train entering a tunnel with a flared portal.* Journal of Fluid Mechanics, Vol. 425 (2000), pp. 111-132.
- [Ho04] **Howe M.S.:** *On the design of a tunnel-entrance hood with multiple windows.* Journal of Sound and Vibration, Vol. 273 (2004), pp. 233-248.
- [Hr03] **Herb J., Deeg P., Tielkes Th.:** *Assessment of possible sonic boom effects in German high-speed railway tunnels – experimental and numerical data for the wave steepening*

- process*. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, Luzern, Switzerland, 2003, BHR Group, pp. 775-782.
- [Nk06] **N’Kaoua J. et al.:** *A parametric study into the factors affecting the development and alleviation of micro-pressure waves in railway tunnels*. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, Portoroz, Slovenia, 2006, BHR Group, pp. 789-803.
- [Oz91] **Ozawa S. et al.:** *Countermeasures to reduce micro-pressure waves radiating from exits of Shinkansen tunnels*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, Brighton, UK, 1991, BHR Group, pp. 253-266.
- [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 9<sup>th</sup> 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., Januar 2007
- [RTRI96] **Railway Technical Research Institute:** *Definition of the tunnel geometry for the avoidance of sonic boom*. Untersuchungsbericht zu Auftragsmessungen für die Deutsche Bahn AG, Forschungs- und Technologiezentrum, ZBT 52 Aerodynamik, August 1996.
- [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 6<sup>th</sup> International Colloquium on: Bluff Body Aerodynamics and Applications, Milano, Italy, 2008.
- [SW02] **Schulte-Werning B. et al. (eds.):** *TRANSAERO – A European Initiative on Transient Aerodynamics for Railway System Operation*. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Vol. 79, Springer, 2002.
- [So96] **Socket H., Ehrendörfer K.:** *Verformung einer Druckwelle in einem Eisenbahntunnel infolge eines Schotterbetts und seitlicher Kammern*, Untersuchungsbericht im Auftrag der DB AG, März 1996.
- [Ti06] **Tielkes Th.:** *Aerodynamic Aspects of Maglev Systems*. In R. Schach, M. Witt (Eds.): *Maglev’ 2006 Germany – Proceedings of the 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*. Dresden 2006, Vol. II, ISBN 3-86005.535-6, pp. 641-649.
- [Ti08] **Tielkes Th., Kaltenbach H.-J., Hieke M., Deeg P., Eisenlauer M.:** *Measures to Counteract Micro-pressure Waves Radiating from Tunnel Exits of DB’s New Nuremberg-Ingolstadt High-speed Line*. In: *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Vol. 99, pp. 40-47, Springer, 2008.

**Dokumentenhistorie**

Version	Datum	Änderungen
1	16.11.2009	-
2	18.11.2009	<p>Es wurde fälschlicherweise für das Portal Ulm von einer Abstrahlung in die freie Umgebung ausgegangen. Das Portal Ulm endet in einem Trogbauwerk.</p> <p>Entsprechende Textpassagen wurden korrigiert.</p> <p>In Kapitel 3.3.3 wurden die dem Portal Ulm zuzuordnenden Abstrahlwinkel <math>\Omega</math> von 3,2 auf 2,6 korrigiert. Die nachfolgenden Ergebnisse wurden neu bestimmt und die Bilder entsprechend korrigiert.</p>
3	23.11.2009	<p>Aufgrund der Änderungen in Version 2 kann der nachfolgende akustische Nachweis nicht mehr für alle geforderten Fahrzeuge erbracht werden. Das Portal Dornstadt muss dafür entsprechend modifiziert werden.</p> <p>In Abstimmung mit dem AG wurde ein geeignetes Maßnahmenkonzept (bestehend aus einer Modifikation der in der Planung vorgesehenen Entlüftungsöffnungen) erstellt. Es wurde ein zusätzliches Kapitel 4.1 eingefügt, in dem diese Maßnahme detailliert beschrieben wird.</p> <p>Die nachfolgenden Ergebnisse wurden für diese Maßnahme neu bestimmt und alle Bilder entsprechend korrigiert.</p>

Dieses Dokument ersetzt das Dokument „09-P-10633-TTZ113-MDWNachweisAero-Albabstieg-V2“ vom 18.11.2009 und alle früheren Versionen.

## 1 Angaben zum Auftrag

### Aufgabenstellung:

Es sollen die von den Portalen des Albabstiegstunnels emittierten Mikrodruckwellen als vollständige Drucksignale bestimmt werden. Diese Signale dienen als Ausgangsbasis für die nachfolgende akustische Bewertung, welche den Nachweis erbringen soll, dass die Mikrodruckwellenemissionen am Albabstiegstunnel nach Anpassung und Umsetzung der geplanten baulichen Gegenmaßnahmen die aktuellen Richtwerte einhalten. Die Beauftragung erfolgte per Leistungsvereinbarung 09-P-10633-VTZ113-MDW-Nachweis-UlmWendlingen-v3 vom 10.06.2009.

### Auftraggeber:

DB Projektbau GmbH  
I.BV-SW-G(2)  
Räpplenstraße 17  
70191 Stuttgart

### Fachabteilung:

Deutsche Bahn AG  
Vorstandsressort Technik, Systemverbund und Dienstleistungen  
DB Systemtechnik  
TTZ 113 Aerodynamik und Klimatechnik  
Völckerstraße 5  
80939 München

### Umfang des Berichtes und der Anlagen:

31 Seiten (davon 9 Seiten Anlagen)

### Verteiler des Untersuchungsberichtes:

5 x Auftraggeber  
2 x TTZ 113



## 2 Beschreibung des Untersuchungssachverhalts

### 2.1 Bisheriges Auftreten von Mikrodruckwellen-Phänomenen

Im Rahmen von Versuchsfahrten auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt trat im Dezember 05 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. 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).

Die Mechanismen, die zu einer Entstehung einer hörbaren Mikrodruckwelle (MDW) führen können, sind in der Literatur (z.B. [Oz91, NK06, SW02]) ausführlich beschrieben. Im Wesentlichen wird die Entstehung hörbarer MDW durch hohe Zugeinfahrtsgeschwindigkeiten in den Tunnel, enge Tunnelquerschnitte, große Tunnellängen sowie die Abwesenheit – sprich Feste Fahrbahn – von dem Mechanismus entgegenwirkender nennenswerter Reibung und Dispersion (wie sie in Tunnel mit Schotteroberbau vorliegt) bedingt.

Vor diesem Hintergrund ist es erklärbar, dass in den bisherigen zweigleisigen, 92 qm großen und mit einer Festen Fahrbahn versehenen SFS-Tunneln der NBS Köln-Rhein/Main keine MDW-Erscheinungen auftreten; der längste Tunnel der NBS Köln-Rhein/Main – der Schulwaldtunnel – ist mit 4500 m Länge „zu kurz“, als dass sich ein MDW-Phänomen ausbilden kann. Die bestehenden, langen SFS-Tunnel (z.B. Landrückentunnel mit mehr als 10 km Länge) auf den SFS Hannover-Würzburg und SFS Mannheim-Stuttgart sind in Schotteroberbau ausgeführt, so dass auch hier keine MDW-Erscheinungen auftreten.

Unter betrieblichen Bedingungen sind Mikrodruckwellen-Erscheinungen bisher nur aus Japan bekannt. Hier trat das Mikrodruckwellen-Phänomen erstmals 1975 mit dem Ausbau der Sanyo Shinkansen Strecke auf und ist seither ein Standardaspekt der Tunnelaerodynamik japanischer Shinkansen-Linien. In Europa sind bisher unter betrieblichen Bedingungen keine Mikrodruckwellen-Phänomene aufgetreten; Mikrodruckwellen-Erscheinungen konnten nur in speziellen Versuchen „künstlich“ (Erhöhung des Versperrungsmaßes durch Paralleleinfahrt zweier Züge) hervorgerufen werden [SW02, Hr03].

Bei den Versuchsfahrten auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt traten hingegen im Dezember 2005 erhebliche MDW-Emissionen an den Portalen der 7300 m bzw. 7700 m langen Tunnel Irlahüll und Euerwang auf [Ti06]. Diese Tunnel sind zweigleisig mit einem 92 qm-Regelquerschnitt und besitzen eine Feste Fahrbahn. Zur Minderung der MDW-Problematik dieser beiden Tunnel wurde für beide Tunnel eine Ausrüstung mit Gleisabsorbieren – die ähnlich einem Schotteroberbau dem MDW-Entstehungsmechanismus durch Reibung und Dispersion entgegen wirken – beschlossen<sup>1</sup>. Das Maßnahmenpaket wurde im März und April 2006 erfolgreich umgesetzt und hat zu einer deut-

<sup>1</sup> Die NBS Nürnberg-Ingolstadt war ursprünglich mit Schotteroberbau planfestgestellt. Nach dem Entschluss eine Feste Fahrbahn zu verbauen, fand eine Neubewertung der MDW-Thematik nicht statt. Die im Frühjahr ergriffene Maßnahme der Absorberausrüstung der Tunnel ist dem damals gegebenen, noch verbleibenden Terminrahmen bis zur IBN geschuldet. Für künftige Bauvorhaben, in denen MDW-Gegenmaßnahmen zu einem früheren Zeitpunkt eingebracht werden können, werden andere, wirtschaftlichere Gegenmaßnahmen möglich sein.

lichen Minderung der MDW-Emissionen geführt. Am 28.05.06 konnte dann planmäßig der kommerzielle Betrieb auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt aufgenommen werden.

## 2.2 Ziel und Einordnung dieser Untersuchungen

Vor dem Hintergrund der MDW-Vorkommnisse auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt und der dort gewonnenen Erkenntnisse ist es Aufgabe dieser Untersuchung, die von den Tunnelportalen des Albabstiegstunnels ausgehenden MDW-Emissionen zu prognostizieren. An den zu untersuchenden Portalen sind bereits Gegenmaßnahmen, sogenannte Portalhauben, in den Planfeststellungsunterlagen ausgewiesen. Eine Neubewertung dieser Maßnahmen nach aktuellem Erkenntnisstand [Hie09] ist jedoch noch nicht durchgeführt worden und soll an dieser Stelle erfolgen. Die Bewertung der Wirksamkeit der Hauben erfolgt in dieser Untersuchung nach neuesten Erkenntnissen, die innerhalb des bauvorhaben-übergreifenden Projekts BEMT (Beherrschung Mikrodruckwellen-Thematik, [DB06c]), erarbeitet wurden. Die Entwicklung geeigneter Werkzeuge zur Prognose der emittierten MDW innerhalb des Projekts BEMT ist abgeschlossen, gegenwärtig läuft die Abstimmung mit dem EBA über die einzuhaltenden Richtwerte und die entsprechenden Nachweisverfahren.

Die vorliegende Untersuchung stützt sich dabei auf folgende Grundlagen:

- die Auswertung und Interpretation der in 1:1-Versuchen auf der NBS Nürnberg-Ingolstadt gewonnenen eigenen Messdaten;
- die Erfahrungen mit der Nachweisführung und Bewertungskriterien-Festsetzung zur Mikrodruckwellen-Thematik an der NBS Nürnberg-Ingolstadt und am Katzenbergtunnel (ABS Karlsruhe-Basel);
- die Auswertung und Interpretation der in 1:1-Versuchen, in denen hörbare Mikrodruckwellen „künstlich“ generiert wurden, gewonnenen eigenen Messdaten;
- die Auswertung und Interpretation der in verschiedenen, beim RTRI (Japan) und bei AEA-T Rail bzw. DeltaRail (Großbritannien) im Auftrag der DB Systemtechnik, TZF 13 Aerodynamik und Klimatechnik durchgeführten, Modellversuchen gewonnenen Messdaten;
- die Auswertung und Interpretation von Simulationsrechnungen;
- veröffentlichte (japanische) Messdaten, Modellierungsansätze und Maßnahmenempfehlungen;
- unseren Erfahrungsaustausch mit dem japanischen Railway Technology Research Institute (RTRI);
- die Modellierungsvorschriften und Werkzeuge, die auf Basis dieser Erfahrungen aufgestellt und an die Bedingungen der zu untersuchenden Tunnel angepasst wurden.

Weitestgehend repräsentieren diese Grundlagen das in Deutschland, Europa und Japan vorhandene Fachwissen zur Mikrodruckwellen-Thematik.

Das Ziel dieser rein aerodynamischen Untersuchung ist ausschließlich die Bestimmung des Zeitverlaufs der MDW-Emissionen im Bereich der Portale des Albabstiegstunnels. Eine akustische Bewertung bzw. eine Einordnung der Emissionen bezüglich der aktuell diskutierten Richtwerte erfolgt in einer getrennten Untersuchung durch TTZ 112 „Akustik und Erschütterungen“. Die in dieser Untersuchung ermittelten Zeitverläufe werden an TTZ 112 übergeben, um aus den Signalen die geforderten Schallpegel abzuleiten und akustisch zu bewerten.

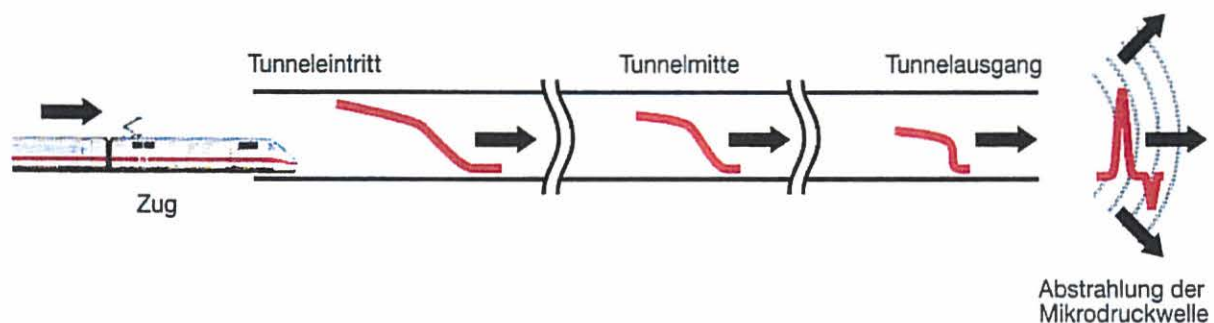


jeweils mit 250 km/h verkehren. Züge des konventionellen Verkehrs erzeugen aufgrund ihrer geringeren Fahrgeschwindigkeiten geringere Mikrodruckwellen und werden daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

Für das Portal Ulm mit einer max. Einfahrtsgeschwindigkeit von 100 km/h wird die MDW-Thematik durch konventionelle Fahrzeuge dominiert, deren aerodynamische Eigenschaften noch schlechter sein können als die des TSI-Zuges. Aus diesem Grund wird für die Einfahrt ins Portal Ulm als ungünstigstes Fahrzeug eine Lok BR-101 betrachtet.

### 3.3 Modellansätze für die verschiedenen MDW-Teilmechanismen

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



**Bild 2:** Prinzipskizze der verschiedenen Teilmechanismen des Mikrodruckwellen-Phänomens

Bei der Einfahrt des Zugkopfes in den Tunnel entsteht durch die plötzliche Querschnittsänderung die Einfahrdruckwelle, 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 sogenannte Einfahrdruckwelle während ihrer Laufzeit durch den Tunnel stetig auf. Im hinteren Teil der Welle ist der Druck dann höher als im Vorderen. 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 wird.

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. Die in vorangegangenen MDW-Untersuchungen anderer Bauprojekte verwendeten empirischen Ansätze sind inzwischen im Projekt BEMT weiterentwickelt worden und ermöglichen die Bestimmung der emittierten MDW mit dem vollständigen Druckverlauf und nicht mehr nur der maximalen Gradienten und Amplituden.

### 3.3.1 Generierung der Einfahrdruckwelle

Für die Berechnung des Verlaufs der Einfahrdruckwelle in dieser Untersuchung wird die Einfahrt des Zuges per instationärer 3D-Strömungssimulation [Sch08] berechnet. Zum Einsatz kommt dabei die kommerzielle Software ANSYS-CFX in der Version 12.0. Mittels ICEM-CFD in der Version 12.0 werden die Berechnungsgitter erzeugt, mit denen die Simulationen durchgeführt werden. Für das Portal Dornstadt wird ein Rechengitter erzeugt, welches die lokale Geometrie geeignet abbildet.

Das Rechengitter ist zweigeteilt. Es besteht 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 kann. Für den beweglichen Zugteil wird auf ein bereits existierendes Gitter des ICE 3 zurückgegriffen. 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	km/h
Zeitschrittweite	0,0048	S
Fahrzeug	ICE 3	

Die Einfahrdruckwellen im Falle von davon abweichenden Randbedingungen (beispielsweise eine andere Temperatur und damit geänderte Dichte und Schallgeschwindigkeit) sind näherungsweise skalierbar entsprechend dem Ansatz aus [Ti08]:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \cdot v_{zug}^2 \cdot f(M, \Phi) \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = \eta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{zug}^3 \cdot f(M, \Phi) \cdot \frac{1}{d_{h,tun}} \quad (2)$$

$$f(M, \Phi) = \frac{1 - \Phi^2}{\left(1 - \frac{v_{zug}}{c_0}\right) \left(\frac{v_{zug}}{c_0} + \Phi^2\right)} \quad (3)$$

Die Einfahrdruckwelle anderer Fahrzeuge wird basierend auf der Einfahrdruckwelle des ICE 3 so skaliert, dass der maximale Einfahrdruckgradient des ICE 1 6% größer ist als der des ICE 3 und der Einfahrdruckgradient des TSI-Zuges 30% größer ist als bei der ICE 3 Einfahrt.

Der „TSI-Zug“ stellt an dieser Stelle eine Besonderheit dar, da für diesen virtuellen Zug keine eindeutigen Vorgaben zum Fahrzeugquerschnitt und zur Kopfform gemacht werden können. Die tunnelaerodynamischen Eigenschaften dieses Fahrzeugs sind vielmehr durch die Anforderung § 4.2.6.4 der TSI HS RST [EG08] indirekt vorgegeben. Eine Auswertung und Übertragung dieser Anforderung resultiert in dem Ansatz, dass für den „TSI-Zug“ über den Geschwindigkeitsbereich von 250 km/h bis 300 km/h ein Einfahrdruckgradient angesetzt werden kann, der dem 1,3-fachen Einfahrdruckgradienten eines ICE 3-Zugkopfes bei gleicher Geschwindigkeit entspricht.

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 Albabstiegstunnel. Die Einfahrdruckwellen werden für 3 verschiedene Fahrzeuge (ICE 1, ICE 3 und BR-101) aus den in Tabelle 2 dargestellten Messungen bestimmt. Die Einflüsse von unterschiedlicher Verblockung, Einfahrtsgeschwindigkeit und meteorologischen Größen werden über den zuvor genannten Skalierungsansatz ausgeglichen.

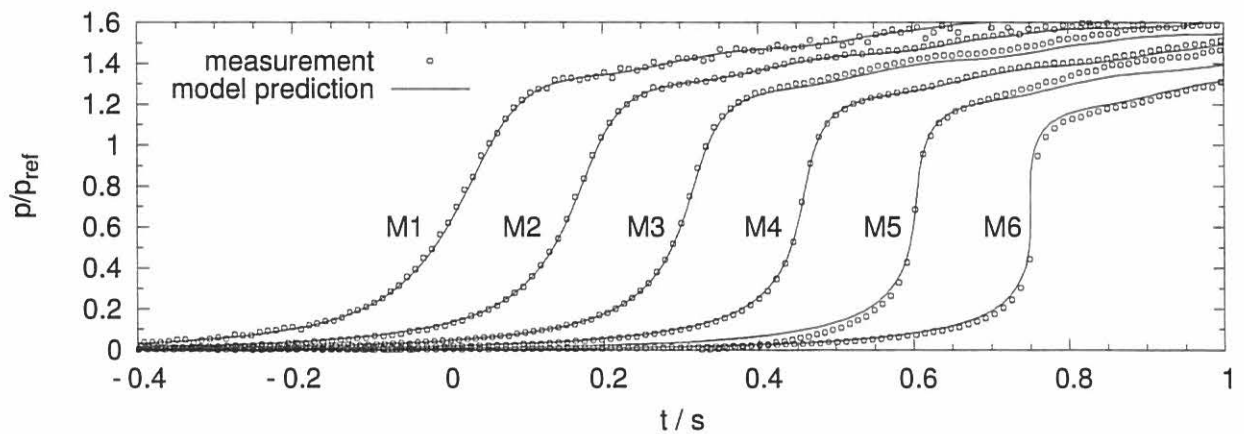
**Tabelle 2:** Messungen zur Bestimmung der Einfahrdruckwelle Portal Ulm

Fahrzeug	Messung	Einfahrtsgeschwindigkeit 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
ICE 3	06110711	297	6	970
ICE 3	06110726	296	7	972

### 3.3.2 Aufsteilung der Einfahrdruckwelle

Die Berechnung der Aufsteilung 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 Aufsteilung 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 (Betonschalung) dieser beiden Tunnel ist repräsentativ für neue HGV-Tunnel, so dass die aerodynamischen Eigenschaften vergleichbar mit dem Albabstiegstunnel sind. In Bild 3 ist ein Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Druckwellen dargestellt.



**Bild 3:** Vergleich von gemessenen und berechneten Druckverläufen an 6 Positionen innerhalb des Euerwagtunnels 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 <sup>2</sup>
Hydr. Durchmesser	8,5    7,8    7,5	m
bei Unstetigkeiten	Alte Werte benutzen	

Die unterschiedlichen Tunnelquerschnitte werden in der Berechnung mit berücksichtigt.

### 3.3.3 Emission der Mikrodruckwelle

Wenn die dem Zugkopf voraus laufende Verdichtungswelle das Ausfahrtportal 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:

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

Dabei bezeichnet  $r$  den Abstand vom Portal entlang der Tunnelachse und  $\Omega$  den Raumwinkel, der über die Abstrahlung in die Portalumgebung charakterisiert ist. Der Faktor  $\gamma_{em}$  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 Portalumgebung durch Trogvorbauten oder Einschnitte versperrt, muss das durch Verminderung von  $\Omega$  berücksichtigt werden.

Neueste 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 Albabstiegstunnel 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 Albabstiegstunnel 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.

### 3.4 Vorgehen bei der Untersuchung

Über die in Abschnitt 3.3.1 beschriebene CFD-Lösung mittels „ANSYS-CFX 12.0“ 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 Aufsteilungsansatz 3.3.2 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 3.3.3.

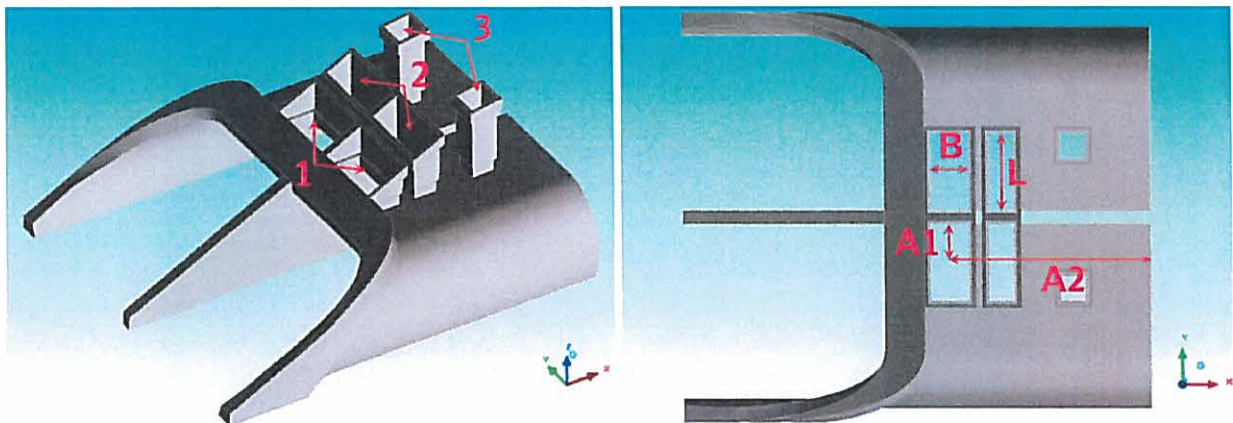
Die berechneten MDW-Signale werden an TTZ 112 „Akustik und Erschütterungen“ zur Bestimmung der akustischen Pegel und für die akustische Bewertung der MDW-Emissionen übergeben. Die Vorgehensweise zur Pegelbestimmung und der Bewertung sind nicht Bestandteil dieser aerodynamischen Untersuchung und werden in einem separaten Bericht durch TTZ 112 dargestellt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Maßnahmenkonzept

Das Portalbauwerk Dornstadt besitzt an beiden Richtungsgleisen Entlüftungsöffnungen, die in der Planung detailliert beschrieben sind. Mit dieser Öffnungskonfiguration gelingt der Nachweis in der MDW-Thematik ausschließlich für die Fahrzeuge ICE 1/2 und ICE 3. Für den TSI-Zug überschreiten die MDW Emissionen die aktuellen Richtwerte. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Entlüftungsöffnungen (Querschnitt und Position) am Portal Dornstadt soweit modifiziert, bis auch der Nachweis für den TSI-Zug erbracht werden konnte.

Der Nachweis erfolgt dabei grundsätzlich für die Fahrt auf dem Regelgleis. Unter der Randbedingung eines restriktionsfreien Gleiswechselbetriebs muss die für das Regelgleis entworfene Portalhaube inklusive der spezifischen Anordnung der Öffnungen auch am Gegengleis angewendet werden. Für das Bauwerk Dornstadt ist das ohne Einschränkungen möglich. Hinweis: Sollte eine Übernahme des Haubenkonzepts vom Regelgleis nicht möglich sein, muss im Falle von Gleiswechselbetrieb eine Geschwindigkeitsreduktion im Bereich des Portals erfolgen.



**Bild 4:** Detailzeichnung des Portalbauwerks Dornstadt (links: 3D Ansicht, rechts: Ansicht von oben)

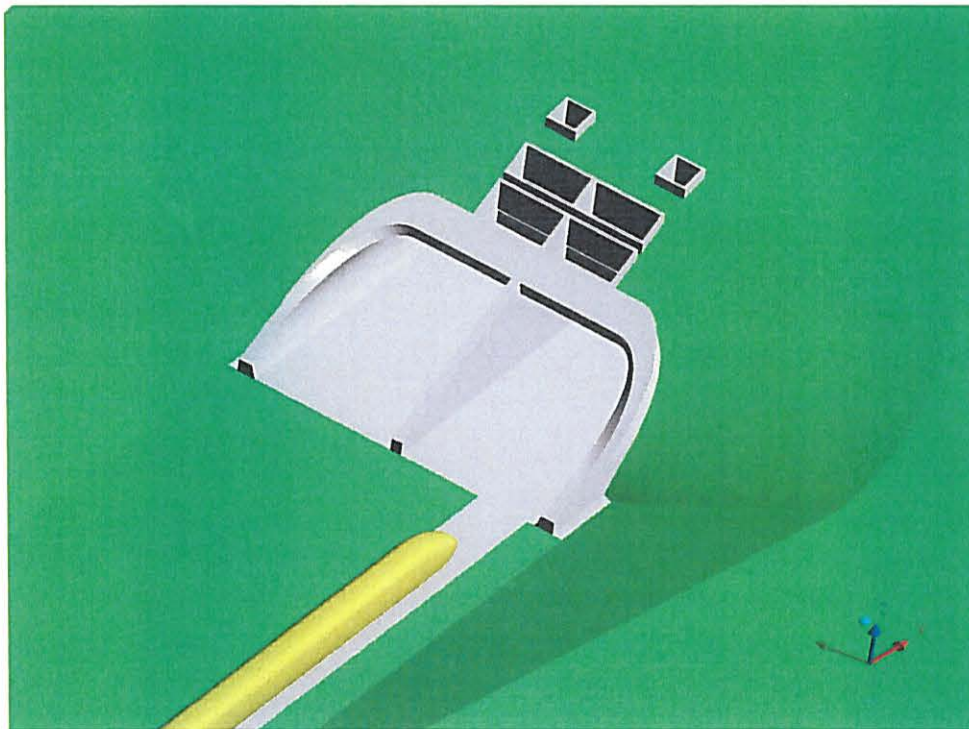
Für die Portal Dornstadt wurde ein Konzept erarbeitet, welches das in Bild 4 dargestellte Haubenbauwerk umfasst. Die Form und Größe des Bauwerks und auch die Anzahl der Öffnungen sind gegenüber der ursprünglichen Planung nicht verändert. Einzig die Größe und Position der Entlüftungsöffnungen wurde gegenüber der vorliegenden Planung modifiziert.

Die neue Position und Größe der einzelnen Öffnungen sind in Tabelle 5 abgebildet. Die Öffnungen haben den beschriebenen lichten Querschnitt im Bereich der Decke des Haubenportals, oberhalb (in der Überschüttung) wurde eine zusätzliche Aufweitung um 20 cm im Geometriemodell abgebildet. Alle Entlüftungsschächte enden 1 m über der Geländeoberkante.

**Tabelle 5:** Größe und Position der Entlüftungsöffnungen im Portalbauwerk Dornstadt (siehe Bild 4)

Öffnung	Abstand A1 (Mittelpunkt Öffnung zur Mittelwand) in m	Abstand A2 (Mittelpunkt Öffnung zur Rückwand) in m	Breite B in m	Länge L in m
1	3	15,5	3	6
2	3	11,5	2	6
3	5	6	2	2

Für diese Haubenkonfiguration wurde ein entsprechendes CFD-Gitter des Portals und der näheren Portalumgebung erstellt, um die Generierung der Einfahrdruckwelle simulieren zu können. In Bild 5 ist das finale Einfahrscenario abgebildet. Zur Optimierung der Rechenzeit wurden verschiedene Vereinfachungen vorgenommen. So wurde z.B. der Bereich des Gegengleises mit einem etwas größeren Rechengitter modelliert. Auch der weiter entfernte Geländeverlauf und der Tunnel des Gegengleises wurden entsprechend vereinfacht.

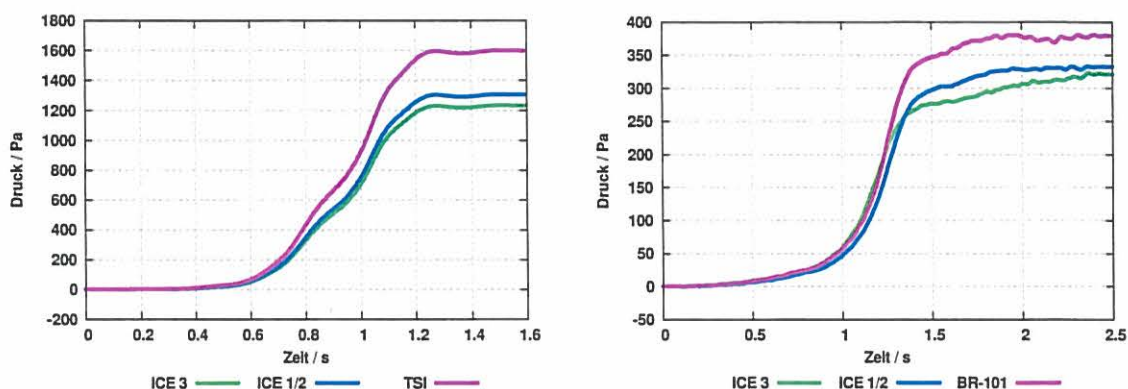
**Bild 5:** Einfahrscenario für die CFD Simulation

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

#### 4.2 Generierung der Einfahrdruckwelle

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

sind die Einfahrdruckwellen in Bild 6 dargestellt. Die Druckwellen für den Winterfall (-15°C) und den Sommerfall (35°C) sind im Anhang (A9 und A10) dargestellt.



**Bild 6:** Druckwellen bei der Einfahrt verschiedener Fahrzeuge in den Albabstiegstunnel (links: Einfahrt Portal Dornstadt mit 250 km/h, rechts: Einfahrt Portal Ulm mit 100 km/h)

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 alle Fahrzeuge, alle meteorologischen Randbedingungen und für die Einfahrt auf dem Regelgleis in beide Portale in Tabelle 6 aufgelistet. Für die Einfahrt in das Portal Ulm werden nur die meteorologischen Standardbedingungen betrachtet. Die Einfahrdruckgradienten sind hier so gering, dass eine Extremwertbetrachtung für sehr tiefe Temperaturen aus fachlicher Sicht entfallen kann.

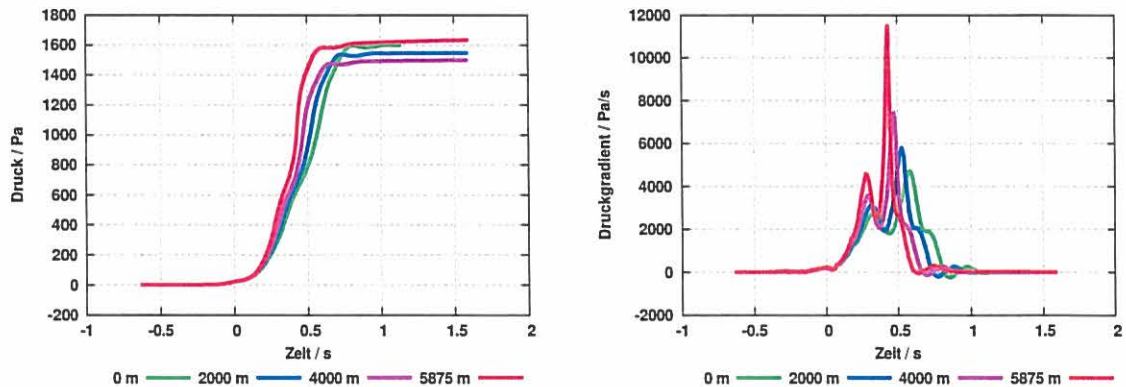
**Tabelle 6:** maximale Einfahrdruckgradienten

Szenario	Fahrzeug	Einfahrt mit $v_{zug} = 250 \text{ km/h}$ in das Portal Dornstadt in Pa/s	Einfahrt mit $v_{zug} = 100 \text{ km/h}$ in das Portal Ulm in Pa/s
10°C (Standard)	ICE 3	3640	856
	ICE 1/2	3859	875
	TSI	4733	
	BR 101		1181
-15°C (Winter)	ICE 3	4004	
	ICE 1/2	4244	
	TSI	5205	
35°C (Sommer)	ICE 3	3338	
	ICE 1/2	3538	
	TSI	4339	

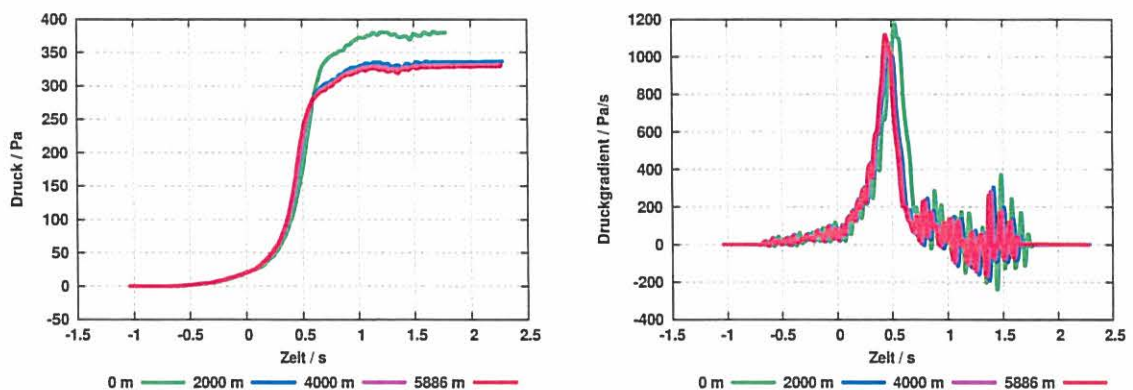
Die maximalen Einfahrdruckgradienten steigen im Winter analog Gleichung (2) und (3), da die Dichte und die Schallgeschwindigkeit bei tiefen Temperaturen zunehmen. Im Sommer sind die maximalen Gradienten geringer.

### 4.3 Aufteilung der Einfahrdruckwelle

Die Aufteilung 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 Bild 7 und Bild 8 sind die Ergebnisse für den Standardfall (10°C) und die Einfahrt eines TSI-Zuges mit 250 km/h bzw. einer BR-101 mit 100 km/h ins Portal Ulm dargestellt.



**Bild 7:** Aufteilung der Druckwelle nach der Einfahrt eines TSI-Zuges mit 250 km/h ins Portal Dornstadt in verschiedenen Sektionen des Tunnels (links: Druck, rechts: Druckgradienten)



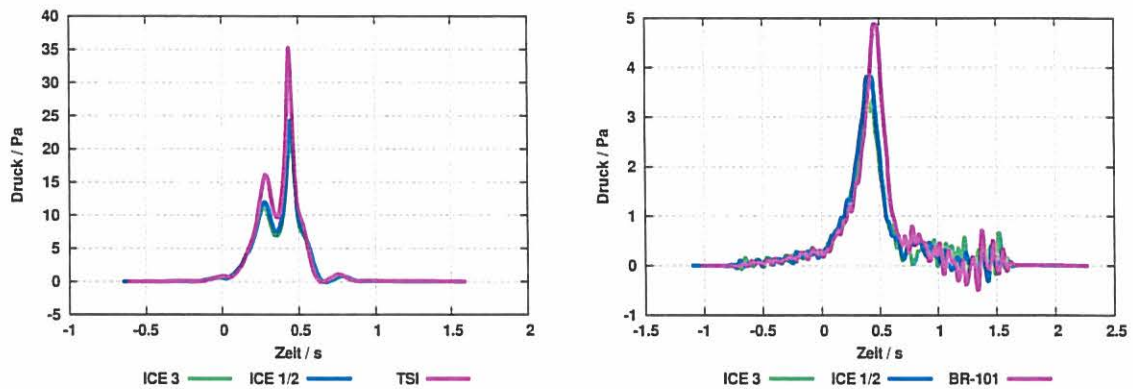
**Bild 8:** Aufteilung der Druckwelle nach der Einfahrt einer BR-101 mit 100 km/h ins Portal Ulm in verschiedenen Sektionen des Tunnels (links: Druck, rechts: Druckgradienten)

Die Berechnung der Aufteilung 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. Weitere Ergebnisse für andere meteorologische Bedingungen sind im Anhang (A11 und A12) abgebildet.

### 4.4 Emission der Mikrodruckwelle

Die an den Portalen abgestrahlte MDW wird in einem Abstand von 25 m von den Portalen berechnet. In Bild 9 sind die Emissionen für den Standardfall (10°C) und die Einfahrt im Regelbetrieb gra-

fisch dargestellt. Die Signalverläufe für andere meteorologische Randbedingungen sind im Anhang (A13 und A14) dokumentiert.



**Bild 9:** Emittierte Mikrodruckwellen in 25 m Abstand vom Ausfahrportal für die Einfahrt verschiedener Fahrzeuge (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 TTZ 112 übergeben und an dieser Stelle nicht weiter diskutiert.

Die maximalen Amplituden der MDW werden noch einmal am gegenwärtigen aerodynamischen Richtwert von 20 Pa in 50 m Abstand vom Portal gespiegelt. Dies ist rein informativ und hat keinen Einfluss auf die akustische Bewertung der Emissionen. In Tabelle 7 sind hierzu die maximalen Drücke der MDW in einem Abstand von 50 m vom Portal abgebildet.

**Tabelle 7:** Emittierte Mikrodruckwellen in 50 m Abstand vom Portal

Fahrzeug	Einfahrportal	Amplitude in Pa	
		Ulm	Dornstadt
ICE3	Dornstadt	Ulm	13,5
	Ulm	Dornstadt	1,7
ICE1	Dornstadt	Ulm	14,9
	Ulm	Dornstadt	1,8
TSI	Dornstadt	Ulm	21,7
BR-101	Ulm	Dornstadt	2,4

Der aerodynamische Richtwert wird im Regelbetrieb vom TSI-Zug geringfügig überschritten. Relevant im Sinne der Nachweisführung sind jedoch die noch durch TTZ 112 auszuweisenden akustischen Richtwerte und nicht der aerodynamische.

## 5 Zusammenfassung

In dieser Untersuchung wird ein Maßnahmenkonzept für das Portal Dornstadt des Albabstiegstunnels vorgestellt und die Wirksamkeit dieses Konzepts nachgewiesen. Die vorgestellte Maßnahme senkt die zu erwartenden Mikrodruckwellen-Emissionen unter die aktuell geforderten Richtwerte. Die in der Planung ausgewiesenen Entlüftungsöffnungen wurden im Laufe dieser Untersuchung optimiert und ein geeignetes Konzept gefunden, welches die Einhaltung der akustischen Richtwer-

te für alle Fahrzeuge sicherstellt. Das geplante Portalbauwerk Dornstadt kann in seiner Form und Abmessungen bestehen bleiben, nur die Position und Größe der Entlüftungsöffnungen muss angepasst werden.

Für einen restriktionsfreien Gleiswechselbetrieb sind die Positionen und Größen der Entlüftungsöffnungen auf das Gegengleis zu übertragen. Ist dies nicht möglich, muss im Falle einer Einfahrt im Bereich des nicht angepassten Einfahrportals die Geschwindigkeit reduziert werden.

Alle Untersuchungen basieren auf den im Projekt BEMT erarbeiteten Werkzeugen und Erkenntnissen. Diese ermöglichen eine Vorhersage des vollständigen Zeitverlaufs der Mikrodruckwellen, welche für eine akustische Pegelberechnung und eine abschließende Bewertung der Emissionen notwendig ist.

Die von den Portalen Dornstadt und Ulm ausgehenden Emissionen werden als vollständige Druck-Zeit-Verläufe prognostiziert. Ausgehend von der Berechnung des vollständigen Signals der Einfahrdruckwelle per CFD-Simulation bzw. aus skalierten Messungen wird die Aufsteilung der Druckwelle im Tunnelinneren per „WAVE“-Simulation berechnet. Die an den Ausfahrportalen eintreffende Druckwelle wird schließlich umgerechnet in die emittierte Mikrodruckwelle. Das Ergebnis der Berechnungen sind die vollständigen Drucksignale der emittierten MDW in einem Abstand von 25 m vom Ausfahrportal. Diese werden an TTZ 112 in digitaler Form übergeben.

Die abschließende Bewertung der MDW-Immissionen erfolgt in einem dualen Richtwertverfahren, das durch die Anwendung akustischer Richtwerte wirkungsbezogene Anforderungen mit berücksichtigt. Diese akustische Bewertung der Emissionen erfolgt in einem getrennten Untersuchungsbericht durch TTZ 112.

## 6 Unterschriften

geprüft:



Dr. Thorsten Tielkes  
Leiter TTZ 113

erstellt:



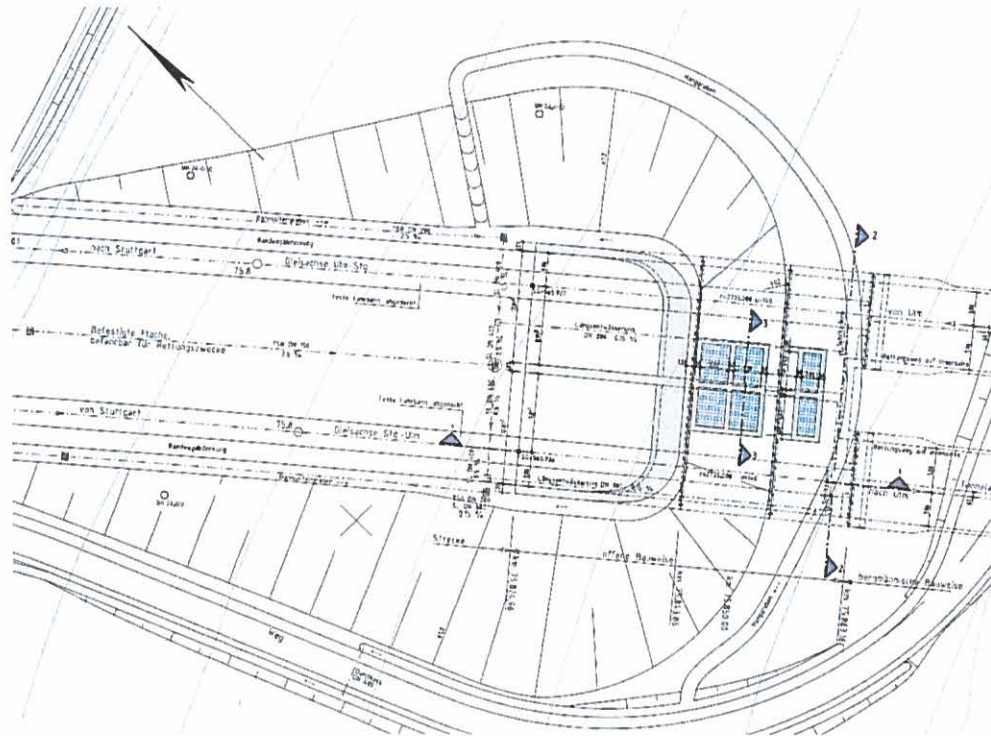
Dipl.-Ing. Michael Hieke  
TTZ 113 Hie

freigegeben:

gez. Frevert

Prüfstelle

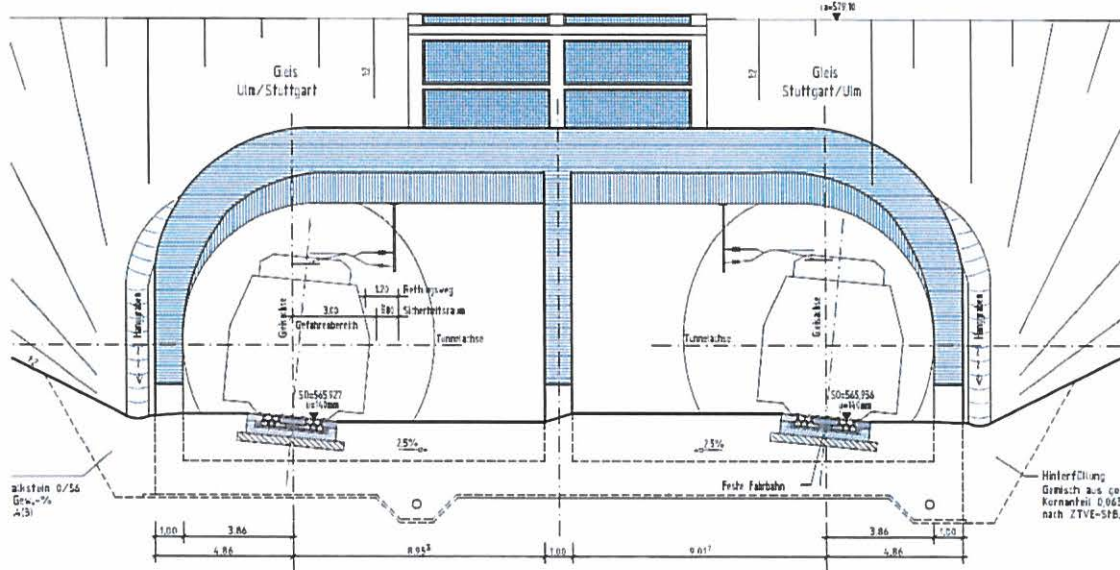
**Anlage A1:** Portal Dornstadt Lageplan  
Quelle - „Anlage 8.4.3.2 vom 23.06.2009“



**Anlage A2:** Portal Dornstadt Portalansicht  
Quelle - „Anlage 8.4.3.5 vom 23.06.2009“

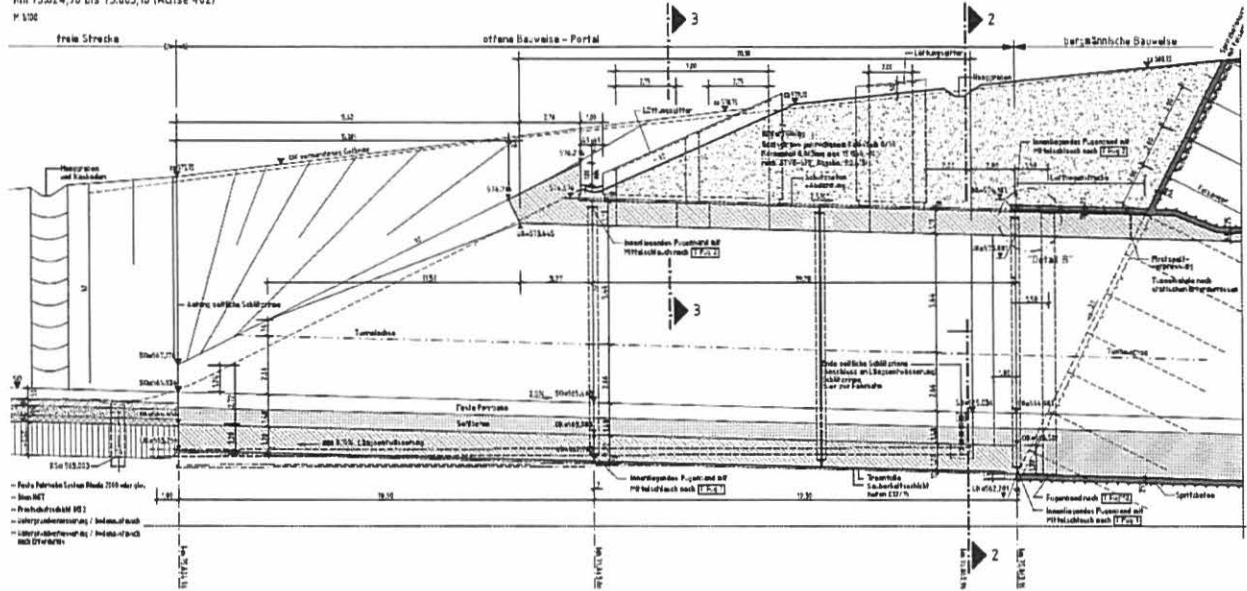
**ANSICHT**  
Portalbauwerk mit Mikro-Druckwellen-Ausgleich  
km km 75.824,96 (Gleis Stuttgart/Ulm)  
M 1:100

	klasse
Schutzbeton	C 25/30 XC2 XF1
Wände und Decke	C 30/37 XD1 XF1 XC4
Bodenplatte	C 30/37 XD2 XF1 XC7 XA1
Schleifen	C 25/30 XF1
Sauberkeitsschicht	C 12/15 X0
Vorspannung	längs = nenn



**Anlage A3:** Portal Dornstadt Längsschnitt  
Quelle - „Anlage 8.4.3.3 vom 23.06.2009“

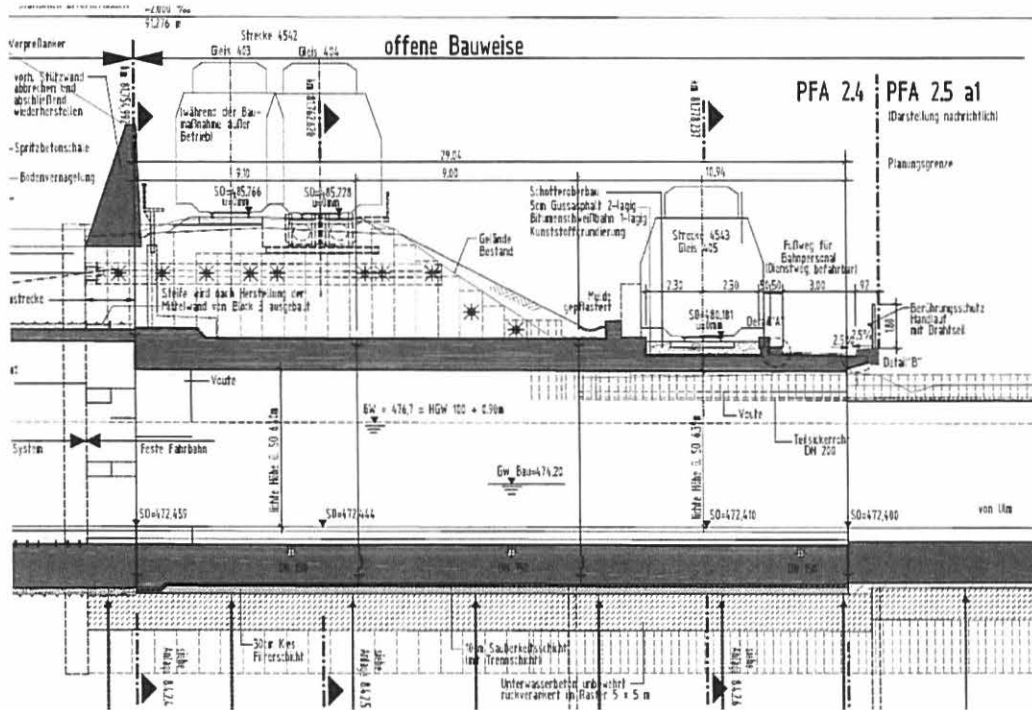
LÄNGSSCHNITT 1-1 Gleis Stuttgart/Ulm,  
Portalbauwerk mit Mikro-Druckwellen-Ausgleich  
km 75.824,96 bis 75.863,16 (Achse 402)  
P 1/02







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



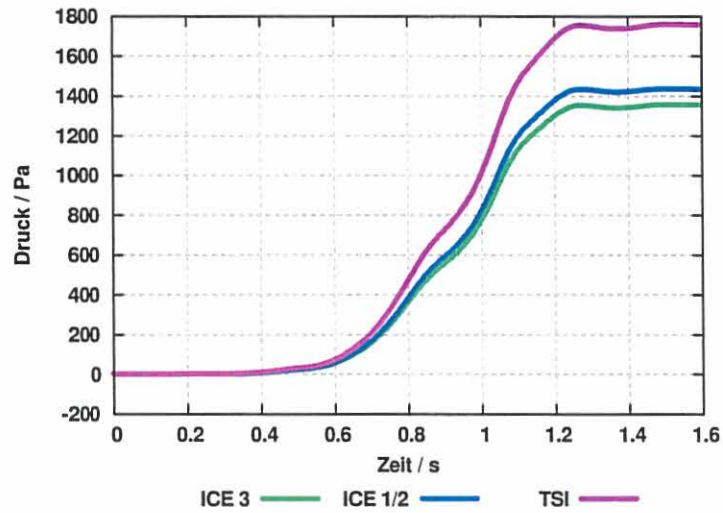
**Anlage A7:** Tunnelquerschnitte Gleis Stuttgart-Ulm  
Quelle - „Anlage 6.3.1 + 6.3.2 vom 29.06.2009“

Gleis Stuttgart-Ulm			
Strecken km	Länge m	Querschnitt Typ	Querschnitt m <sup>2</sup>
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			

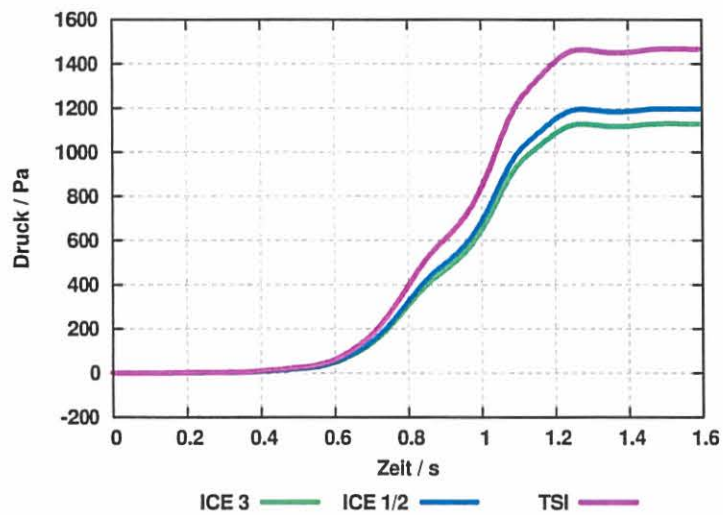
**Anlage A8:** Tunnelquerschnitte Gleis Ulm-Stuttgart  
Quelle - „Anlage 6.3.1 + 6.3.2 vom 29.06.2009“

Gleis Ulm-Stuttgart			
Strecken km	Länge m	Querschnitt Typ	Querschnitt m <sup>2</sup>
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			

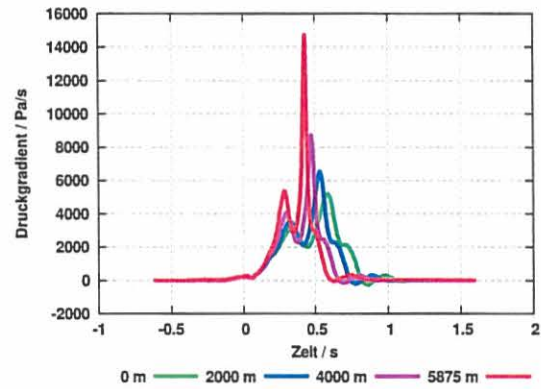
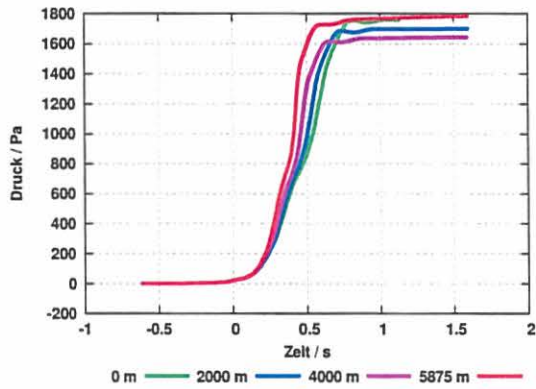
**Anlage A9:** Einfahrdruckwellen bei -15°C  
Einfahrt Dornstadt mit 250 km/h



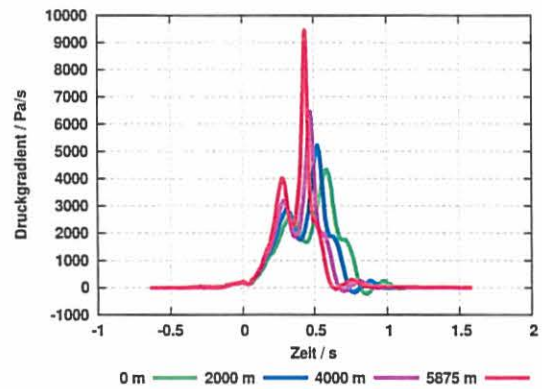
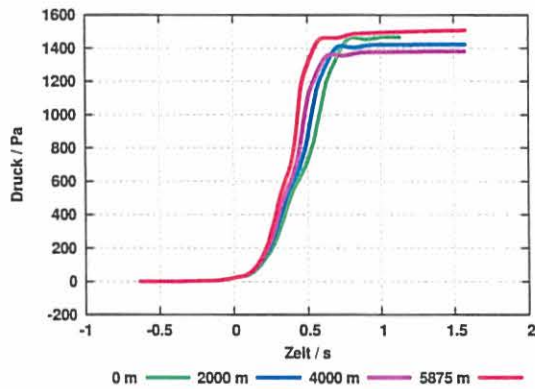
**Anlage A10:** Einfahrdruckwellen bei 35°C  
Einfahrt Dornstadt mit 250 km/h



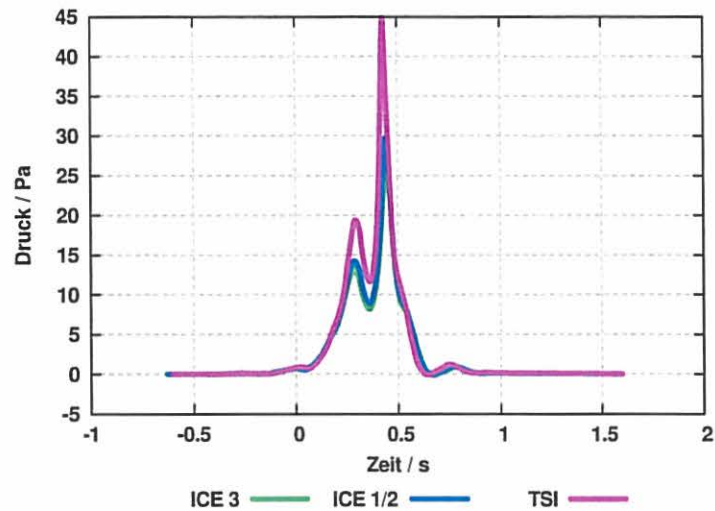
**Anlage A11:** Aufsteilung bei -15°C - Einfahrt ins Portal Dornstadt  
 Einfahrt eines TSI Zuges mit 250 km/h auf dem Regelgleis  
 Links: Druck, Rechts: Druckgradienten



**Anlage A12:** Aufsteilung bei 35°C - Einfahrt ins Portal Dornstadt  
 Einfahrt eines TSI Zuges mit 250 km/h auf dem Regelgleis  
 Links: Druck, Rechts: Druckgradienten



**Anlage A13:** MDW Emissionen bei -15°C in 25 m Abstand vom Ausfahrportal  
 Einfahrt erfolgt mit 250 km/h ins Portal Dornstadt auf dem Regelgleis  
 Emissionen am Portal Ulm



**Anlage A14:** MDW Emissionen bei 35°C in 25 m Abstand vom Ausfahrportal  
 Einfahrt erfolgt mit 250 km/h ins Portal Dornstadt auf dem Regelgleis  
 Emissionen am Portal Ulm

