
Anlage 2

Prüfgutachten HH 02/11 Prof. Dr.-Ing. Harte, Ingenieurgesellschaft KUP
Bochum, 31.05.2012

PROF. DR.-ING. REINHARD HARTE
Prüfingenieur für Baustatik
Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung
der Standsicherheit und des Brandschutzes

Buscheyplatz 9
D-44801 Bochum
Tel.: +49(0)234 70994 - 0
Fax: +49(0)234 70994 - 19

Prüf-Nr.: HH 02/11
Datum: 31.05.2012

A. Prüfausfertigung

PRÜFGUTACHTEN HH 02/11

Vorhaben: Forschungsprogramm Straßenwesen
FE 15.0502/2010/ERB
Hier: Musterstatik für den rechnerischen Nachweis des bau-
lichen Brandschutzes für Tunnel in offener Bauweise

Forschungsgeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Brüderstraße 53
51427 Bergisch-Gladbach

**Forschungsnehmer und
Ersteller der Musterstatik:** Ingenieurbüro Maidl & Maidl (IMM)
Universitätstraße 142
44799 Bochum

Seiten: 1 - 9

1. AUFGABENSTELLUNG

- 1.1 Abgrenzung und Gegenstand der Prüfung**
- 1.2 Vorgehensweise bei der Durchführung der Prüfung**
- 1.3 Geprüfte Unterlagen**
- 1.4 Sonstige bei der Prüfung eingesehene Unterlagen**
- 1.5 Vorschriften**

2. BESCHREIBUNG DES PRÜFRELEVANTEN BAUWERKS

- 2.1 Baubeschreibung**
- 2.2 Baustoffe**
- 2.3 Einwirkungen**
- 2.4 Baugrund**

3. PRÜFERGEBNIS

- 3.1 Stand der Technik bei der Bemessung im Brandfall**
- 3.2 Ergebnis der Prüfung und Bewertung**

1. AUFGABENSTELLUNG

1.1 Abgrenzung und Gegenstand der Prüfung

Abgrenzung und Gegenstand der Prüfung ergeben sich aus dem Ingenieurvertrag „Bautechnische Prüfung Musterstatik“ vom 02.12.2011 zwischen der IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, vertreten durch den Gesellschafter Dipl.-Ing. Hans Mämpel, und der Krätzig & Partner Ingenieurgesellschaft für Bautechnik mbH, vertreten durch den Gesellschafter Professor Dr.-Ing. Reinhard Harte, Prüfingenieur für Baustatik. Der Ingenieurvertrag ist inhaltlich Bestandteil des von der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt beauftragten Forschungsprojektes FE 15.0502/2010/ERB „Rechnerischer Nachweis des baulichen Brandschutzes für Tunnel in offener Bauweise“. Der in diesem Forschungsvorhaben erarbeitete Forschungsbericht ist nicht Gegenstand der Prüfung, sondern wird bei der Prüfung eingesehen. Gegenstand der Prüfung ist nur die daraus resultierende Musterstatik. Die Inhalte des Forschungsberichtes zur konzeptionellen Vorgehensweise bei Brandschutznachweisen für Tunnel in offener Bauweise werden gleichwohl bei der Durchführung der Prüfung berücksichtigt.

Der Leistungsumfang der Prüfung der Musterstatik ist wie folgt gefasst:

- Prüfung der Voraussetzungen und Annahmen
- Prüfung der Bemessungsergebnisse durch Stichproben

Ausdrücklich ausgeschlossen ist die Durchführung einer Vergleichsrechnung. Die Prüfung beschränkt sich daher auf die Prüfung der Methodik und der Plausibilität der getroffenen Berechnungsannahmen und des eingeschlagenen Lösungsweges, sowie auf Stichproben, z.B. zur thermischen Analyse und zur Überlagerung der Lastfälle zu Lastfallkombinationen in den relevanten Bemessungssituationen.

Nicht Gegenstand der Musterstatik und demzufolge auch nicht der Prüfung sind Nachweise zur Dimensionierung des Tunnelquerschnitts für die Tragfähigkeitsnachweise in den ständigen und den vorübergehenden Bemessungssituationen einschließlich Auftrieb sowie in der außergewöhnlichen Bemessungssituation Anprall.

Gleiches gilt für sämtliche Nachweise zur Gebrauchstauglichkeit.

Die Musterstatik betrifft vorrangig die Tragfähigkeitsnachweise im Brandfall, sowohl während des Brandereignisses als auch in der nachfolgenden Abkühlphase. Nicht Gegenstand der Musterstatik und demzufolge auch nicht der Prüfung sind spätere vorübergehende Bauzustände zur Sanierung eines brandgeschädigten Tunnelbauwerks.

Weiterhin wird in der Musterstatik ausschließlich die Quantifizierung des Einflusses der Brandbeanspruchung auf die Biegebewehrung des Tunnelbauwerks untersucht. Nicht Gegenstand der Musterstatik und demzufolge auch nicht der Prüfung sind Nachweise der Querkraftbewehrung und der Mindestbewehrung, z.B. der rissbreiten-

beschränkenden Bewehrung in Tunnellängsrichtung für Zwangsbeanspruchungen im frühen Betonalter aus Abfließen der Hydratationswärme.

Der detaillierten Prüfung von bautechnischen Nachweisen und Ausführungszeichnungen realer Bauvorhaben wird mit dem vorliegenden Prüfgutachten nicht vorgegriffen. Prüfgutachten und Musterstatik können hierbei allenfalls als Leitfaden dienen.

1.2 Vorgehensweise bei der Durchführung der Prüfung

Das aus der Prüfung resultierende Prüfgutachten soll der BASt die Beurteilung ermöglichen, ob die vorgelegte Musterstatik als Leitfaden für die Umsetzung Allgemeiner Rechenverfahren zur Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen im Brandfall herangezogen werden kann.

Unter Beachtung dieser Zielsetzung beinhaltet das Prüfgutachten Bewertungen zu den folgenden Teilgebieten:

- Prüfung der Annahmen zu Einwirkungen, Materialkennwerten und Bemessungsformaten auf Plausibilität und Übereinstimmung mit den Regelwerken;
- Prüfung der gewählten Einwirkungskombinationen für die Bemessungssituationen auf Plausibilität und Übereinstimmung mit den Regelwerken;
- Stichprobenhafte Kontrolle der thermischen Analyse für den Brandfall und der resultierenden Beanspruchungen und Bemessungsergebnisse.

An der vorliegenden Prüfung waren neben dem Prüferingenieur für Baustatik Prof. Dr.-Ing. R. Harte folgende Mitarbeiter beteiligt: Dr.-Ing. K. Stopp, Dr.-Ing. R. Wörmann.

Gesondert zu bewerten bleibt die Frage, inwieweit Anpassungen der DIN-Fachberichte und der ZTV-ING an die neuen Normenreihen DIN EN 1991, DIN EN 1992 und DIN EN 1997 mit den mitgeltenden Nationalen Anhängen und Nationalen Normen, z.B. DIN 1054:2010-12, notwendig werden, wenn diese durch bauaufsichtliche Einführungen dem allgemein anerkannten Stand der Technik im Straßenwesen entsprechen. Nach Einschätzung der Prüfer wird dies die in der Musterstatik vorgestellte Methodik nicht grundsätzlich in Frage stellen, da sie bereits im Einklang steht mit den Vorgaben der Bemessung im Brandfall nach DIN EN 1991-1-2 und DIN EN 1992-1-2.

1.3 Geprüfte Unterlagen

FE 15.0502/2012/ERB Rechnerischer Nachweis des baulichen Brandschutzes für Tunnel in offener Bauweise – Musterstatik vom 04.05.2012, Seiten 1 – 38

Aufsteller: Ingenieurbüro Maidl & Maidl (IMM)
Universitätsstraße 142, 44799 Bochum

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Carsten Peter (IMM)
B.Eng. Jan Knief (IMM)

Dr.-Ing. Jörg Schreyer (StuvaTec)
Dipl.-Ing. Antoniao Piazzolla (StuvaTec)

1.4 Sonstige bei der Prüfung eingesehene Unterlagen

FE 15.0502/2012/ERB Rechnerischer Nachweis des baulichen Brandschutzes für Tunnel in offener Bauweise – Schlussbericht vom Mai 2012, Seiten 1 – 110

Forschungsnehmer: Ingenieurbüro Maidl & Maidl (IMM),
Universitätsstraße 142, 44799 Bochum

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Carsten Peter (IMM)
B.Eng. Jan Knief (IMM)
Dr.-Ing. Jörg Schreyer (StuvaTec)
Dipl.-Ing. Antonio Piazzolla (StuvaTec)

Mitwirkung: Dipl.-Ing. Hans Mämpel

FE 15.0502/2012/ERB Rechnerischer Nachweis des baulichen Brandschutzes für Tunnel in offener Bauweise – Präsentation am 22.02.2012, Blatt 1 - 58

Verfasser: Ingenieurbüro Maidl & Maidl (IMM) und StuvaTec

1.5 Vorschriften

Die in der Musterstatik geführten Nachweise wurden geführt unter Beachtung des nachstehend spezifizierten Normenstandes:

DIN-Fachbericht 101:2009-03 – Einwirkungen auf Brücken

DIN-Fachbericht 102:2009-03 – Betonbrücken

ZTV-ING – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke, Verkehrsblatt-Sammlung Nr. S 1056

DIN 1045-1: 2008-08 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion.

DIN 1054: 2005-01 – Baugrund: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

DIN 1054 Berichtigung 4:2008-10, Berichtigung zu DIN 1054:2005-01

DIN EN 1991-1-2:2010-12 – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12 – Nationaler Anhang Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke

DIN EN 1992-1-2:2010-12 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

DIN EN 1992-1-2/NA:2010-12 – Nationaler Anhang Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

2. BESCHREIBUNG DES PRÜFRELEVANTEN BAUWERKS

2.1 Baubeschreibung

Bei dem prüfrelevanten Bauwerk handelt es um einen zweizelligen Tunnelquerschnitt mit Regelquerschnitt RQ 26 t mit Außenabmessungen von $B = 21,60$ m und $H = 7,55$ m. Als Querschnittsdicken werden vorgesehen:

Tunnelsohle:	1,00 m	Tunneldecke:	0,90 m
Tunnelaußenwände:	0,90 m	Tunnelinnenwand:	0,80 m

Die Vordimensionierung des Tunnelquerschnitts ist gemäß Ziffer 1.1 dieses Prüfgutachtens nicht Gegenstand der Musterstatik und demzufolge auch nicht der Prüfung. Der gewählte Tunnelquerschnitt ist allerdings plausibel.

2.2 Baustoffkennwerte

Stahl	BSt 500 S
Beton	C30/37

Die Thermische Analyse erfolgt mit den folgenden Eingangswerten:

Beton:	Feuchtegehalt 4% (zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit λ , der Rohdichte ρ und der spezifischen Wärme c_p nach DIN EN 1992-1-2)
	Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_c = 25$ W/(m ² K)
	Emmissionsgrad an der Betonoberfläche $\epsilon_{RES} = 0,8$

Die Mechanische Analyse erfolgt mit den temperaturabhängig veränderten Materialeigenschaften von Stahl und Beton nach DIN EN 1992-1-2. Weitere Angaben hierzu enthalten Kap. 4.2 und 4.3 der Musterstatik.

Abweichend von DIN-Fachbericht 102, der für die Außergewöhnliche Bemessungssituation Teilsicherheitsbeiwerte für Beton von $\gamma_c = 1,3$ und für Stahl von $\gamma_s = 1,0$ vorsieht, wird in der vorliegenden Musterstatik der Teilsicherheitsbeiwert für Stahl und Beton einheitlich zu $\gamma_M = 1,0$ gewählt. Dies ist im Einklang mit den Bemessungsformaten der DIN EN 1991-1-2 und DIN EN 1992-1-2 und entspricht der dort spezifizierten Vorgehensweise bei der Bemessung im Brandfall.

2.3 Einwirkungen

Die Einwirkungen, ihre Überlagerung und die zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte werden in Kap. 2.5 und 2.6 der Musterstatik ausführlich beschrieben. Sie sind in Einklang mit DIN-Fachbericht 101, DIN 1054 und ZTV-ING.

Abweichend von DIN EN 1991-1-2, in der generell ein Sicherheitsbeiwert für alle ständigen und veränderlichen Einwirkungen von $\gamma_F = 1,0$ vorgesehen ist, wird für die ständigen Einwirkungen Eigengewicht, Erdauflast, Wasserdruck und Verkehr an GOK ein erhöhter Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1,1$ gemäß DIN 1054 Berichtigung 4: 2008-10, angesetzt. Dieses Vorgehen ist auf der sicheren Seite.

Zur Bestimmung der Temperaturverteilung im Tunnelquerschnitt wird der in ZTV-ING: 2007-12, Teil 5, Abschnitt 2, 10.2 angegebene Temperatur-Zeit-Verlauf mit 25 Minuten Vollbrandphase verwendet.

2.4 Baugrund

Als Baugrund wird ein mitteldicht gelagerter Sand angesetzt, als 4m dicke Überschüttung ein Boden mit leicht geringerer Wichte. Der Grundwasserstand wird schwankend zwischen 2,00 m über Tunneldecke und Höhe Tunnelsohle angesetzt.

Die vorgenannten Annahmen zum Baugrund sind als beispielhaft anzusehen und müssen der konkreten geologischen Situation angepasst werden.

3. PRÜFERGEBNIS

3.1 Stand der Technik für die Bemessung im Brandfall

Die im Bauwesen bislang eingeführte DIN 4102-4:1994-03 beinhaltet ausschließlich Nachweisformate in Abhängigkeit der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer in Form von Tabellen für standardisierte Bauteile (Stützen, Einfeld- und Durchlaufträger, Platten). Diese Tabellen sind für eine realistische Bemessung von Tunnelbauwerken wenig geeignet.

Der in ZTV-ING: 2007-12, Teil 5, Abschnitt 2, 10.3.3 eingeführte, sogenannte „vereinfachte Nachweis“ ersetzt die Bemessung im Brandfall durch den Ansatz eines linearen Temperaturgradienten von $\Delta T_M = 50$ K. Er berücksichtigt weder das thermische Beharrungsvermögen in Abhängigkeit der Bauteildicke noch die daraus resultierenden instationären Temperaturzustände und nichtlinearen Beanspruchungen im Betonquerschnitt.

Einen differenzierteren Nachweisweg eröffnen die neuen europäischen Normenreihen, dort die Teile -1-2 zur Bemessung im Brandfall. Danach werden 3 Nachweisstufen (Level) eingeführt:

Level 1: Tabellenverfahren: Sie entsprechen im Wesentlichen der Nachweisführung nach DIN 4102-4.

Level 2: Vereinfachte Rechenverfahren: Hier führt eine thermische Analyse zur Bestimmung der Temperaturen im Bauteilquerschnitt zu bestimmten Brandzeitpunkten. Der Nachweis erfolgt dann mit klassischen Bemessungsverfahren im Stahlbetonbau, bei Annahme eines brandreduzierten Querschnitts und brandreduzierter Materialkennwerte, und unter Ansatz von Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_F = 1,0$ für sämtliche Einwirkungen und von reduzierten Kombinationsbeiwerten ψ_1 für die veränderlichen Begleiteinwirkungen, allerdings ergänzt um Beanspruchungen A_d aus Zwang.

Level 3: Allgemeine Rechenverfahren: Hier wird die thermische Analyse zur Bestimmung der Temperaturen im Bauteilquerschnitt in den jeweiligen Zeitpunkten eines Brandes in eine mechanisch Analyse derart überführt, dass das Tragverhalten der Struktur bei Berücksichtigung der brandbedingten Materialdegradation und den resultierenden Zwang- und Lastbeanspruchungen in einer nichtlinearen Tragfähigkeitsanalyse über die Branddauer simuliert werden kann. Das rechnerische Versagen definiert dann die erreichte Feuerwiderstandsdauer.

3.2 Ergebnis der Prüfung und Bewertung

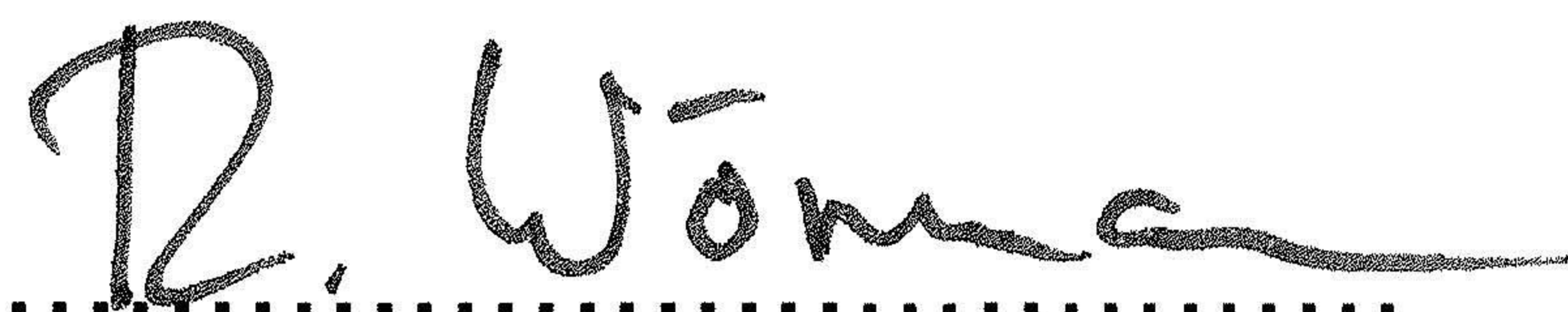
Die unter Ziffer 1.3 aufgeführte Musterstatik wurde auf Plausibilität der Methodik und der Annahmen geprüft sowie stichprobenhaft auf Richtigkeit kontrolliert, die unter Ziffer 1.4 aufgeführten Unterlagen wurden bei der Prüfung eingesehen. Die in den Unterlagen aufgeführten Annahmen sind plausibel, die Nachweismethodik ist nachvollziehbar. Die stichprobenhaften Kontrollen der Berechnungsergebnisse ergaben keine Hinweise, die auf signifikante Fehler in den durchgeführten Berechnungen schließen ließen.

Bei der in der Musterstatik vorgestellten Nachweismethodik erfolgt die Übergabe der thermischen Daten nicht kontinuierlich, sondern zu bestimmten Zeitpunkten des Brandereignisses, z.B. bei 30, 60 und 90 Minuten. Die mechanische Analyse ist nichtlinear, geht aber in jedem Berechnungsschritt (= Zeitpunkt des Brandereignisses) von einem bis dahin ungeschädigten Bauteil aus. Die Schädigung ergibt sich jeweils neu aus der angesetzten Temperaturverteilung zum jeweiligen Zeitpunkt. Daher ist das in der Musterstatik gewählte Vorgehen den Allgemeinen Rechenverfahren des Level 3 zuzuordnen. Zudem ist die verwendete Software SOFiSTiK nach DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12, Anhang CC validiert, die Nachweismethodik insofern normkonform.

Eine hieraus herzuleitender „vereinfachter“ Nachweisweg mit Temperaturgradienten ΔT_M in Abhängigkeit der Bauteildicke, wie im Schlussbericht zum FE-Vorhaben vorgeschlagen, kann daher nur als „Verfahren mit Ersatztemperaturgradient“ benannt werden, da es nicht in die Nachweisstufen Level 1 bis 3 nach DIN EN 1991-1-2 eingestuft werden kann. Gleichwohl kann aus Sicht der Prüfer ein solcher Ansatz für standardisierte Bauwerke wie Tunnel pragmatisch und zutreffend sein.

Das Prüfergebnis bezieht sich auf den gegenwärtigen Stand bauaufsichtlich eingeführter Normen unter Heranziehung der neuen Normen zur Bemessung im Brandfall, insbesondere DIN EN 1991-1-2 und DIN EN 1992-1-2. Die anstehende, umfassende Einführung der europäischen Normengeneration wird nach Einschätzung der Prüfer nicht zu grundlegend anderen Ergebnissen führen. Gleichwohl wird eine Anpassung der Berechnungen erforderlich werden, damit die Musterstatik als Leitfaden dienen kann.

Die Prüfung ist abgeschlossen.



.....
Dr.-Ing. Ralf Wörmann
Beratender Ingenieur



.....
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte
Prüfingenieur für Baustatik