

Herausforderungen an das Tübbingdesign bei einem Tunneldurchmesser über 19 m

Der Beitrag wurde anlässlich der 38. Jahrestagung der International Tunneling and Underground Space Association und des World Tunnel Congress 2012 in Bangkok/Thailand vorgetragen. Es ist der dritte Vortrag, der im Gedenken an Sir Alan Muir-Wood im Rahmen der Muir-Wood Lecture gehalten wurde und eine besondere Auszeichnung für den Referenten.

1 Einleitung

Tübbingringe zur Auskleidung von maschinell vorgetriebene Tunneln sind Stahlbetonfertigteile und bei der Konstruktion sowie Bemessung als solche zu behandeln. Da im Tunnelbau aber gewisse Besonderheiten zu berücksichtigen sind, stellt das Design von Tübbingrin-

gen Anforderungen, die ganz erheblich von denen an sonstige Stahlbetonkonstruktionen abweichen. Vor allem die Festlegung der Einwirkungen im Bau- und Endzustand und die Bettung des Gelenkringes im

Segmental Ring Design – New Challenges with High Tunnel Diameters

The Article was held on the 38th Annual Meeting of the International Tunneling and Underground Space Association and the World Tunnel Congress 2012 in Bangkok/Thailand. It was the third lecture in memory of Sir Alan Muir-Wood presented as the Muir-Wood lecture and it is a very great decoration for the speaker.

1 Introduction

Tunnel lining with segmental rings behind TBMs are reinforced concrete elements and must be calculated and designed according to the standards of reinforced concrete constructions.

In tunnelling, however, specific circumstances must be taken in account, which make design much more complicated: The determination of loads during ring erection, advance of the TBM, earth pressure and bedding of the articulated ring, is difficult. The ring model and the design input values must be studied carefully according to the parameters of the surrounding soil.

For utility tunnels and single rail track Metro tunnels, where the ring diameter is smaller than about 8 m, the parameters may be chosen on the "safe side", for example, the full cover can be taken as external load. For bigger tunnel diameters, more realistic soil parameters must be found and inserted in the structural design, otherwise it may be impossible to verify the tunnel lining. Several tunnels with about 15 m external diameter were already built with success. Tunnels and caverns with an diameter near 19 m, with primary shotcrete lining and concrete inner lining, were executed on several projects, too. Now a new project, the Orlovski-



Orlovski Tunnel (zweistöckiger Autobahntunnel) mit sechsstöckigem Gebäude

Orlovski Tunnel and a 6 Floor Apartment Building

Perspektiven unter Tag

Die Amberg Gruppe: Einmalige Kompetenz im Untertagebau



Amberg Engineering AG
Umfassende Ingenieurkompetenz
im Untertagebau

Amberg Technologies AG
Spitzentechnologie in der Mess-
technik für den Untertagebau:
Vorauserkundung, Bauwerks-
überwachung, Vermessung

VersuchsStollen Hagerbach AG
Forschungs- und Ausbildungs-
kompetenz / Baustoffprüflabore
/ Versuchsstollen-Anlage



Amberg Engineering AG
Trockenloostrasse 21
CH-8105 Regensdorf
Telefon +41 44 870 91 11
Telefax +41 44 870 06 20
info@amberg.ch
www.amberg.ch



Amberg Technologies AG
Trockenloostrasse 21
CH-8105 Regensdorf
Telefon +41 44 870 92 22
Telefax +41 44 870 06 18
info@amberg.ch
www.amberg.ch



VersuchsStollen Hagerbach AG
Polistrasse 1
CH-8893 Flums Hochwiese
Telefon +41 81 734 14 14
Telefax +41 81 734 14 05
info@hagerbach.ch
www.hagerbach.ch



Geöffnete Klappbrücke über die Neva
Open Balance Bridge in St. Petersburg

umgebenden Boden müssen aus den Baugrundkennwerten richtig erkannt und auf das Ringmodell angesetzt werden.

Bei den im Kanal- und U-Bahnbau üblichen Durchmessern von weniger als 7 m und den meist moderaten Überdeckungen können Vorgaben gemacht werden, die auf der „sicheren Seite“ liegen. Bei größeren Durchmessern, beispielsweise für Hochgeschwindigkeits-Bahntunnel oder für mehrspurige Straßentunnel, müssen realistischere Kennwerte in die Konstruktion und die Statik eingeführt werden. Anderenfalls kann es sein, dass der Ring nicht zu bemessen ist oder unwirtschaftliche Abmessungen aus den Berechnungen ermittelt werden. Dazu kommen neuerdings die Schwierigkeiten bei der Bemessung für den Brandfall.

Der bisher größte ausgeführte, maschinell aufgefahrene und mit Tübbingen ausgekleidete Tunnel ist der Jangtse River Tunnel in Shanghai/China mit einem Ausbruchdurchmesser von 15,40 m. Momentan wird in Italien ein noch etwas größerer Autobahntunnel mit 15,50 m Ausbruchdurchmesser hergestellt (Autobahn A1, Bologna-Florenz/Italien, Gal-



Lageplan Orlovski Tunnel mit Zufahrtsrampen
Plan View of the Orlovski Tunnel

leria Sparvo). Beim größten in Planung befindlichen, maschinell aufgefahrenen Tunnel (Neva-Autobahnunterquerung, Orlovski-Tunnel in St. Petersburg/Russland) wird der Ausbruchdurchmesser ca. 19,20 m betragen. Dies entspricht der Höhe eines sechsstöckigen Gebäudes. Die Ortsbrustfläche beträgt 284 m² (Bild 1).

2 Projektbeschreibung

Die Neva durchquert St. Petersburg, die zweitgrößte Stadt Russlands mit ca. 5 Mio. Einwohnern, von der Ostsee kom-

Tunnel in St. Petersburg, with an outer diameter of 18,65 m in a non-uniform soft soil strata, is in the design phase. The diameter corresponds to the height of a 6 floor building (Fig. 1).

2 Project description

The Neva river crosses St. Petersburg from the Baltic Sea to the harbour area east of the city

costs of approx. 1.4 Billion Euro should be refinanced by tolls.

2.1 Geology

The geology in the area of the Neva-crossing consists of quaternary soils, deposited by rivers during melting of the nordic glaciers at the end of the last ice age. Caused by several advances of the glaciers, the underground

and the Ladoga lake. All balance bridges are opened at certain hours, mostly during night time, to allow bigger ships coming over the Baltic Sea to reach the harbour (Fig. 2). During these periods, the Neva cannot be crossed.

The „Orlovski-Tunnel“ would improve the traffic situation reasonably, and connect the separated city areas around the clock. Bridges could be held open for longer periods and improve the continuously growing ship traffic (Fig. 3). It is planned, to build the tunnel as a „Public-Private-Partnership“ project. The building

is partly over consolidated. The strata is shown on the geological section (Fig. 4). The soil parameters in the area and above the tunnel show a very soft ground. The clayey, silty fine sands have a dead weight of $\gamma \approx 20 \text{ kN/m}^3$, a Young's modulus $E \approx 10 \text{ to } 30 \text{ MN/m}^2$, a Poisson's ratio $\nu \approx 0,3 \text{ to } 0,4$, a $\phi \approx 20^\circ$ and a cohesion $c \approx 15 \text{ kN/m}^2$.

3 Determination of Loads

3.1 Earth Pressure

If a tunnel has an overburden of less than 2 times the diameter,

GUANGZHOU | SACRAMENTO | DELHI

SWIFT EPB.

At 336 m in one month, a Robbins EPB is tunneling the Guangzhou Metro faster than any of the other 60 TBMs on-site. In Sacramento, a Robbins EPB has achieved a rate of 45 m in 24 hours — while installing PVC-lined concrete segments. And in Delhi, a Robbins EPB has advanced a record 202 m in one week—beating the rates of the other 14 machines on the Metro project.

Full speed ahead.

therobbinscompany.com
sales@robbinstbm.com

Robbins
GLOBAL LEADERSHIP. UNCOMMON EXPERIENCE.

mend bis zu den Hafenanlagen im Osten der Stadt und den Lagogasee. Alle Brücken über die Neva werden zu regelmäßigen Zeiten - hauptsächlich nachts - mehrere Stunden geöffnet, um auch großen Schiffen die Durchfahrt zu den Hafenanlagen zu ermöglichen (Bild 2). In diesen Öffnungszeiten kann die Neva bisher nicht überquert werden.

Der geplante „Orlovski-Tunnel“ würde die Verkehrssituation erheblich verbessern und die nachts getrennten Stadthälften verbinden. Nach der Fertigstellung könnten Fahrzeuge rund um die Uhr von einem Ufer der Neva ans andere gelangen (Bild 3). Die Brücken könnten für den ständig anwachsenden Schiffsverkehr länger als bisher geöffnet bleiben. Der Tunnel soll als PPP-Projekt (Public-Private-Partnership) hergestellt werden. Die Baukosten werden auf ca. 1,4 Mrd. Euro geschätzt und sollen sich über Mauteinnahmen rückfinanzieren.

2.1 Geologie

Die Geologie im Bereich der Neva-Unterquerung ist geprägt durch quartäre Sedimente die hauptsächlich durch Flussablagerung beim Abschmelzen der eiszeitlichen Gletscher entstanden sind. Durch mehrmaliges Wiedervordringen der Vergletscherung wurden die Böden stark belastet und sind dadurch meist überkonsolidiert. Im geologischen Längsschnitt (Bild 4) sind die unterschiedlichen Schichten dargestellt. Die Bodenkennwerte sind über die ganze Tunnelhöhe und darüber als sehr schlecht zu bezeichnen. Die tonig, schluffigen Feinsande haben überwiegend eine Wichte von $\gamma \approx 20 \text{ kN/m}^3$,

einen E-Modul von $E \approx 10$ bis 30 MN/m^2 , eine Querdehnzahl $\nu \approx 0,3$ bis $0,4$, ein $\varphi \approx 20^\circ$ und eine Kohäsion $c \approx 15 \text{ kN/m}^2$.

3 Lastannahmen / Bettung

3.1 Lastannahmen

Bei der Tiefenlage des Tunnels im Bereich von weniger als 2 Durchmessern wird auf die volle Bodenauflast bemessen. Eine Reduzierung der vertikalen Lasten aufgrund der Si-lowirkung nach Terzaghi wird für den Endzustand meist nicht zugelassen. Bei ca. 22 m Überdeckung ergaben sich beim Orlovski-Tunnel maximale Auflasten von ca. 440 kN/m^2 .

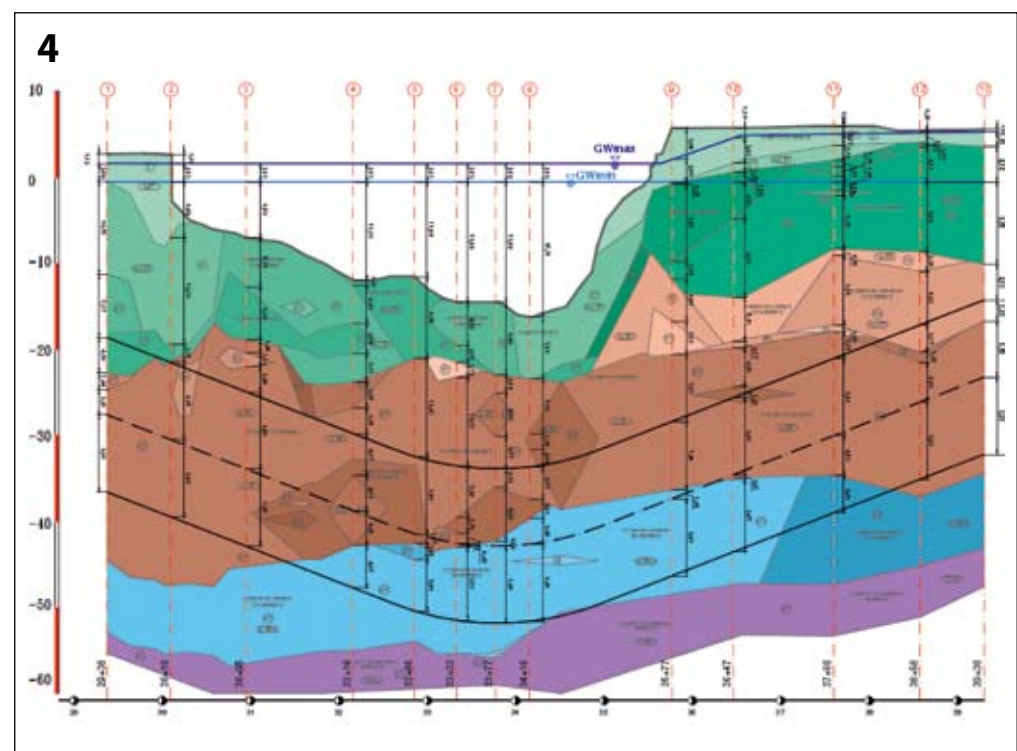
Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente zeigen, dass eine Reduzierung der Lasten um ca. 25 % durchaus möglich wäre. Dies entspricht in etwa der Terzaghi-Abminderung und wurde bei der Bemessung auch genutzt. Die

the full primary earth usually is inserted in the calculations. A reduction of the earth pressure, e.g. by using the Terzaghi theory, often is not allowed for the final state. Calculating the 22 m overburden, the maximal vertical load would be near 440 kN/m^2 . Finite Element calculations show, that a load reduction of approx. 25 % should be possible. This corresponds with the Terzaghi reduction. This reduced vertical earth pressure was used for the calculations. The full cover was calculated with reduced safety factors.

For huge diameter tunnels with segmental lining, a marginal change of side pressure leads to notable changes of ring bending moments. The side pressure in most of all projects is determined by the soil angle of internal friction k_0 ($k_0 = 1 - \sin \varphi$). Measurements to determine the side pressure factor k_0 are difficult and need elaborated

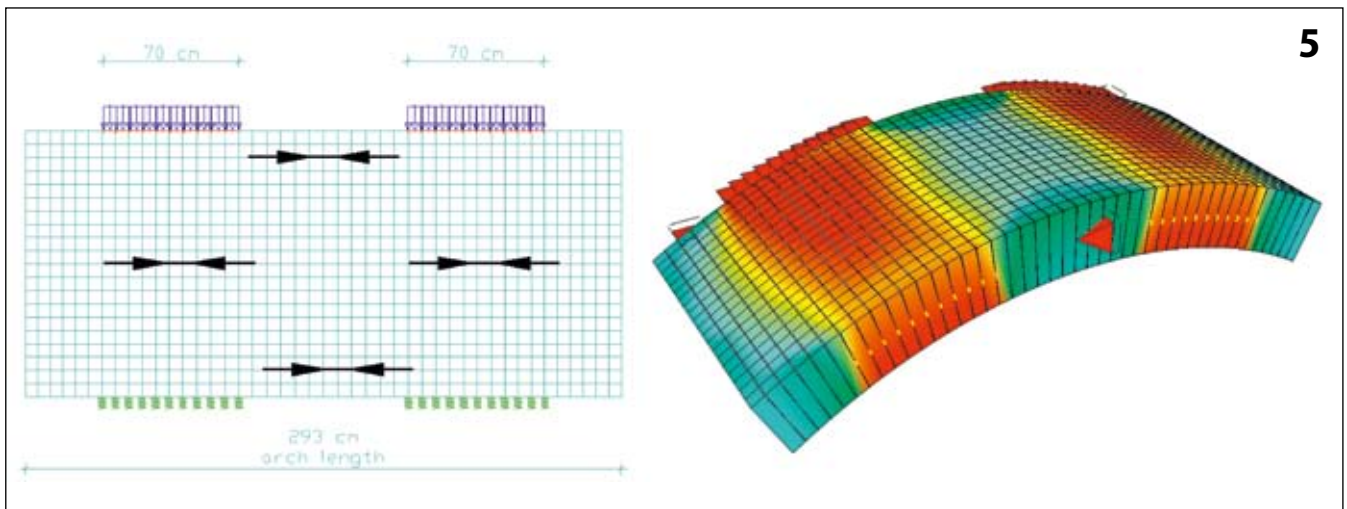
instrumentation and interpretation. For the Orlovski project the calculated k_0 varies from 0.6 to 0.75. Because of possible over consolidation, a maximal $k_0 = 1.0$ was calculated, too. Higher values are not realistic, as small soil deformations already lower the k_0 -factor under 1.0.

For control calculations with a 2 dimensional Finite Element Method (FEM), the release factor at the tunnel face must be calculated, too. If ground deformations must be limited, the small factor is used. This means, the slurry pressure in the cutting chamber must be high, more than 0.5 bar over the water pressure in the top area of the TBM. Only a small stress release in the ground is possible, the load on the segments is high, ground deformations are low. If higher ground settlements can be accepted, the slurry pressure can be lowered up to water pressure at the face. As a redistribution of



Geologischer Längsschnitt

Geological Longitudinal Section



Ermittlung der Spaltzugspannungen aus Vortriebspresenkräften
Calculation of Tensile Stresses from Ram Pressure

volle Auflast wurde zusätzlich als Lastfall mit reduzierten Sicherheiten nachgewiesen.

Die horizontale Einwirkung auf den Ring wird über den Seitendruckbeiwert festgelegt. Beim Orlovski-Tunnel konnte der k_0 -Wert nur über den Winkel der inneren Reibung bestimmt werden ($k_0 = 1 - \sin \varphi$). In den relevanten Schichten im Bereich des Tunnels ergaben sich hieraus Seitendruckbeiwerte zwischen 0,6 und 0,75. Aufgrund der möglichen Überkonsolidierung der Böden

wurde auch mit einem Seitendruckbeiwert von 1,0 gerechnet. Höhere Seitendrücke, resultierend aus der Überkonsolidierung der Böden, müssen nicht gerechnet werden. Bei Seitendrücken über $k_0=1,0$ bauen sich diese bereits bei geringsten Verformungen sofort auf Werte unter 1 ab. Aus der Berechnung ergab sich, dass bereits geringe Variationen des Seitendruckbeiwertes zu großen Unterschieden in den daraus resultierenden Biegemomenten führten.

loads around the tunnel is possible, a high release factor was chosen to calculate the maximal settlements. The earth loads on the lining lowers down to a minimum. For this case, the grouting pressure around the segmental lining may give the maximal load on the ring. Because of uncertain input values, the parameter studies were necessary to find a realistic load determination and to understand the specific interaction between surrounding soil and segmental lining.

3.2 Loads during Ring Erection and Advance

Segments already get considerable loads already during transport and ring erection. They are pulled out of the formwork when concrete hardening is in an early stage, and the segments are manipulated during stocking, transport, ring erection and advance. For the dimensioning of reinforcement, the loads during advance are often decisive.

Big tunnel diameters need big TBMs to excavate the tunnel. The foreseen slurry TBM

Stahlübblinge, Wehrhahnlinie, Düsseldorf, Deutschland



Maschinen
Stahlbau  Dresden
Niederlassung der Herrenknecht AG

Der Spezialist für Ihren

Tunnelbau

Weitere Projekte finden Sie auf unserer Homepage www.msd-dresden.de

Tübbingzange, Sochi, Russland



Üblicherweise wird für die Berechnung des Tübbingringes mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) eine zweidimensionale Scheibe berechnet. Auf Grund der Vereinfachungen der zweidimensionalen Scheibeberechnung wird die Lastumlagerung vom primären zum sekundären Spannungszustand nach dem Stützkern- oder Stützlastverfahren durchgeführt. Die Lastumlagerung an der Ortsbrust kann durch eine Abminderung der Steifigkeit des stützenden Kerns oder durch reduzierte Spannungen auf den Restquerschnitt simuliert werden. Zwischen Setzungsberechnung bzw. Lastumlagerungsberechnung und Tunnelbemessung muss dabei unterschieden werden. Um realistische Setzungsbeträge/ Lastumlagerungswerte zu berechnen, müssen Faktoren, wie vorauseilende Umlagerung in Tunnellängsrichtung, Auflockerung der Ortsbrust und Überschnitt der Maschine berücksichtigt werden.

Da hohe zugelassene Verformungen umfangreiche Spannungsumlagerungen im Boden verursachen, sind die verbleibenden Beanspruchungen des Tunnels gering. Beim Einsatz einer TVM mit Ortsbruststützung wird die Entspannung jedoch relativ gering ausfallen. Nach der Schilddurchfahrt wird der Boden aber durch die Ringspaltverpressung wieder vorgespannt. Mit der Aushärtung des Verpressmörtels stellen sich wieder höhere Spannungen und damit Lasteinwirkungen auf den Tübbingring ein. Um dies rechnerisch nachzuvollziehen sollten die Entspannungserscheinungen an der Ortsbrust nur mit geringen Abminderungen der Steifig-

keiten bzw. Kernspannungen in die Berechnung eingeführt werden.

Aufgrund der großen Unsicherheit bei der Festlegung der Kennwerte sowie möglicher Streuungen der Eingangsgrößen waren umfangreiche Parameterstudien erforderlich. Dadurch wurde die Bandbreite der Einwirkungen erfasst und das Verständnis für die spezifische Baugrund-Bauwerk-Interaktion erarbeitet.

3.2 Einwirkungen beim Transport und beim Einbau des Tübbingringes

Im Gegensatz zum Spritzbeton und Ortbeton unterliegt

with an excavation diameter of 19.2 m will have 37 double rams with about 7'000 kN advance force, each. The pressure must be absorbed by the segments in a small circumferential joint area. High tensile splitting forces must be taken by special reinforcement (Fig. 5).

3.3 Loads from Built-in Components and Traffic

Even in traffic tunnel, the built-in components and traffic loads are not significant for the structural analysis. The multi-level Orlovskitunnel however, has high traffic loads which are transferred to the segmental lining within small areas (Fig. 6). In the soft soil

ground, this may lead to high deformations between the segments and had to be verified in the structural analysis.

4 Bedding Assumptions

The longitudinal joints between the segments of a ring react as articulations. Because of the high normal forces, bending moments can be transferred over the joints, but the stability of the ring depends on bedding reactions. The bedding parameters are calculated from the Young's modulus of the surrounding soil. Even if powerful calculation methods exist, e.g.

$$\frac{E_s}{E} = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}$$

FEM-calculations, the determination of correct bedding parameters may be difficult.

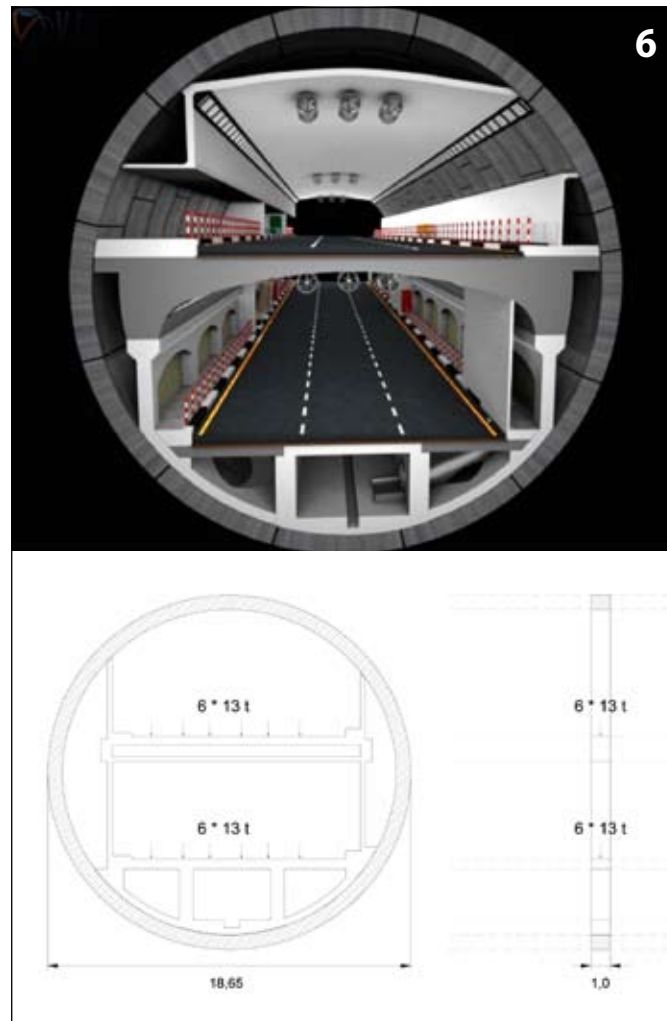
Geotechnical engineers often only provide the Young's Modulus. From this, the stiffness modulus E_s must be calculated with the Poisson's ratio ν (Table 1).

In the clayey loams with $\nu \approx 0.4$, the stiffness modulus E_s is about 2 times higher than the Young's modulus E ! From the E_s modulus, the spring stiffness is calculated (R = system radius of the segmental ring) as follows:

$$c \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] = \frac{E_s}{R}$$

Geotechnical engineers often tend to provide a Young's modulus, which was determined by the lowest measured values.

The experts may not realize, that small layers of soft soil have no influence on the real bedding situation of the lining. Additionally, the face support pressure and the ring grouting pressure pre-stress the surrounding soil and equalises the bedding situation.



Einbauten und Verkehrslasten
Built-in Components and Traffic Loads

der Tübbingring bereits bei der Herstellung, dem Transport und der Montage erheblichen Belastungen. Er wird bereits im sehr jungen Zustand aus der Schaltung gehoben und bewegt.

Für die geometrische Ausbildung und die Bemessung des Tübbingringes mit maßgebend sind die Einwirkungen aus dem Maschinenvorschub. Beim vorgesehenen Vortriebsschild mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust und einem Außendurchmesser von 19,2 m wirken 37 Doppelpressen mit bis zu 7000 kN auf eine begrenzte Fläche in der Ringfuge. Hier entstehen hohe Druckkräfte. Insbesondere die dadurch geweckten Spaltzugkräfte in Längs- und Querrichtung können maßgeblich für die Bewehrung und die Ringdicke werden (Bild 5).

Die Erfassung der Einwirkungen aus Zwängungen im Schildschwanz ist nur schwer vorauszusagen und nachzuweisen. Die Verwendung eines ausreichend konischen Ringes (konisch auf der schildabgewandten Seite!) und einer Schwanzluft von mindestens 4 cm sollten unzulässige Belastungen jedoch vermeiden.

3.3 Einwirkungen aus Einbauten und Verkehr

Bei üblichen Verkehrstunneln kann auf den Ansatz von inneren Lasten meist verzichtet werden. Der mehrstöckige Orlovski-Tunnel weist jedoch hohe Verkehrslasten auf, die mittels umfangreicher Einbauten die Lasten konzentriert in den Tübbingring einleiten. Da in den weichen Böden mit geringen Steifemoduli Verformungen möglich sind, mussten die inneren Lasten gesondert ermittelt und in der Statik weiterverfolgt werden (Bild 6).

v	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
E_s/E	1,000	1,005	1,023	1,056	1,111	1,200	1,346	1,605	2,143	3,793
				Fels / Rock		Sand		Ton / Clay		

Tabelle 1: Umrechnung E-Modul in Steifemodul E_s

Table 1: Conversion of Young's Modulus E to Modulus of Stiffness E_s

4 Bettungsannahmen

Aufgrund der Längsfugen im Tübbingring, die als Gelenke wirken, muss eine ausreichende Bettung die Stabilität des Ringes gewährleisten. Die Bettung errechnet sich aus dem Verformungs- bzw. Elastizitätsmodul des umgebenden Gebirges. Auch wenn die modernen Rechenprogramme, insbesondere diejenigen die nach der Methode der Finiten Elemente arbeiten, eine Vielzahl von Modellen zur Verfügung stellen, ist die Ermittlung der Kennwerte schwierig.

Vom Baugrundgutachter wird meist der E-Modul (Youngs' Modulus) vorgegeben. Aus dem E-Modul wird zur Ermittlung der Federsteifigkeiten der Bettungsfedern mit der Querdehnzahl ν in den Steifemodul E_s umgerechnet.

$$\frac{E_s}{E} = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}$$

Insbesondere in den weichen Schluff- und Tonböden ergibt sich eine deutliche Erhöhung des Steifemoduls gegenüber dem E-Modul des Bodens (Tabelle 1).

Aus dem Steifemodul errechnet sich die Bettungsfederkonstante (für Stabzugberechnungen) mit der Formel (R = Radius der Tübbingringssystemlinie):

$$c \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = \frac{E_s}{R}$$

Another problem is the determination of the loading, unloading and reloading modulus for the calculation of the segmental ring.

All given soil parameters should be discussed between designer and geotechnical expert to determine realistic values for the final calculations.

5 Ring Design

More segments per ring make the ring more flexible, the defor-

mations are lower, the bending moments are higher. Fewer segments give a more rigid ring with smaller deformations but higher bending moments.

For the Orlovski-Tunnel, the influence of different numbers of segments per ring was optimized by calculating the deformations and bending moments for several ring geometries. A 9 + 1 ring (9 normal segments, 1 key) has about 20 % higher bending moments and about 10 % smal-



Sicher. Dauerhaft.

Tunneltore von Elkuch Bator.

Für höchste Anforderungen. Strengstens erprobt. Zum Beispiel am Lötschberg und Gotthard Basistunnel.

Zur Sicherheit!



ELKUCH BATOR

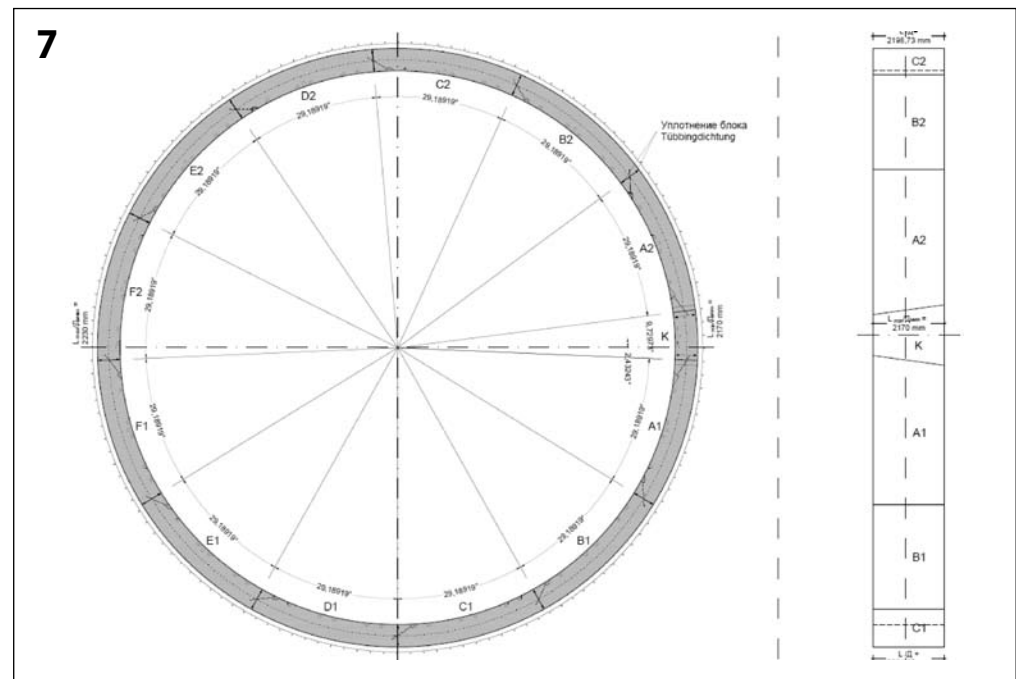
Elkuch Bator | Herzogenbuchsee | www.elkuch.com | T +41 62 956 20 50

Die Baugrundgutachter neigen dazu, geringe Verformungs- und E-Module vorzugeben, um auch „Ausreißer nach Unten“ zu erfassen. Dabei wird häufig übersehen, dass sich dünnere weiche Bodenschichten nicht wirklich auf die Bettungsverhältnisse auswirken. Zudem erzeugt der Stützdruck an der Ortsbrust und der Verpressdruck des Ringspaltmörtels eine Vorspannung des Baugrundes, der im kritischen Bereich nahe der Vortriebsmaschine zu einer weiteren Vergleichmäßigung der Bettungsverhältnisse sorgt.

Die Bestimmung der Entlastungs- und Wiederbelastungsmodule, die bei der Ermittlung der Bettungsfederkonstante anzusetzen sind, bereitet häufig größere Schwierigkeiten. Sie kann aus Triaxialversuchen oder auch Oedometerversuchen ermittelt werden, wird aber meist nur abgeschätzt.

Bei großen Ringdurchmessern mit geringer Überdeckung muss beachtet werden, dass der Ring sich rechnerisch zu einem „stehenden Ei“ verformen kann. Dabei wird auch in der Firste eine Bettung geweckt, die bei den üblichen Ringberechnungen nicht auftritt, und deren Verträglichkeit stets zu überprüfen ist. Gerade bei internationalen Großprojekten ist es angebracht, die Verformungsmodule genau zu hinterfragen und mit den Baugrundingenieuren zu diskutieren.

So wäre der Orlovski-Tunnel mit den ursprünglich vorgegebenen Parametern nicht ausführbar gewesen. Nach ausführlichen Diskussionen konnten jedoch realistische Kennwerte im Einvernehmen festgelegt werden, mit denen der Tübbingring zu bemessen war.



Ringteiling

Tapered Rings

5 Ringkonstruktion

Als erster Schritt bei der Konstruktion wird die Ringteilung festgelegt. Wenige Segmente pro Ring ergeben eine größere Steifigkeit, geringere Verformungen aber auch höhere Biegemomente in den Einzelsegmenten. Mehr Segmente pro Ring ergeben entsprechend größere Verformungen und geringere Biegemomente.

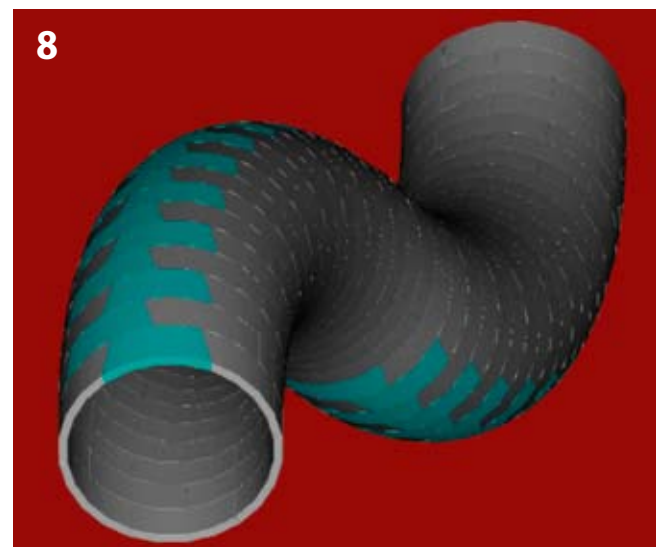
Durch eine Vergleichsberechnung wurde der Einfluss der Anzahl der Tübbinge pro Ring ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei einer Ringteilung 9 + 1 gegenüber dem Ring mit der Teilung 12 + 1 die Biegemomente um ca. 20 % erhöhen, die Verformung aber um ca. 10 % geringer sind. Durch die stärkere Verdrehung in den Längsfugen und die dadurch entstehende ungleichmäßige Druckübertragung können die Längsfugen bei größerer Anzahl Segmente pro Ring nur etwa halb so stark zusammengedrückt werden wie bei einer geringeren Anzahl von Segmenten.

ler deformations than a 12+1 ring. As the rotation in the longitudinal joints for a ring with 13 segments is about 20 % higher than in the 9+1 ring, the allowed transverse forces in the joints are lowered by about 40 %.

But for the big scale rings, the weight of each segment may lead to more segments per ring because of transport limits.

The Orlovski ring, with an external diameter of 18.65 m, a segment thickness of 70 cm and a ring width of 2.2 m, weights 215 t. As the maximum payload of a truck is limited to 18 t, a ring with 12 segments plus a small key was designed (Fig. 7).

For the segment design, only tapered ring should be used. Even for a nearly straight tunnel



Konische Tübbingringe

Tapered Rings

Bei großen Ringen wird die Ringteilung durch das maximale Transportgewicht mitbestimmt. Beim Orlovski-Tunnel mit einem Außendurchmesser von 18,65 m, einer Segmentdicke von 70 cm und einer Ringlänge von 2,20 m wiegt der Ring ca. 215 t. Da ein Lkw dort höchstens 18 t transportieren kann, musste eine Ringteilung von 12 Normalsegmenten plus ein kleiner Schlussstein gewählt werden (Bild 7).

Obwohl der Tunnel annähernd gerade verläuft,

$$\begin{aligned} R_{\min \text{ horizontal}} &= 5000 \text{ m,} \\ R_{\min \text{ vertikal}} &= 6000 \text{ m} \end{aligned}$$

wird der Ring konisch ausgeführt (Bild 8). Die Vortriebsmaschine fährt mit kleineren

Kurven um die Solltunnelachse, realistisch ist eine Auffahrtoleranz von 10 cm. Der Tübbingring muss dieser Schildspur immer zwangungsfrei folgen können. Die schräge Ringseite muss auf der schildabgewandten Seite angeordnet werden, um mit dem neu zu bauenden Ring sofort eine Korrektur einleiten zu können. Der Orlovski-Ring wird als Uniring mit einer Konizität von 60 mm ausgeführt. Die minimale Ringlänge wird in der Schlusssteinachse angeordnet. Damit sind Kurvenradien von ca. 700 m aufzufahren.

Sowohl bei den Längs- als auch bei den Ringfugen hat sich die „glatte Fuge“ durchgesetzt. In den Ringfugen wurde aufgrund der weichen Böden

$$\begin{aligned} R_{\min \text{ horizontal}} &= 5000 \text{ m,} \\ R_{\min \text{ vertikal}} &= 6000 \text{ m} \end{aligned}$$

the TBM is driving curves and the rings must follow the TBM drive. The tapered side should be on the tunnel back side of the ring (in direction of advance) (Fig. 8). It should be big enough to allow a ring erection back to the axis of the TBM tail. So, deformations of the new built ring when passing the tail sealing, will be avoided. If the key segment should always be situated above tunnel spring line, left and right rings are favourable.

Flat circumferential/longitudinal joints are state of the art (Fig. 9). If connectors between rings and segments are used,

they should be flexible and the coupling should not be assured by groove and tongue or pot and cam design. A pot and cam connection was chosen for safety reasons in the soft soils, with a sufficient clearance between both rings of 11 mm.

Coupling between 2 rings is possible by friction under the high longitudinal forces induced by advance pressure and must be calculated. The explicit wish of the client was, that a double sealing gasket inside and outside should be used. This is unusual, 1 sealing gasket near the extrados generally is enough.

For tolerance reasons, intermediate layers of hardboards are clued between the rings.



GIPO
...wir durchbrechen Berge

Stationäre Backenbrechanlage B 1385

Schweizer Qualität
wirtschaftlich – stark – präzise

Für jeden Einsatz die passende Anlage,
wir beraten Sie gerne!

GIPO AG
Kohlplatzstrasse 15
CH-6462 Seedorf
Tel. +41 (0)41 874 81 10
info@gipo.ch / www.gipo.ch

Vertrieb Deutschland Nord-Mitte:
TRS GmbH
Wilhelmstrasse 5 / D-31582 Nienburg
Tel. +49 (0 50 21) 887 73 12
info@gipo-online.de / www.gipo-online.de

zusätzlich eine Nocke-/Topf-Verbindung vorgesehen, die jedoch mit einer ausreichenden Toleranz von 11 mm versehen wurde (Bild 9). Auf ausdrücklichen Wunsch des Auftraggebers wird der Ring mit je einer Kompressionsfugendichtung innen und außen geplant.

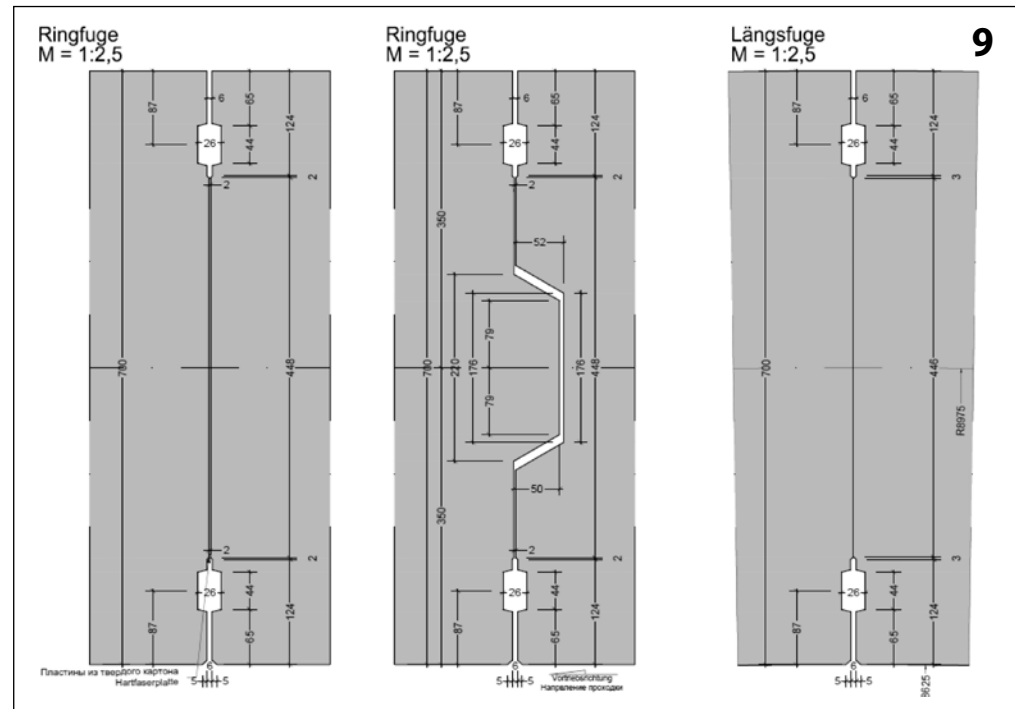
Als Toleranzausgleich in den Ringfugen werden Zwischenlagen aus Hartfaserplättchen verwendet. Bei einigen internationalen Projekten wurde auf die Zwischenlagen verzichtet und Beton auf Beton gebaut. Die Erfahrungen aus diesen Projekten zeigen, dass bei Einhaltung einer hohen Fertigungsgenauigkeit und eines sehr sorgfältigen Ringbaues keine zusätzlichen Abplatzungen oder Risse im Tübbing auftreten.

Auf ausdrücklichen Wunsch des Bauherrn werden an der Ringinnenseite und -außenseite je ein Kompressionsfugenband vorgesehen. Diese doppelte Dichtungsebene wird selten vorgesehen. Ein außenliegendes Band ist im Allgemeinen ausreichend.

6 Statische Berechnungen und Bemessung

Der Tübbingring wird üblicherweise als gekoppelter Doppelring mit einem Stabzugrechenprogramm berechnet (Bild 10). Scheibenberechnungen können bisher nur am Einzelring durchgeführt werden, denn die Ringkopplung kann bisher bei den meisten Programmen nicht oder nur sehr aufwändig modelliert werden.

Um die Grenzwerte für die Berechnung zu erfassen wird auch ein biegesteifer Ring und ein Ring mit reduzierter Biegesteifigkeit nach Muir Wood berechnet:



Fugengeometrie

Geometry of Joints

$$I = I_s + I_n \cdot \left(\frac{4}{m}\right)^2$$

- I reduziertes Flächenmoment 2. Grades
= **0,01057 m⁴/m**
- I_s Flächenmoment 2. Grades der Kontaktfläche
= **0,00739 m⁴/m**
- I_n Flächenmoment 2. Grades des Volltübblings
= **0,02858 m⁴/m**
- m Anzahl Segmente ohne kleinen Schlussstein
= **12**

Beim Orlovski-Ring reduziert sich die Biegesteifigkeit des Gelenkringes nach Muir Wood um 63 %. Die hiermit berechneten Biegemomente weichen von der „genauen“ Ringberechnung mit simulierten Drehfedern in den Längsfugen lediglich um ca. 15 % ab.

Bei großen Ringdurchmessern, mit rechnerisch größeren Verformungen, wird die Berechnung nach der Theorie 2.

On several international projects, intermediate layers were not installed and the contact in the circumferential joints was concrete to concrete. Operating experiences show, that the amount of cracks and broken parts of the segments did not increase if production accuracy and exact ring build was achieved.

6 Structural Analysis

The segmental ring usually is calculated as a coupled double ring (Fig. 10). In a FEM program, only a single ring can be calculated, as coupling of 2 rings is not possible or very time consuming for most of all calculation programs.

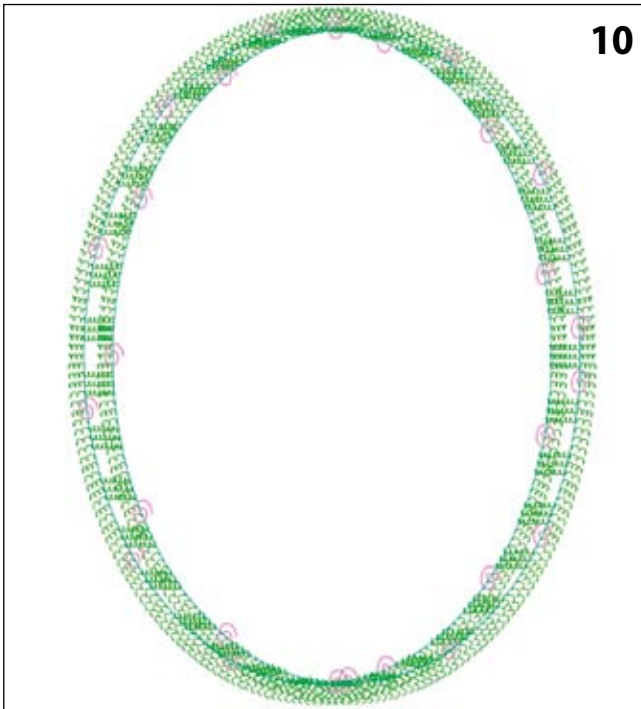
To check extremes, a single ring with articulations and a single rigid ring is calculated, as well as rigid ring with a reduced area-wise moment according to Sir Allen Muir Wood's formula:

$$I = I_s + I_n \cdot \left(\frac{4}{m}\right)^2$$

- I reduced area-wise moment
= **0,01057 m⁴/m**
- I_s area-wise moment of the force transmission zone
= **0,00739 m⁴/m**
- I_n area-wise moment of complete section
= **0,02858 m⁴/m**
- m number of segments (small key-segment not counted)
= **12**

For the Orlovski ring, an area-wise moment reduction of 63 % was calculated with the Muir Wood formula. The calculated bending moments with this Muir Wood reduction only differ approx. 15 % from the moments, calculated with a more precise calculation for an articulated ring with moment springs in the longitudinal joints. In Fig. 11 the internal forces and deformations are shown for a typical load case.

Extensive effort is necessary, to verify the longitudinal and circumferential joints:



10

System des gekoppelten Ringes (Programm SOFISTiK)
Coupled Double Ring (Software SOFISTiK)

Ordnung erforderlich. Eventuell können Stabilitätsprobleme auftreten. In Bild 11 sind typische Schnittkraftverläufe für einen maßgeblichen Lastfall dargestellt.

Einen erheblichen Aufwand bereitet die Modellierung der Fugen und – nachfolgend - die dazugehörigen Detailnachweise:

- Nachweis der Teilflächenpressungen
- Nachweis der Spaltzugkräfte und Ermittlung der erforderlichen Bewehrung

Für Tübbingringe kann aufgrund von Versuchsergebnissen

die zulässige Druckspannung in der Kraftübertragungszone auf die dreifache zulässige Betondruckspannung gesetzt werden (Tabelle 2).

In der Berechnung wird die gedrückte Fugenfläche h_c um die doppelte Exzentrizität (Exzentrizität der Kontaktfläche e_c + Exzentrizität der Belastung e_l) reduziert:

$$h_1 = h_c - 2 \cdot (e_l + e_c)$$

Die Exzentrizität der Belastung ergibt aus den Schnittkräften:

$$e_l = \frac{M}{N}$$

Betonfestigkeitsklasse		C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Druckfestigkeit	f_{ck} [N/mm ²]	35,0	40,0	45,0	50,0
Rechnerische Druckfestigkeit	f_{cd} [N/mm ²]	22,0	25,2	28,3	31,5
Zulässige Druckspannung für Teilflächenpressung	σ_{rd} [N/mm ²]	66	76	85	95

Tabelle 2: Zulässige Druckspannungen für Teilflächenpressung

dewatering
groundwater control
water treatment
online monitoring
well drilling

we make it work



info@hw-dewatering.com
www.hw-dewatering.com

Hölscher Wasserbau GmbH
Haren, Germany

Branch offices in:
Austria · Bulgaria · Denmark · Latvia · UAE
Romania · The Netherlands · United Kingdom

Daraus wird die Druckspannung berechnet:

$$\sigma_d = \frac{N}{h_l} < \sigma_{rd} \quad (\text{Bild 12})$$

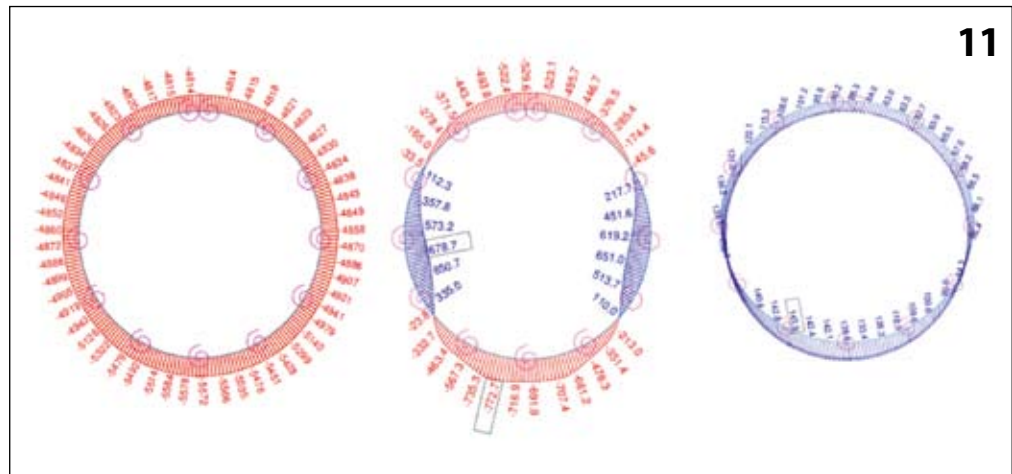
Die Spaltzugkräfte werden mit der größten Normalkraft und dem zugehörigen Biegemoment bzw. dem größten Biegemoment mit der zugehörigen Normalkraft berechnet.

$$F_{sd} = 0,25 \cdot N_d \cdot (1 - h_l/h_s)$$

Die erforderliche Spaltzugbewehrung ergibt sich aus der Formel:

$$a_s = F_{sd} / (f_{yk} \cdot \gamma_s) \quad [\text{cm}^2/\text{m}]$$

Die Spaltzugspannungen und -kräfte in der Ringfuge werden üblicherweise mittels einer Scheibenberechnung am Einzeltübbing ermittelt (Bild 5). Die Spaltzugbewehrung kann daraus analog zur Spaltzugbewehrung in den Längsfugen berechnet werden. Am Ende der statischen Berechnungen und Nachweise werden die Bewehrungspläne konstruiert (Bild 13).



Schnittkräfte N [kN/m], M [kNm/m], Verformungen [mm]
Internal Forces N [kN/m], M [kNm/m] and Deformations [mm]

7 Stahlfaserbewehrte Tübbinge

Beton hat eine hohe Druckfestigkeit, jedoch nur eine geringe Zugfestigkeit, die zudem in den Berechnungen kaum angesetzt werden kann. Durch die Zugabe von Stahlfasern entsteht ein neuer homogener und isotroper Baustoff mit neuen Werkstoffkennwerten. Die Stahlfasern sind im Beton nicht richtungsorientiert, so dass Zugspannungen in allen Richtungen aufgenommen werden können (Bild 14). Zudem erhält der Beton eine hohe Duktilität.

- Verification of partial loaded transverse areas
- Design of reinforcement for splitting forces

For segments, the allowed concrete stress in the partial loaded joints can be set to 3 times the allowed strength for dimensioning (Table 2).

For the calculation, the loaded zone width is reduced by 2 times the eccentricity ($e = \text{eccentricity of contact zone } e_c + \text{eccentricity of load } e_l$) (Fig. 12):

$$h_l = h_c - 2 \cdot (e_l + e_c)$$

The eccentricity of load results from the internal forces:

$$e_l = \frac{M}{N}$$

Then the stress can be calculated with:

$$\sigma_d = \frac{N}{h_l} < \sigma_{rd} \quad (\text{Fig. 12})$$

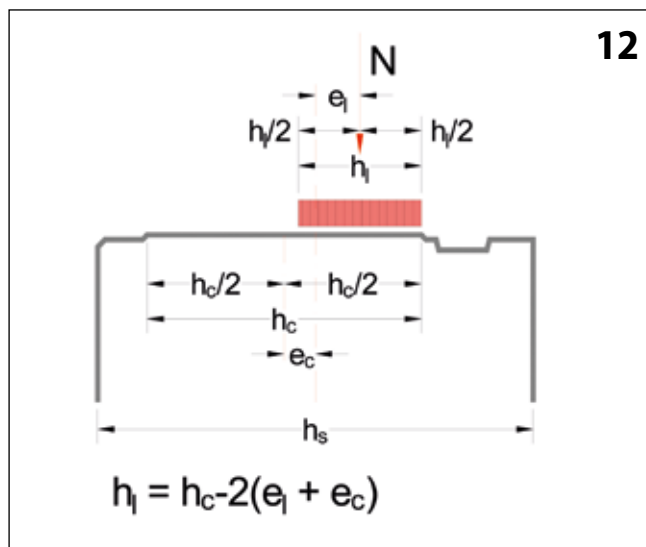
The splitting forces are calculated with the maximal normal force $\max N_d$ and the corresponding eccentricity e as well as for maximal eccentricity $\max e$ with corresponding normal force N .

$$F_{sd} = 0,25 \cdot N_d \cdot (1 - h_l/h_s)$$

Then, the necessary reinforcement results from the formula:

$$a_s = F_{sd} / (f_{yk} \cdot \gamma_s) \quad [\text{cm}^2/\text{m}]$$

The splitting forces in circumferential direction, resulting from ram loads, generally are calculated with a FEM model (Fig. 5). At the end of all structural calculations and verifications, the dimensions of the segmental ring are finally defined and the reinforcement cage is designed (Fig. 13).



Berechnung der Spannung in der teilgepressten Fuge
Calculation of Stresses in Partial Loaded Joints

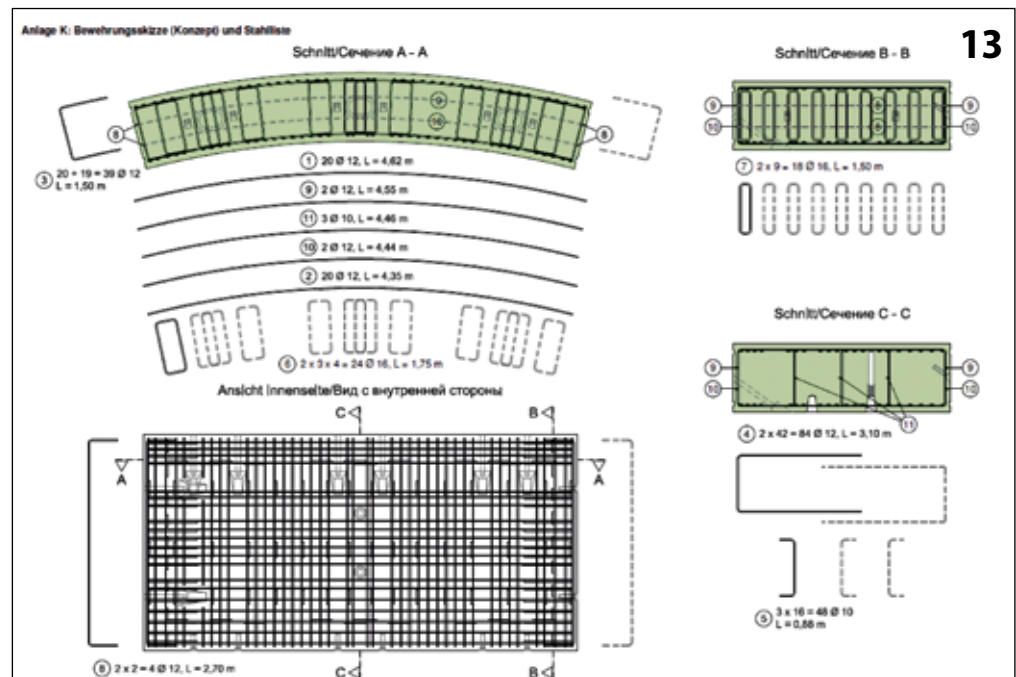
Concrete strength class		C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Compressive strength	f_{ck} [N/mm ²]	35,0	40,0	45,0	50,0
Strength for dimensioning	f_{cd} [N/mm ²]	22,0	25,2	28,3	31,5
Max. strength for partial loaded zones	σ_{rd} [N/mm ²]	66	76	85	95

Table 2: Allowed Stresses in Partial Loaded Zones

Die Gefahr von Abplatzungen und Rissen während des Transports, dem Einbau und dem Maschinenvorschub geht gegenüber herkömmlich bewehrten Tübbingungen erheblich zurück.

Die Tübbinge können mit ausschließlicher Stahlfaserbewehrung, aber auch mit Stahlfasern in Kombination mit Stabbewehrung, produziert werden. Die verwendeten Stahlfasern sind üblicherweise 40 bis 60 mm lang, haben einen Durchmesser von ca. 1 mm und sind an den Enden zur Verankerung aufgebogen. Der Mindestfasergehalt sollte ca. 25 kg/m³ betragen, für die meisten Projekte wird ein Fasergehalt von 30 bis 50 kg/m³ verwendet. Sämtliche Nachweise müssen geführt werden, wobei insbesondere der Spaltzugnachweis häufig Probleme bereitet.

Stahlfaserbewehrte Tübbinge sind üblicherweise nur bei Ringen wirtschaftlich, die keine allzu großen Biegemomente und Teilflächenpressungen erhalten. Muss Stabbewehrung zur Aufnahme der Zugspan-



Bewehrung
Reinforcement

nungen zugelegt werden, steigen die Produktionskosten sofort erheblich an. Die statischen Nachweise für faserbewehrte Ringe erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Aufsteller, Prüfenieur und Tunnelbausachverständigen. In Deutschland ist eine Zulassung im Einzelfall erforderlich.

7 Steel Fibre Segments

Concrete has a high compressive strength, but the tensile strength is low and must be disregarded in the verifications. By adding steel fibers, a new homogenous material with certain material properties is created. Fibers are not oriented within the concrete and take tensile strength in each

direction (Fig. 14). The concrete gets a high ductility. Spalling and cracking during transport, ring erection and advance is reduced distinctly compared with segments with normal reinforcement.

Segments can be produced with steel fibers only, or with a combination „fibers and conven-

www.pressluft-frantz.de

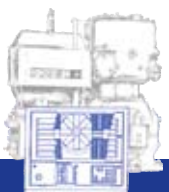
**PRESSLUFT
FRANTZ**
Baumaschinen- und
Ersatzteilhandels GmbH

Wir bieten Druckluftlösungen für den Tunnel- und Spezialtiefbau:

- Druckluftversorgung für maschinellen und konventionellen Vortrieb
- Druckluftversorgung für Arbeiten in Druckluft
- OEM-Kompressoren für andere Gerätehersteller

We offer compressed-air solutions for tunnelling and civil engineering:

- Compressed-air supply for mechanized and conventional tunnelling
- Compressed-air supply for working in compressed-air
- OEM compressors for other machine manufacturers



Qualität ist kein Zufall

Quality is no coincidence



Stahlfaserbewehrter Tübbing nach dem Bruch

Steel Fibre Concrete after Breaking

Für den Orlovski-Tunnel wurde der Einsatz von Stahlfasertübbing untersucht, für die hochbeanspruchten Tübinge wäre jedoch ein hoher Anteil an zusätzlicher Stabbewehrung erforderlich gewesen. Somit wurde der Einsatz von Stahlfasern nicht weiter verfolgt.


8 Zusammenfassung

Das Tübbingdesign für große Ringdurchmesser verlangt eine enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen al-

len Beteiligten. Die Baugrunderkennwerte, Einwirkungen und Ringabmessungen müssen gemeinsam mit den Bauingenieuren, den Baugrundfachleuten, dem Maschinenhersteller und den Logistikfachleuten festgelegt werden. Während der Planungsphase muss das Ringkonzept laufend auf neue Erkenntnisse angepasst werden.

Wie bereits Sir Allen Muir Wood in seinem Buch „Civil Engineering in Context“ geschrieben hat:

„Das wichtigste Designelement ist deshalb, dass der Entwurf in ständigen Schleifen erfolgt, wobei jede Schleife eine Kommunikation zwischen Menschen oder zwischen Menschen und Computern beinhaltet.“

Am Beispiel Orlovski-Tunnel in St. Petersburg ist zu erkennen, dass Tunneldurchmesser, die noch vor wenigen Jahren für einen Maschinenvortrieb als nicht machbar galten, umgesetzt werden können. Dabei müssen, abgesehen von den maschinentechnischen Herausforderungen, neue Einwirkungsdimensionen auf den Tübbingring beherrscht und die Machbarkeit nachgewiesen werden. 

„tional steel bar reinforcement“. Steel fibers for segmental rings are 40 to 60 mm long with a diameter of approx. 1 mm and are bended up at the ends for anchoring. A minimal fiber content of 25 kg/m³ is necessary to reach an effect, 30 to 50 kg/m³ are used for most of all projects. For verification, generally tests are done, however all other structural analysis verifications must be done, too.


Segments with steel fiber reinforcement only are suitable for rings with low bending moments and normal forces. High ram forces and partial loaded joints often demand additional bar reinforcement, which make the production more costly. To use steel fibres in addition or as only reinforcement, may be an option to reduce spalling and broken edges of the segments. Structural analysis for steel fibre reinforcement is not state of the art and needs a close cooperation with other consultants and independent checkers.

The use of steel fibre concrete for the Orlovski rings was examined but for the highly loaded big rings with high bending moments and normal forces, a high amount of bar reinforcement is necessary.

8 Resume

Segmental ring design for huge tunnels needs a tight cooperation between all involved experts. Soil parameters and loads must be determined in cooperation with the ground expert, the ring concept together with the TBM manufacturer and the logistic experts. And during the design phase, the concept must be adopted to new findings. As Sir Alan Muir Wood said in his book “Civil Engineering in Context”:

“The most essential element of design to be taught, therefore, is that it constitutes a system, conceptually represented as a series of iterative loops, the loops normally entailing communication between people or between people and computers.”

The Orlovski-Tunnel in St. Petersburg shows, that tunnel diameters, which were considered as „not possible for a TBM advance“ only a few years ago, now can be done. Therefore, aside of technical challenges for the machine construction, new dimensions of loads reacting on the segmental ring must be controlled and the feasibility must be verified. 

Literatur / References

- [1] Deutsche Bahn AG: Richtlinie Eisenbahntunnel planen, bauen und in Stand halten, Ril 853, gültig ab 01.03.2011
- [2] Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002
- [3] Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Deutsche Fassung EN 1992-1-2:1995
- [4] DIN EN 1991-1-2: Eurocode 1 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke. Deutsche Fassung von EN 1991-1-2:2002. Fassung September 2003
- [5] DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Oktober 2006
- [6] Leonhardt, Reimann; Betongelenke. Versuchsbericht, Vorschläge zur Bemessung und konstruktiven Ausbildung, DAfStb Heft 175. Berlin, 1965
- [7] Heft 240 des DAfStb „Hilfsmittel zur Berechnung von Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken“
- [8] Dahl, J., Nußbaum, G.: Neue Erkenntnisse zur Ermittlung der Grenztragfähigkeit von Tübbing im Bereich der Koppelfugen. Tunnelbau 1997, S. 291 bis 319
- [9] Tirpitz, E.-R.: Zur Biegesteifigkeit von Tunnelröhren aus Stahlbetontübbing am Beispiel der 4. Röhre des Elbtunnels, Hamburg, 1. Dresdner Baustatik-Seminar, Dresden, 1997
- [10] A.M. Muir-Wood: The circular tunnel in elastic ground; Géotechnique, Volume 25, Issue 1, 01.03.1975, pages 115-127, ISSN: 0016-8505
- [11] Leca, E.; New, B.: Settlements induced by tunneling in Soft Ground. Tunnel-ling and Underground Space Technology 22 (2007) 119–149
- [12] Maidl, B.; Herrenknecht, M.; Maidl, U.; Wehrmeyer, G.: Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb. 2. Auflage. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- [13] Peck, R. B.: Deep excavation and tunnelling in soft ground. State of the Art Report. Proceedings of the 7th ICSMFE, Mexico (1969) 255-284



„Moderne Infrastrukturprojekte wie Stuttgart 21
verwirklichen. Und **die eigenen Karrierepläne.**
Bei der DB ProjektBau.“

Die Deutsche Bahn ist ein führendes Mobilitäts- und Logistikunternehmen. Projektmanagement, Planung und Bauüberwachung von Infrastrukturprojekten in ganz Deutschland – dafür steht unsere Tochter DB ProjektBau GmbH. Mit einem Bauvolumen von bis zu drei Milliarden Euro im Jahr und rund 4.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist die DB ProjektBau der größte Projektmanagement-Dienstleister Europas.

Zur Realisierung des Großprojekts Stuttgart 21-Wendlingen-Ulm suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt am Standort Stuttgart mehrere kompetente und engagierte

Bau- und Elektroingenieure (w/m)

Im Projektmanagement sind Sie direkter Ansprechpartner für alle am Projekt beteiligten Personen, Behörden und Firmen. Sie stellen die qualitäts-, budget- und termingerechte Planung und Realisierung der übertragenen Projekte sicher und übernehmen Aufgaben im fachspezifischen und vertragsrechtlichen Bereich.

Einstiegsmöglichkeiten in Fach- und Führungspositionen bestehen u. a. in folgenden Bereichen:

- **Tunnel-/Ingenieurtiefbau**
(Ausschreibungsnummer: 127701)
- **Spezialtiefbau** (Ausschreibungsnummer: 107142)
- **Konstruktiver Ingenieurbau**
(Ausschreibungsnummer: 127702)
- **Eisenbahntechnik** (Ausschreibungsnummer: 127700)
- **Termin- und Kostenmanagement**
(Ausschreibungsnummer: 124340)
- **Vertrags- und Nachtragsmanagement**
(Ausschreibungsnummer: 126750)

Ihr Profil:

- abgeschlossenes Studium des Bau- oder des Wirtschaftsingenieurwesens mit Vertiefungsrichtung Bauwesen oder Elektrotechnik
- fachspezifische Praktika bzw. Berufserfahrung
- gute Kenntnisse in der Anwendung der VOB, VOL und HOAI
- Engagement, Kommunikations- und Teamfähigkeit

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann freuen wir uns über Ihre aussagekräftige Onlinebewerbung, bitte unter Angabe der Ausschreibungsnummer, Ihres möglichen Eintrittstermins und Ihrer Gehaltsvorstellung.

DB ProjektBau GmbH

E-Mail: Bewerbung-Stuttgart21@deutschebahn.com

Fragen zu diesen Stellen beantwortet Ihnen gerne Herr Steffen Brezger (Tel. 0711 93319-355).

Bewerben Sie sich online unter Angabe der Ausschreibungsnummer oder finden Sie weitere Stellenangebote unter www.deutschebahn.com/stellenboerse. Informationen zur DB als Arbeitgeber und zu den vielfältigen Einstiegsmöglichkeiten erhalten Sie unter www.deutschebahn.com/karriere.