

Hochpräzise Tübbinge: Voraussetzung für ein qualitativ hochwertiges Tunnelbauwerk in einschaliger Bauweise

Für einen einschalig mit Tübbingen hergestelltes Tunnelbauwerk ist die Genauigkeit der hergestellten Tübbinge von großer Bedeutung. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dieser Problemstellung.

1 Ausgangssituation

Bei der Herstellung von einschaligen Tunnelbauwerken, aufgeföhren im Schildvortrieb, kommt der Maßhaltigkeit der Tübbinge, definiert über die Tübbingtoleranzen, eine sehr große Bedeutung im Hinblick auf die erzielbare Qualität des Bauwerkes zu (Bild 1).

Diese Maßhaltigkeit hat Einflüsse auf die

- Stabilität und Dauerhaftigkeit des Tunnelausbaues,
- Dichtheit des Tunnels gegen anstehendes Grundwasser,
- Aufnahme der anstehenden Ringbelastungen (Erd- und Wasserdruck, Verpressdrücke, Ausbaulasten etc.) und
- Aufnahme der Vortriebsbelastungen aus der Maschinenfahrt

Die zulässigen Tübbingtoleranzen sind in Deutschland aktuell für Eisenbahntunnel in der Richtlinie 853, Modul 4005 Tübbingausbau, der Deutschen Bahn (DB Netze AG) und für Straßentunnel in einer Richtlinie der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) der ZTV-ING,

Dr.-Ing. Dieter Handke, Gesellschafter/Projektleiter Schildvortriebsverfahren, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum/D

Teil 5, Abschnitt 3 Maschinelle Schildvortriebsverfahren, zusammengestellt.

Bis vor Erscheinen der DB Richtlinie DS 853.0019, „Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten; Modul Ausbau mit Tübbings“ im Jahre 1993 gab es in Deutschland keine detaillierten Toleranzanforderungen an die Herstellung der Tübbingelemente. Diese Richtlinie der Deutschen Bahn bildete die Basis für alle später folgenden Toleranzanforderungen in Tübbingausschreibungen, sowohl für Eisenbahntunnel als auch Straßentunnel. Die ab 1. Juni 2002 überarbeitete DS 853, jetzt als Ril 853 bezeichnet, hat diese Vorgaben, die bis dato Bestandteil und gültige Vorgaben für die Planung von Tübbingtunneln darstellen, im Wesentlichen übernommen. Dies trifft grundsätzlich auch für die Fortschreibungen, aktuell mit Stand vom 1. März 2011, zu.

Der vorliegende Beitrag gibt nach einem historischen

High-Precision Segments: Prerequisite for a high-quality monocoque Tunnel

The precision of the segments produced are of great significance for a single-shell segment tunnel. This report devotes itself to the problems involved.

1 Starting Situation

When producing single-shell tunnels excavated by shield, the dimensions of the segments – defined by the segment tolerances – are of enormous significance regarding the attainable quality (Fig. 1).

The dimensional accuracy influences the

- stability and sustainability of the tunnel lining
- the tunnel's tightness against prevailing groundwater
- acceptance of the prevailing ring loads (earth and water pressure, grouting pressures, support loads etc.) and
- acceptance of the driving loads from the machine passage

The current permissible segment tolerances for Germany are presented in Guideline 853, Module 4005 Lining with Segments, of the Deutsche Bahn (DB Netze AG) for rail tunnels and in a Guideline from the German Highway Research Institute (BAST)

for road tunnels, the ZTV-ING Part 5, Section 3 Shield Driving Methods.

There were no detailed requirements governing tolerances in Germany for producing segment elements until the DB Guideline DS 853.0019 "Planning, Constructing and Maintaining Rail Tunnels; Module Lining with Segments" was published in 1993. This Deutsche Bahn Guideline formed the basis for subsequent tolerance requirements in tenders for segments both for rail and road tunnels. The as from June 1, 2002 revised DS 853, subsequently known as Ril 853, largely took over these specifications, which until then constituted the valid parameters for planning tunnels made with segments. This also essentially applies to updates, currently with effect from March 1, 2011.

This report first examines the historical background of these regulations and their further development, findings obtained in practice and the significance of tolerance requirements for producing a qualitatively high-grade tunnel with a single shell. 2-shell tunnels with an outer shell



Tübbinglager Finnetunnel (2008)

Segment Stock Finne Tunnel (2008)

Abriss der Vorschriftenlage und deren Weiterentwicklung, die in der Praxis gemachten Erfahrungen und die Bedeutung der Toleranzanforderungen zur Erzielung eines qualitativ hochwertigen Tunnelbauwerkes, hergestellt in einschaliger Bauweise, wieder. Zweischalig hergestellte Tunnelbauwerke mit einer Außenschale aus Tübbingelementen und nachträglich hergestellter Innenschale werden nicht behandelt. Da die Tübbinge als Außenschale fungieren, erfordern sie ein geringeres Anforderungsprofil. Die Dichtigkeitsanforderungen werden bei dem zweischaligen Konstruktionsprinzip von der Innenschale erfüllt.

2 Entstehung von Vorschriften für Tübbingtoleranzen

Die DS 853.0019 entstand in ihrer ersten Fassung 1993, noch bevor der erste Eisenbahn-Schnellbahntunnel im Schildvortrieb geplant wurde.

Zuvor gab es in den Ausschreibungen für Tübbingtunnel, so z.B. für die Stadtbahntunnel in Köln (1990) oder Duisburg (1992), keine speziellen Anforderungen an die Herstellung des Ausbaues mittels Stahlbetontübbingen im Hinblick auf die Toleranzen.

Bei der Wahl der Toleranzen wurden in der 1993 aufgestellten DS 853.0019 bewusst sehr „harte“ Kriterien aufgestellt, um so einen mängelfreien Ausbau gewährleisten zu können und um den Auftragnehmer in die Pflicht nehmen zu können, eine höchstmögliche Qualität umzusetzen. Waren einzelne Toleranzen in der Praxis nicht einzuhalten, hätten diese in der Diskussion zwischen AG und AN angepasst werden können, falls die statischen Nachweise dieses erlaubten. Dies geschah insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass keine einschlägigen Erfahrungen mit im Schildvortrieb einschalig hergestellten Eisen-

made of segment elements and a subsequently produced inner shell are not dealt with. As the segments function as the outer shell, they require to fulfil fewer demands. The tightness requirements are fulfilled by the inner shell in the case of the 2-shell design principle.

2 Creation of Regulations for Segment Tolerances

The first version of the DS 853.0019 came about in 1993, before the first shield-excavated high-speed rail tunnel was planned.

Prior to this there were no special demands made on the production of the lining using reinforced concrete segments regarding the tolerances in tenders involving tunnels with segments – as e.g. for the urban transit tunnels in Cologne (1990) or Duisburg (1992).

In DS 853.0019 compiled in 1993 extremely “tough” criteria were deliberately established for selecting the tolerances so that

a defect-free lining was assured and committing the contractor to come up with the highest possible quality. Should individual tolerances not be adhered to in practice, these could have been correspondingly dealt with between the client and contractor on the basis of static proof. This was also undertaken against the background that no pertinent experience was actually available with shield-driven monocoque rail tunnels and the regulation governing rail tunnels at the time only applied to tunnels with 2 shells. At the time, monocoque tunnel structures required to be approved individually (ZIE). Up till that point, no single-shell rail tunnels had been produced using segments.

Strict regulations at the tendering phase were also devised to counteract possible subsequent demands on the part of the contractor, should no defect-free lining be possible on account of excessive approved production accuracies thus ne-

Tabelle 1 Zusammenstellung Tübbingtoleranzen: Vorschriften, Ausschreibung und Ausführung

	Deutsche Eisenbahnvorschrift				Straßentunnel		
	DS 853 Stand 1993	DS 853 Stand 1998	Ril 853 Stand ab 01.01.2006	Ril 853 Stand ab 01.03.2011 ¹⁾	ZTV-ING Entwurf 2005	ZTV-ING Stand ab 12/2007	
1 Winkelabweichungen							
1.1 Tübbingteilungswinkel (große Segmente)	+/- 0,02°	entfallen	entfallen	entfallen	+/- 0,01°	+/- 0,01°	
1.2 Tübbingteilungswinkel (kleiner Schlussstein)	+/- 0,01°	entfallen	entfallen	entfallen	-	-	
1.3 Verschränkungswinkel in den Längsfugen / Verschränkung in den Längsfugen	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	
1.4 Winkel der Längsfugenkonizität / Längsfugenkonizität	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	
2 Lineare Abmessungen							
2.1 Tübbingbreite	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	
2.2 Tübbingdicke	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 3,0 mm	+/- 3,0 mm	+/- 3,0 mm	
2.3 Tübbingbogenlänge (große Segmente)	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	-	-	
2.4 Tübbingbogenlänge (Schlussstein)	+/- 0,3 mm	entfallen	entfallen	entfallen	-	-	
2.5 Innenradius (Einzeltübbing)	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	
2.6 Außenradius (Einzeltübbing)	+/- 2,0 mm	entfallen	entfallen	entfallen	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	
2.7 Dichtungsnutachse	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	
2.8 Kontaktflächenachse	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	entfallen	-	-	
3 Ebenheit und Planparallelität von Kontaktflächen							
3.1 Längsfugenebenheit	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	
3.2 Ringfugenebenheit	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	
4 Detailstellen							
4.1 Erektorgriffaschen	+/- 2,0 mm	entfallen	entfallen	entfallen	-	-	
4.2 Dichtungsnut	+/- 0,1 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+ 0,2 mm - 0 mm (3) + (4)	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	
4.3 Schraubensitzflächen	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	entfallen	-	-	
4.4 Innendichtungsnut	+/- 2,0 mm	entfallen	entfallen	entfallen	-	-	
5 Toleranzen am geschlossenen Ring							
5.1 Außendurchmesser	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	-	-	
5.2 Innendurchmesser	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	-	-	
5.3 Außenumfang (in 3 Höhen gemessen)	+/- 15 mm	+/- 30 mm	+/- 30 mm	+/- 30 mm	-	-	
5.4 Innenumfang (in 3 Höhen gemessen)	+ 20 / - 5 mm	entfallen	entfallen	entfallen	-	-	
5.5 max. zulässiger Montageversatz	+/- 8 mm	entfallen	entfallen	+/- 10 mm	-	-	

¹⁾ identisch mit Stand ab 01.12.2008

bahntunneln vorlagen und die damalige Eisenbahnvorschrift infolgedessen nur zweischalige Tunnelbauten zuließ. Einschalig erstellte Tunnelbauwerke bedurften damals noch einer Zulassung im Einzelfall (ZiE). Bis dahin waren noch keine

Eisenbahn-Tübbingtunnel in einschaliger Bauweise gebaut worden.

Strenge Vorschriften in der Ausschreibung sollten auch eventuellen Nachtragsforderungen des Auftragnehmers entgegenwirken, falls infolge

cessitating the requirements to be subsequently raised.

Within the scope of German reunification the Finne Tunnel in the new federal states was the first project, whose tender was planned on the basis of the DS 853.0019. This tunnel was in fact

the first high-speed rail tunnel to be produced with a single shell using segments. Owing to the omission of the inner shell, special demands were placed on the tunnel's tightness. Against the background of these demands on tightness, the permissible

Fernbahn Berlin		Sophiatunnel		Botlektunnel		Rotterdam
Ausschreibung 1995	Ausführung	Ausschreibung 1997	Ausführung	Ausschreibung 1997	Ausführung	Ausschreibung 2003
+/- 0,02°	+/- 0,02°	+/- 0,02°	entfallen	+/- 0,02°	+/- 0,02°	+/- 0,02°
+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°	entfallen	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°
+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°
+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,03° (1)	+/- 0,01°	+/- 0,025° (6)	+/- 0,01°
			+/- 0,05° (2)			
+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,4 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,3 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 1,0 mm	+/- 0,5 mm	+/- 1,0 mm	+/- 0,5 mm
+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	-	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm
+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 2,0 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm
+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm
+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm
+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 0,1 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm (3) +/- 0,3 mm (4)	- 0,0 / + 0,5 mm (3) +/- 0,3 mm (4) +/- 0,01° (5)	+/- 0,1 mm (3)
+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm
+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm
+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm
+/- 15 mm	+ 20 / - 5 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm
+/- 5 mm	+/- 5 mm	entfallen	-	entfallen	-	entfallen

to declarations by the Deutsche Bahn after consulting with various advisory bodies based on the aspects mentioned previously. These stricter requirements applied to the segment arch length, the lining groove axis, the evenness of the longitudinal and annular joints, the permissible internal area as well as the maximal permissible assembly misalignment.

However accomplishment of the Finne Tunnel project was delayed and was actually produced at a later date between 2008 and 2010 (Fig. 2). In the interim, planning for the tunnel projects for the Berlin Mainline Route was carried out. On account of the comparable demands on the tunnel lining in Berlin the increased requirements on producing the segments for the Finne Tunnel were applied as the basis for the tendering procedure for the Berlin Mainline Tunnel project.

The good experience collected during the fulfilment of the Berlin Mainline Tunnel project prompted the Ingenieurbüro Maidl & Maidl, Bochum (IMM) in its capacity as tunnel designer to incorporate these enhanced demands in the tendering procedures for construction projects in conjunction with the goods traffic services for the Betuwe Route in the Netherlands,

- (1) pro Tübbing
(2) pro Längsfuge
(3) Neoprennuttbreite
(4) Neoprennuttiefe
(5) Seitenneigung der Neoprennut
(6) Summe der Konizität von 2 anliegenden Tübbingen

zu hoher zugelassener Herstellungsgenauigkeiten kein mängelfreier Ausbau umsetzbar wäre und die Anforderungen erst nachträglich hätten erhöht werden müssen.

Im Rahmen der deutschen Wiedervereinigung war das

erste Projekt, bei dem die Ausschreibung auf der Basis der DS 853.0019 geplant wurde, der Finnetunnel in den neuen Bundesländern. Bei diesem Tunnel handelte es sich auch um den ersten Eisenbahn-Schnellbahntunnel, der in einschaliger Tüb-

production tolerances were formulated most strictly particularly in this field.

During the tendering phase for these first railway segment tunnel projects the strict specifications of DS 853.0019 were still further tightened according

the Botlek and Sophia tunnels as well as the Pannerdensch Canal and for the subsequent Groene Hart and Randstad Rail, Statenwegtracé Tunnel projects.

In 1998, the Deutsche Bahn published a new version of Guideline DS 853.0019.

Table 1 Compilation of Segment Tolerances: Regulations, Tendering and Execution

	German Rail Regulation				Road Tunnels		
	DS 853 from 1993	DS 853 from 1998	Ril 853 from 01.01.2006	Ril 853 from 01.03.2011 ¹⁾	ZTV-ING Draft 2005	ZTV-ING from 12/2007	
1 Angle deviations							
1.1 Segment distribution angle (large segments)	+/- 0,02°	inapplicable	inapplicable	inapplicable	+/- 0,01°	+/- 0,01°	
1.2 Segment distribution angle (small keystone)	+/- 0,01°	inapplicable	inapplicable	inapplicable	-	-	
1.3 Angle of twist in the longitudinal joints / twist in the longitudinal joints	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	
1.4 Angle of longitudinal joint concity / longitudinal joint concity	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	
2 Linear dimensions							
2.1 Segment width	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	
2.2 Segment thickness	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 3,0 mm	+/- 3,0 mm	+/- 3,0 mm	
2.3 Segment arch length (large segments)	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	+/- 0,6 mm	-	-	
2.4 Segment arch length (keystone)	+/- 0,3 mm	inapplicable	inapplicable	inapplicable	-	-	
2.5 Inner radius (individual segment)	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	
2.6 Outer radius (individual segment)	+/- 2,0 mm	inapplicable	inapplicable	inapplicable	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	
2.7 Sealing groove axis	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	
2.8 Contact area axis	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	inapplicable	-	-	
3 Evenness and plane parallelism of contact surfaces							
3.1 Longitudinal joint evenness	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	
3.2 Annular joint evenness	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	
4 Details							
4.1 Erector grip pockets	+/- 2,0 mm	inapplicable	inapplicable	inapplicable	-	-	
4.2 Sealing groove	+/- 0,1 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+ 0,2 mm - 0 mm (3) + (4)	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	
4.3 Screw seating areas	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	inapplicable	-	-	
4.4 Inner sealing groove	+/- 2,0 mm	inapplicable	inapplicable	inapplicable	-	-	
5 Tolerances on closed ring							
5.1 Outer diameter	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	-	-	
5.2 Inner diameter	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	-	-	
5.3 Outer circumference (measured at 3 heights)	+/- 15 mm	+/- 30 mm	+/- 30 mm	+/- 30 mm	-	-	
5.4 Inner circumference (measured at 3 heights)	+ 20 / - 5 mm	inapplicable	inapplicable	inapplicable	-	-	
5.5 max. permissible assembly misalignment	+/- 8 mm	inapplicable	inapplicable	+/- 10 mm	-	-	

¹⁾ identical with from 01.12.2008

bingbauweise erstellt werden sollte. Aufgrund des Entfalls einer Innenschale wurden daher besondere Anforderungen an die Dichtheit des Tunnelausbaues gestellt. Vor dem Hintergrund der Dichtheitsanforderungen wurden gerade auch in

diesem Bereich die zulässigen Herstelltoleranzen sehr streng formuliert.

In der Ausschreibungsphase zu diesem ersten Eisenbahn-Tübbingtunnelprojekt wurden die strengen Vorgaben der DS 853.0019, nach Aussagen der

During the revision phase the permissible tolerances were adapted to the current state of the art for segment production. As can be discerned from Table 1 a number of specifications were omitted or reworded in the process.

When DS 853 was again revised in 2002, subsequently to be known as Ril 853, these specifications were taken over without being modified. The 2002 version is identical with the version introduced on January 1, 2006 regarding the tolerance de-

Berlin Mainline Tunnel		Sophia Tunnel		Botlek Tunnel		Rotterdam
Tender 1995	Execution	Tender 1997	Execution	Tender 1997	Execution	Tender 2003
+/- 0,02°	+/- 0,02°	+/- 0,02°	inapplicable	+/- 0,02°	+/- 0,02°	+/- 0,02°
+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°	inapplicable	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°
+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°	+/- 0,04°
+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,01°	+/- 0,03° (1)	+/- 0,01°	+/- 0,025° (6)	+/- 0,01°
			+/- 0,05° (2)			
+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,4 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,3 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 1,0 mm	+/- 0,5 mm	+/- 1,0 mm	+/- 0,5 mm
+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	-	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm	+/- 0,3 mm
+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 2,0 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm	+/- 1,5 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm	+/- 0,5 mm
+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm
+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm
+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,2 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 0,1 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm (3) +/- 0,3 mm (4)	- 0,0 / + 0,5 mm (3) +/- 0,3 mm (4) +/- 0,01 ° (5)	+/- 0,1 mm (3)
+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm	+/- 1,0 mm
+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm	+/- 2,0 mm
+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm
+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm
+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm
+/- 15 mm	+ 20 / - 5 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm	+/- 15 mm
+/- 5 mm	+/- 5 mm	inapplicable	-	inapplicable	-	inapplicable

ZTV-ING Part 5, Section 3 subsequently introduced in 2007 for road tunnels based on the 2005 draft, relies on millimetre specifications rather than the angle specifications derived from Ril 853, which are based on the tunnel diameters normally accomplished in road construction.

The tolerance specifications still apply today and can also be gleaned from Table 1. It was possible to replace the angle specifications for the longitudinal joint formation by millimetre specifications thanks to the diameter reference established by the required clearance profile. Complicated calculations could thus be avoided.

Updates of Ril 853 (as of December 1, 2008 and March 1, 2011) continued with the trend to avoid providing angle specifications thus replacing them by millimetres. Otherwise the details contained in the previous version as of January 1, 2006 have been taken over. It remains to be seen to what extent the renouncing of angle specifications for the application of different tunnel diameters can be maintained. The Deutsche Bahn has of late attempted to produce twin-track segment bores in monocoque construction. The resultant tunnel diameters then are some 13 m external diameter in size. The single-track tunnel bores

(1) per segment
(2) per longitudinal joint
(3) neoprene groove width
(4) neoprene groove depth
(5) lateral incline of neoprene groove
(6) sum of conicity of 2 neighbouring segments

Bahn in Absprache mit verschiedenen Gutachtern, in den kritischen Bereichen aufgrund der zuvor erwähnten Punkte noch weiter verschärft. Die strengen Anforderungen betrafen die Tübbingbogenlänge, die Dichtungsnutachse, die Eben-

heit der Längs- und Ringfugen, den zulässigen Innenumfang sowie den maximal zulässigen Montageversatz.

Die Realisierung des Projektes Finnetunnel wurde jedoch zeitlich verschoben und kam erst später in den Jahren

mands and is thus referred to separately in Table 1.

The tolerance specifications for Ril 853 were based on angle specifications for the longitudinal joint formation to be independent of the tunnel diameter.

for rail tunnels produced so far possess excavated diameters of roughly 10 m.

3 Significance of the Tolerance Requirements

For the static calculation of the tunnel shell various assumptions

2008 bis 2010 zur Ausführung (Bild 2). Zwischenzeitlich wurden die Planungen für die Tunnelprojekte der Fernbahn Berlin aufgenommen. Aufgrund der vergleichbaren Anforderungen an den Tunnelausbau in Berlin bildeten die an den Finnetunnel gestellten verstärkten Anforderungen an die Tübbingherstellung die Basis für die Ausschreibung des Projektes Fernbahntunnel Berlin.

Die guten Erfahrungen, die mit dem Fernbahntunnel Berlin gesammelt wurden, veranlassten das Ingenieurbüro Maidl & Maidl, Bochum (IMM) in der Funktion als Tunnelplaner diese verstärkten Anforderungen auch in die Ausschreibungen für die Bauvorhaben im Rahmen der Güterverkehrsstrecke der Betuweroute in den Niederlanden, den Botlek und den Sophiatunnel sowie den Tunnel Pannerdensch Kanaal sowie auch für die späteren Projekte Groene Hart und Randstadrail, Tunnel Statenwegtracé, zu übernehmen.

1998 wurde eine neue Version der Richtlinie DS 853.0019 von der Deutschen Bahn veröffentlicht.

Bei der Überarbeitung wurden die zulässigen Toleranzen dem damaligen Stand der Technik in der Tübbingherstellung angepasst. Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, sind dabei einige Vorgaben entfallen bzw. wurden abgeschwächt.

Bei der neuerlichen Überarbeitung der DS 853 im Jahre 2002, die danach als Ril 853 bezeichnet wird, wurden diese Vorgaben ohne jegliche Korrekturen übernommen. Die Version 2002 ist bzgl. der Toleranzanforderungen identisch mit der Version ab 1. Januar 2006 und ist in Tabelle 1 nicht gesondert ausgewiesen.

Die Toleranzvorgaben der Ril 853 basierten für die Längsfugenausbildung, um unabhängig vom Tunneldurchmesser zu sein, auf Winkelvorgaben!

Die später im Jahre 2007 für Straßentunnel auf der Basis des Entwurfes 2005 eingeführte ZTV-ING Teil 5, Abschnitt 3 basiert, anstelle der Winkelvorgaben aus der Ril 853, auf Millimetervorgaben, die auf dem Bezug zu den üblicherweise im Straßenbau zu realisierenden Tunneldurchmessern basieren.

Diese Toleranzvorgaben sind bis heute gültig und ebenfalls Tabelle 1 zu entnehmen. Durch den für Straßentunnel aufgrund des geforderten Lichtraumprofils festgelegten Durchmesserbezug konnten die Winkelvorgaben für die Längsfugenausbildung durch Millimetervorgaben ersetzt werden. Aufwendige Umrechnungen konnten damit entfallen.

Die Fortschreibungen der Ril 853 (Stand ab 1. Dezember 2008 und Stand ab 1. März 2011) haben den Trend des Verzichts auf Winkelvorgaben aufgegriffen und diese ebenfalls durch Millimeterangaben ersetzt. Ansonsten sind die Vorgaben der Vorläuferversion, Stand 1. Januar 2006, übernommen worden. Es bleibt abzuwarten, inwieweit zukünftig der Verzicht auf Winkelvorgaben bei Anwendung unterschiedlicher Tunneldurchmesser aufrecht zu halten ist. Neuere Bestrebungen der Deutschen Bahn sehen auch die Realisierung von zweigleisigen Tübbingröhren in einschaliger Bauweise vor. Die daraus abzuleitenden Tunneldurchmesser liegen dann in einer Größenordnung von ca. 13 m Ausbruchdurchmes-



Ringweise Tübbingstapelung Finnetunnel (2008)

Stock of segments per Ring Finne Tunnel (2008)

are made for the segmental lining. These assumptions relate in particular to the

- stiffness of the tunnel or segmental ring,
- load transference of the segment longitudinal joints in the concrete hinges and
- stiffness of the ring couplings

Furthermore the scheduled, ideal state of the joints is assumed for the static calculation of the segment longitudinal joints. The evenness of the annular joints is also assumed for the further transference of the driving jack forces.

The installed sealing gaskets are designed to comply with the misalignments, which can occur as a result of the segment design.

All aspects depend on planning being applied perfectly. Tolerances are permitted to the extent observed in process technical terms and are thus economically acceptable. Providing these tolerances are observed no unexpected increase in the calculated segment load is to be reckoned with.

Alongside the static aspects, the dimensional accuracy of the segments at their point of installation is of great significance.

It is only possible to produce tunnel rings that are free of damage and tight on a regular basis providing they are manufactured precisely.

Unfavourable interaction of excessively large tolerances results in unscheduled constraining forces acting on the segments. These constraining forces can reach magnitudes, which cannot be accepted either by the concrete or the installed reinforcement. It is also impossible to dimension the individual segments to accommodate these loads owing to the many imponderable factors.

Spalling, cracks and leakages affecting the rings are generally the outcome of inaccurate segment production.

The tolerances of the longitudinal joint concity, the segment width and the evenness of the contact surfaces are of importance for the design of the segments (Fig. 3). In these areas, which affect both the longitudinal as well as the annular joint,

ser. Die bis dato hergestellten eingleisigen Tunnelröhren für Eisenbahntunnel weisen Ausbruchdurchmesser von ca. 10 m auf.

3 Bedeutung der Toleranzanforderungen

Bei der statischen Berechnung der Tunnelschale werden für den Tübbingausbau diverse Annahmen getroffen. Diese Annahmen betreffen insbesondere die

- Steifigkeit des Tübbings bzw. Tübbingringes,
- Lastübertragung im Beton-gelenk der Tübbinglängsfugen und
- Steifigkeit der Ringkopp-lungen

Bei der statischen Berechnung der Tübbinglängsfugen wird zudem der planmäßige, ideale Zustand dieser Fugen vorausgesetzt. Auch bei der Weiterleitung der Vortriebspressenkräfte wird von der Ebenheit der Ringfugen ausgegangen.

Die eingebauten Dichtprofile werden auf die Versätze hin ausgelegt, die sich infolge des Tübbingdesigns planmäßig einstellen können.

Bei allen Aspekten wird von der idealen Umsetzung der Planung ausgegangen. Toleranzen werden in dem Maße zugelassen, wie sie fertigungstechnisch einzuhalten sind und damit im wirtschaftlich vertretbaren Rahmen stehen. Bei Einhaltung dieser Toleranzen ist auch keine außergewöhnliche Zunahme der berechneten Tübbingbelastung zu erwarten.

Neben den statischen Gesichtspunkten ist auch für den Tunnelausbau vor Ort eine Maßgenauigkeit der Tübbinge von großer Bedeutung.

Nur mit einer sehr präzisen Tübbingherstellung ist es möglich, regelmäßig schadenfreie und dichte Tunnelringe zu bauen.

Eine ungünstige Überlagerung von zu großen Toleranzen hat ungeplante Zwangsbeanspruchungen der Tübbinge zur Folge. Diese Zwangsbeanspruchungen können Größenordnungen erreichen, die weder vom Beton noch von der eingebauten Bewehrung aufgenommen werden können. Auch die Bemessung der Einzelsegmente auf diese Belastungen ist aufgrund der vielen Unwägbarkeiten nicht möglich.

Abplatzungen, Risse und Undichtigkeiten an den Ringen sind in der Regel die Folge ungenauer Tübbingherstellung.

Von besonderem Belang für die Ausbildung der Tübbinge sind die Toleranzen der Längsfugenkonizität, der Tübbingbreite und der Ebenheit der Kontaktstellen (Bild 3). In diesen Bereichen, die sowohl die Längs- als auch die Ringfuge betreffen, werden die auftretenden Lasten in die Tübbinge eingeleitet. Bei einer Einhaltung der angegebenen Toleranzen sind keine maßgebenden Zusatzbeanspruchungen in den Tübbingen zu erwarten.

Besonders die Einhaltung des Winkels der Längsfugenkonizität ist zu beachten. Die Ringnormalkräfte in den Längsfugen, die infolge der Erd- und Wasserdruckbelastung in das Tragsystem eingeleitet werden, werden durch direkten Betonkontakt über Druckspannungen weitergeleitet. Durch die Ausbildung der Längsfugen als Drehfedergelenke wird der Lasteinleitungsbereich reduziert. Auf diese gezielte Lasteinleitung hin werden die

the prevailing forces are introduced into the segments. Providing the predetermined tolerances are adhered to, no decisive additional stresses in the segments are to be anticipated.

Observance of the angle of the longitudinal joint conicity deserves particular attention. The ring normal forces in the longitudinal joints, which are introduced to the supporting system as a result of earth and water pressure load, are transferred further via compressive stresses through direct contact with concrete. The load transfer area is reduced by the longitudinal joints taking on the form of a spring link. The resulting concrete compressive stresses are calculated through this applied load introduction and the necessary tensile strength reinforcement for the most unfavourable combination of twisting angle and ring normal force determined.

Should the permissible longitudinal joint conicity be exceeded the uniform load distributi-

on over the segment width is no longer assured. In addition to the calculated scheduled joint loads these stresses are superimposed in the longitudinal joint by constraining forces caused by excessive articulation. If the demanded tolerance is not observed during segment production, special static proof based on the dimensions actually produced, are required and the reinforcement in the longitudinal joints adjusted to the prevailing circumstances. Experience shows that the tensile strength reinforcement in the longitudinal joints must be increased by roughly 10 to 15 % given an increase of the permissible longitudinal joint conicity from 0.01° to 0.05° .

Care must be taken to adhere to the width of the segment. Through the formation of the segment lining with offset longitudinal joints the abutment for the ring subsequently installed is always formed by 2 segments. According to plan this is geared to a uniform positioning of the segments. The segments are

ELA-Premium-Mietcontainer

...sind 1/2 m breiter



UBER 40 JAHRE SEIT 1971

ELA®

Mobile Räume mieten
www.container.de

ELA Container GmbH · Zeppelinstr. 19-21
49733 Haren (Ems) · Tel: (05932) 5 06-0

info@container.de



ELA-Kontaktdaten als QR-Code für Ihr Smartphone.

resultierenden Betondruckspannungen berechnet und die erforderliche Spaltzugbewehrung für die ungünstigste Kombination aus Verdrehwinkel und Ringnormalkraft ermittelt.

Bei einer Überschreitung der zulässigen Längsfugenkonizität wird die gleichmäßige Lasteinleitung über die Segmentbreite nicht mehr sichergestellt. Zusätzlich zu den berechneten planmäßigen Fugenbelastungen werden diese Spannungen von Zwangsbeanspruchungen, infolge zu großer Verschränkungen, in der Längsfuge überlagert. Kann die geforderte Toleranz bei der Tübbingherstellung nicht eingehalten werden, sind gesonderte statische Nachweise, anhand der tatsächlich herstellbaren Abmessungen, zu führen und die Bewehrung in den Längsfugen ist den Gegebenheiten anzupassen. Erfahrungsgemäß muss die Spaltzugbewehrung in den Längsfugen bei einer Erhöhung der zulässigen Längsfugenkonizität von 0,01° auf 0,05° um ca. 10 bis 15 % erhöht werden.

Auch die Einhaltung der Tübbingbreite ist zu beachten. Durch die Ausbildung des Tübbingausbaues mit versetzten Längsfugen wird das Auflager für den nachfolgend eingebauten Ring immer von 2 Tübbing gebildet. Planmäßig wird von einer gleichmäßigen Lagerung der Segmente ausgegangen. Die Tübbing werden in Tunnellängsrichtung durch die Vortriebspresenkräfte stark belastet. Im Regelfall werden auf der den Pressen abgewandten Tübbingseite Zwischenlagen in Form von Kaubit-, Sperrholz- bzw. Triplexplatten eingebaut, die als definierte Auflager der Segmente dienen und die Pressenkräfte

gezielt durch die Tübbingeleiten. Bei dieser Anordnung wird eine extreme Scheibenbeanspruchung der Tübbingeleiten weitestgehend verhindert. Die eingebauten Zwischenlagen dienen neben der Definition als Auflager weiterhin auch dazu, eventuell vorhandene Toleranzen in den Ringfugen auszugleichen und somit einen gleichmäßigen Kraftdurchfluss sicherzustellen.

Werden die Toleranzen in der Tübbingbreite stark überschritten, können die Zwischenlagen die Differenzen nicht mehr ausgleichen, und die betroffenen Tübbingeleiten werden als „Wandscheibe“ belastet. Bei den vorherrschenden Pressenkräften kann die Bewehrung auf diesen Lastfall hin jedoch nur schwer ausgelegt werden; Risse in den Tübbingeleiten können die Folge sein.

Neben den direkten Kontaktstellen der Tübbingeleiten werden auch an die Lage und Ausbildung der Dichtungsnut sehr hohe Anforderungen gestellt.

Da es sich um einen einschaligen Tunnelausbau mit nur einem Dichtsystem handelt, sind die Abmessungen der Nut exakt auf das gewählte Dichtprofil hin auszulegen, so dass sich keine Undichtigkeiten in Form von Umläufigkeiten einstellen können.

Auch die Lage der Dichtungsnutachse ist von größter Bedeutung, da das Dichtprofil gemäß Anwendungsdiagramm mit größter Genauigkeit für die möglichen Fugenversätze und Fugenöffnungen hin getestet und ausgelegt ist.

Nur mit einer sehr genauen Ausbildung der Dichtungsnut kann die Funktionalität des Dichtsystems sichergestellt werden.

subjected to pronounced load in the longitudinal direction of the tunnel through the driving jack forces. Generally speaking intermediate layers in the form of composite, plywood or triplex panels are installed on the side of the segments facing the jacks, which serve as a defined abutment for the segments and specifically direct the jacking forces through the segments. Given this arrangement, extreme stress in the segments is largely avoided. Apart from defining the abutment the installed intermediate panels also help to compensate tolerances possibly prevailing in the annular joints thus securing a uniform force flow rate.

If the tolerances in the segment width are exceeded to a large degree, the intermediate panels are unable to compensate the differences, and the affected segments are subjected to load as a "shear wall". Given the prevailing jacking forces it is difficult to design the reinforcement to cope with this load case so that cracks in the segments can result.

Extremely high demands are posed on the position and design of the sealing groove apart from the direct contact points for the segments.

As a single-shell tunnel lining with only a single sealing system is concerned, the groove dimensions must be designed to conform exactly with the selected sealing gasket so that no leakages resulting from ingressing water can occur.

The position of the sealing groove axis is also of great importance as the sealing gasket has been tested and designed with the greatest accuracy for possible joint misalignments and joint openings.

It is only possible to assure that the sealing system functions properly providing that the sealing groove is designed with extreme accuracy.

4 Tendering Demands for executed Reference Projects and resultant Findings

As previously indicated the DS 853 was first taken as the basis for the permissible segment tolerances for the Berlin Mainline Tunnel project.

In the urban rail tunnels previously produced in Germany, tenders did not include such detailed tolerance specifications. The production of segments and the applied tolerances were by and large determined by the contractor. The following excerpts from older tenders substantiate this:

4.1 City of Cologne, Contract Section M1, Wiener Platz/ Frankfurter Straße, 1990

Under point 5.4.1 – G "Segments" in the list of services all that is said is:

"To assess the offers the JV requires detailed explanations and binding commitments on the following points from the tenderer.

Segments:

- Production, accuracy, testing, trial assembly
- ...
- Sealing, test certificates"

4.2 City of Duisburg, Undertunnelling the Ruhr. Lot TA7/8A, 1992

Tender requirement on the segment tolerances: Point 9.7.1

"On account of the production accuracy required for a watertight lining – the customary neoprene seals only permit +/- 0.5 mm tolerance – the ap-

4 Ausschreibungsanforderungen ausgeführter Referenzprojekte und deren Erfahrungen

Wie zuvor ausgeführt, wurde die DS 853 für das Projekt Fernbahntunnel Berlin erstmalig als Basis für die zulässigen Tübbingtoleranzen herangezogen.

Bei den zuvor in Deutschland erstellten Stadtbahntunneln gab es in den Ausschreibungen keine so eng gefassten Toleranzvorgaben. Die Tübbingherstellung und die anzusetzenden Toleranzen wurden im Wesentlichen vom Auftragnehmer festgelegt. Nachfolgende Auszüge aus älteren Ausschreibungen dokumentieren dies:

4.1 Stadt Köln, Baulos M1, Wiener Platz/Frankfurter Straße, 1990

Unter dem Punkt 5.4.1 – G, „Tübbinge“ der Leistungsbeschreibung heißt es sogar nur:

„Zur Beurteilung der Angebote wünscht der AG zu folgenden Punkten vom Bieter ausführliche Erläuterungen und verbindliche Zusagen.

Tübbinge:

- Herstellung, Genauigkeit, Prüfung, Probemontage
- ...
- Dichtung, Prüfzeugnisse.“

4.2 Stadt Duisburg, Ruhrunterquerung, Los TA7/8A, 1992

Anforderung der Ausschreibung an die Tübbingtoleranzen: Pkt. 9.7.1

„Wegen der für eine wasserdichte Auskleidung erforderlichen Herstellungsgenauigkeit – die üblichen Neoprendichtungen erlauben nur +/- 0,5 mm Toleranz – wird die Verwendung von schweren Stahlschalungen mit [...] einer Herstellgenauigkeit von +/- 0,2 mm gefordert. Hier-

über hat der AN einen Nachweis zu erbringen.“

„Neben den üblichen Kontrollen nach der DIN sind die Abmessungen der einzelnen Tübbinge zu überprüfen, zu Beginn der Produktion jeder Tübbing, nach Erreichen der geforderten Herstellgenauigkeit mind. jeder 25. Tübbing einer Schalung.“

4.3 Finnetunnel, Fernbahntunnel Berlin, 1995

Die Ausschreibung des Fernbahntunnels Berlin, die auf der Basis der geplanten Ausschreibung für den Finnetunnel erstellt wurde, basierte in Deutschland, wie zuvor erwähnt, erstmalig auf einer Vorschriftenlage, den Anforderungen der DS 853.0019.

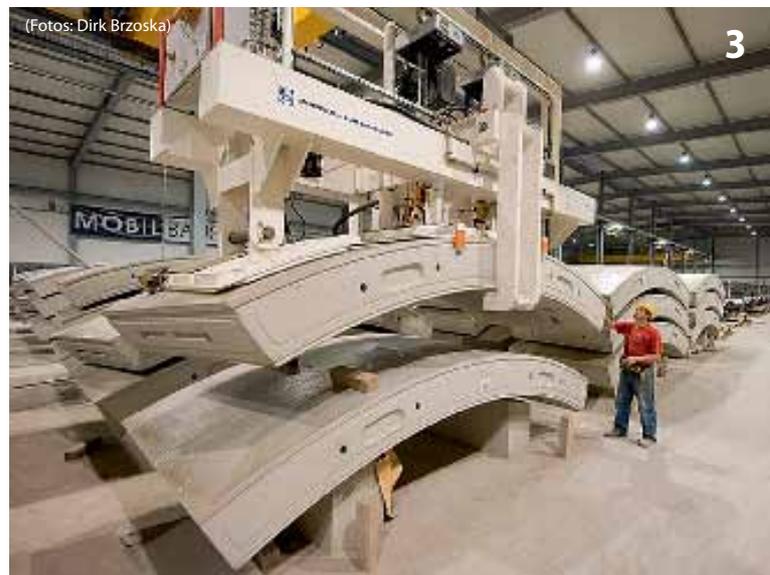
In Abweichung zur DS 853 mit Stand von 1993 wurden für den Fernbahntunnel Berlin die Toleranzen für die Tübbingbogenlänge, die Dichtungsnutachse, die Ebenheit der Längs- und Ringfugen, den Innenumfang sowie der maximal zulässige Montageversatz verringert (siehe Tabelle 1).

Im Rahmen der Ausführung konnten fast alle Forderungen erfüllt werden. Anpassungen waren bei der Dichtungsnut sowie bei dem Innenumfang des geschlossenen Ringes erforderlich.

Es bleibt hier darauf hinzuweisen, dass als Tübbingdesign für die Längsfugen glatte Fugen und für die Ringfugen dem damaligen Stand der Technik entsprechend ein Nut-Feder-System zum Einsatz kam.

4.4 Botlektunnel, Sophiatunnel, Tunnel Pannerdensch Kanaal, 1997/1998

Bei den Projekten für die Betuweroute dienten die Anfor-



Design Ring- und Längsfuge Finnetunnel (2008)

Design of Ring and Longitudinal Joint Finne Tunnel (2008)

plication of heavy steel moulds with [...] a production accuracy of +/- 0.2mm is called for. The contractor is required to provide proof“.

“Apart from the customary checks according to DIN the dimensions of the individual segments have to be examined, each segment at the beginning of production, at least every 25th segment per mould once the required production accuracy is attained“.

4.3 Finne Tunnel, Berlin Mainline Tunnel, 1995

The tender for the Berlin Mainline Tunnel, which was produced on the basis for the planned tender for the Finne Tunnel, was based for the first time in Germany, as previously mentioned, on specifications as laid down in the DS 853.0019.

In contrast to the DS 853 dating from 1993 the tolerances for the segment arch length, the sealing groove axis, the evenness of the longitudinal and annular joints, the inner circumferences as well as the maximal permissible assembly misalignment were

reduced for the Berlin Mainline Tunnel (see Table 1).

Practically all requirements could met within the scope of execution. Adjustments were necessary for the sealing groove and the inner circumference of the closed ring.

It should be pointed out here that smooth joints for the longitudinal joints and a tongue and groove system in keeping with the state of the art at the time were applied in terms of segment design.

4.4 Botlek Tunnel, Sophia Tunnel, Pannerdensch Canal Tunnel, 1997/1998

The specifications contained in the tender for the Berlin Mainline Tunnel, which had proved itself in practice, were applied for the Betuwe Route projects. Furthermore a tongue and groove system for the annular joint was taken for the reference draft in similar fashion to the Berlin Mainline Tunnel concept.

The sole change related to specifying the maximal permissible assembly misalignment. This specification was excluded

derungen der Ausschreibung des Fernbahntunnels Berlin, die sich in der Praxis bewährt hatten, als Basis der Ausschreibung. Zudem lag dem Referenz-Entwurf analog dem Berliner Fernbahntunnelkonzept ein Nut-Feder-System in der Ringfuge zugrunde.

Die einzige Veränderung wurde bei der Vorgabe des maximal zulässigen Montageversatzes vorgenommen. Um dem AN eine freie Wahl in der Ausbildung des Kopplungsdesigns in der Ringfuge zu gewähren, entfiel diese Vorgabe in der Ausschreibung.

4.5 Projekt Nord-Süd Stadtbahn Köln, 2003

Beim Projekt Nord-Süd Stadtbahn Köln wurden dem Finnetunnel entsprechende analoge Änderungsvorschläge vom AN vorgebracht.

Das IMM wurde beim Kölner Projekt mit der Beurteilung der Vorschläge im Rahmen einer zu erstellenden fachtechnischen Stellungnahme beauftragt.

Aufgrund von Vergleichsbetrachtungen mit den geänderten Toleranzwerten kam das IMM zu dem Ergebnis, dass das Risiko negativer Beeinflussungen als beherrschbar einzustufen wäre.

Im Hinblick auf mögliche vertragliche Vereinbarungen und der Verantwortungsabgrenzung wurde seitens IMM für das Projekt in Köln folgende Kompromisslösung vorgeschlagen und so letztlich mit dem AN vereinbart.

- Oberste Prämisse für die Fertigung der Tübbinge bleibt die Zielsetzung zur Einhaltung der ursprünglich aufgestellten Toleranzvorgaben.

- „Ausreißer“, d.h. Abweichungen in den Toleranzvorgaben werden für die Längsfugenkonizität bis max. $\pm 0,017^\circ$ und für die Längsfugenebenheit bis max. $\pm 0,05$ mm toleriert, solange sie in einer prozentualen Größenordnung von $< 1\%$ für die Abweichung lagen.
- Seitens des AG wird die Abweichung in vertraglicher Sicht lediglich toleriert. Die Verantwortung verbleibt jedoch weiterhin beim AN. D.h., die aus diesen Abweichungen resultierenden möglichen Folgen für die Gebrauchsfähigkeit im Hinblick auf Schadensbeseitigungen/Sanierungen etc. in Folge z.B. von Abplatzungen, Rissen, Undichtigkeiten etc. gehen zu Lasten des AN.

5 Ausführungserfahrungen aus Referenzprojekten

Rückkopplungen über Praxiserfahrungen bzgl. der Einhaltung der Toleranzvorgaben bzw. eventuell ausgeführter Anpassungen sind generell nur schwer zugänglich.

Aufgrund der Erfahrungen des IMM bei den Tunneln für die Betuweroute im Rahmen der Bauüberwachung (Hinweis: Hier waren in der Ausschreibung ebenfalls die Toleranzvorgaben der Ril aufgestellt worden) konnten folgende Kenntnisse abgeleitet werden.

Bei der Vermessung der Segmente stellten sich einige Punkte als kritisch heraus, die die Anforderungen der Ausschreibung nicht erfüllen konnten:

- Längsfugenkonizität,
- Tübbingbreite,
- Tübbingbogenlänge und
- Dichtungsnut

from the tender to allow the contractor a free hand in coming up with the coupling design for the annular joint.

4.5 North-South Urban Light Railway Cologne, 2003

The contractor put forward a number of proposed alterations in keeping with the Finne Tunnel for the North-South urban light railway in Cologne.

The IMM was commissioned to assess these proposals within the scope of the technical appraisal for the Cologne project.

Based on comparative observations relating to the changed tolerance values the IMM concluded that the risk of negative influences could be classified as controllable.

Regarding possible contractual agreements and delimitation of responsibilities the IMM put forward the following compromise solution for the Cologne project, which was accepted by the contractor.

- The prime target for production of the segments remains the objective of adhering to the originally determined tolerance specifications.
- "Exceptions", i.e. deviations from the tolerance specifications are tolerated for the longitudinal joint conicity to a max. of $+0.017^\circ$ and a max. of $+0.05$ mm for the longitudinal joint evenness if related to a percentage magnitude of $< 1\%$ for the deviation.
- In contractual terms the fluctuation is merely tolerated by the client. However the contractor still remains responsible. In other words, possible consequences for serviceability relating to damage rectification/redevelopment etc. caused by e.g.

spalling, cracks, leakages etc. are to be borne by the contractor.

5 Findings obtained from Reference Projects

Generally speaking feedback on practical experience and the adherence to tolerance specifications and any adjustments possible undertaken are hard to obtain.

Based on the experience gained by the IMM from the Betuwe Route tunnels within the scope of supervision of construction (NB: Ril tolerance specifications were also applied in the tender here) the following findings were obtained.

During the measuring of the segments a number of points emerged as critical, which could not fulfil the requirements of the tender:

- Longitudinal joint conicity,
- Segment width,
- Segment arch length and
- Sealing groove

During segment production the tolerances for these aspects were adjusted to the technical values possible in consultation with the client.

Longitudinal joint conicity: change from $+0.01^\circ$ to $+0.025^\circ$.

The longitudinal joint evenness was retained unaltered at $+0.2$ mm.

In this connection, first and foremost increasing the permissible longitudinal joint conicity exerts an effect on the supporting behaviour of the segments as well as on the necessary reinforcement for the longitudinal joints.

The feasibility of the changed tolerance parameters could be confirmed through exact ring execution. The tunnels were produced with a qualitatively high-grade segmental lining.

Im Laufe der Tübbingfertigung wurden die Toleranzen dieser Punkte in Absprache mit dem Auftraggeber den ausführungstechnisch möglichen Werten angepasst.

Längsfugenkonizität: Änderung von $\pm 0,01^\circ$ auf $\pm 0,025^\circ$.

Die Längsfugenebenheit wurde unverändert bei $\pm 0,2$ mm beibehalten.

Dabei hat vor Allem die Erhöhung der zulässigen Längsfugenkonizität Auswirkungen auf das Tragverhalten der Tübbinge sowie auf die erforderliche Bewehrung der Längsfugen.

Durch einen exakten Ringbau konnte die Machbarkeit der geänderten Toleranzvorgaben bestätigt werden. Die Tunnel wurden mit einer qualitativ hochwertigen Tübbingauskleidung umgesetzt.

6 Gegenüberstellung Tübbingtoleranzen Vorschriftenlage/Referenzprojekte

In Tabelle 1 sind zur besseren Vergleichbarkeit die Tübbingtoleranzen nachfolgend aufgeführter Projekte bzw. Vorschriften zusammengestellt:

1. DS 853.0019, Stand 1993
2. DS 853.0019, Stand 1998
3. Ril 853, Stand ab 1. Juni 2002
4. Ril 853, Stand ab 1. März 2011
5. ZTV-ING, Entwurf 2005
6. ZTV-ING, Stand 12/2007
7. Fernbahntunnel Berlin, Ausschreibung 1995
8. Fernbahntunnel Berlin, Ausführung
9. Sophiatunnel, Ausschreibung 1997
10. Sophiatunnel, Ausführung
11. Botlektunnel, Ausschreibung 1997
12. Botlektunnel, Ausführung

13. Rotterdam Statenwegtracé, Ausschreibung 2003 (identisch mit den Tunneln der Betuweroute)

Die Anforderungen der Ausschreibung für den Tunnel Pannerdensch Kanaal und die Groene Hart sind identisch mit denjenigen für Botlek und Sophia; auf eine Wiedergabe wurde daher verzichtet.

7 Schlussbemerkung

Die in Deutschland erstmalig mit Herausgabe der deutschen Eisenbahnvorschrift DS 853 (heute Ril 853) im Jahr 1993 formulierten Toleranzvorgaben an die Tübbingherstellung haben sich in der Praxis weitgehend bewährt. Bei einzelnen Parametern wurden geringfügige Anpassungen vorgenommen. Es hat sich gezeigt, dass die insgesamt streng formulierten hohen Genauigkeitsanforderungen ein wesentlicher Garant für die hohe erzielbare Qualität des Endproduktes „einschalig hergestelltes Tübbingbauwerk“ sind. Zukünftig gilt es die Haltbarkeit bzw. Umsetzbarkeit der Anforderungen an den Trend der Durchmesservergrößerungen anzupassen bzw. zu überprüfen. 

Literatur / References

- [1] Handke, D.: Stand der Schildvortriebstechnik. Felsbau 2011, Heft 2, pp. 110-114
- [2] Deutsche Bahn AG: Ril 853 Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten. Version 1.3.2011
- [3] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5 Tunnelbau Abschnitt 3 „Maschinelle Schildvortriebsverfahren“. Ausgabe 12/2007

6 Comparison of Segment Tolerances Regulation structure/ Reference projects

Table 1 contains the segments tolerances for the following projects and regulations to enable better comparison:

1. DS 853.0019, as of 1993
2. DS 853.0019, as of 1998
3. Ril 853, as from June 1, 2002
4. Ril 853, as from March 1, 2011
5. ZTV-ING, draft 2005
6. ZTV-ING, as of 12/2007
7. Berlin Mainline Tunnel, tender 1995
8. Berlin Mainline Tunnel, execution
9. Sophia Tunnel, tender 1997
10. Sophia Tunnel, execution
11. Botlek Tunnel, tender 1997
12. Botlek Tunnel, execution
13. Rotterdam Statenwegtracé, tender 2003 (identical with the Betuwe Route tunnels)

The requirements for the tender for the Pannerdensch Canal Tunnel and the Groene Hart are identical with those for the Botlek and Sophia; thus repetition is unnecessary.

7 Conclusion

The tolerance specifications for segment production first formulated in Germany in 1993 with the publication of the German Rail Guideline DS 853 (now Ril 853) have largely proved themselves in practice. Slight adjustments to individual parameters have been undertaken. It has been displayed that the by and large strictly formulated high demands on accuracy represent a major assurance for the high quality attained by the end product a "segmental structure produced with a single shell". In future, it is essential to adapt and comply the sustainability and applicability of these demands to the trend to increase diameters. 

A.S.T. Bochum

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik für Beton, Wasser und Pressluft

A.S.T. Bochum GmbH
Kolkmannskamp 8
D-44879 Bochum

fon: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 10
fax: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 20
e-mail: info@astbochum.de

