

Einflüsse auf Tübbingschäden

Schäden an Tübbing sind oftmals mit zeitaufwendigen und dementsprechend auch kostenintensiven Reparaturarbeiten verbunden. Diese Reparaturen behindern den Arbeitsablauf und haben negative Auswirkungen auf das Projektergebnis. Die Auswirkungen können reduziert werden, wenn die einzelnen Einflüsse auf Tübbingschäden erkannt und somit auch vermieden werden.

1 Einleitung

Tübbinge stellen für das fertige Bauwerk im maschinellen Tunnelbau die tragende Konstruktion dar. Daraus resultieren hohe Anforderungen sowohl an die Fertigung als auch an den Transport und den Einbau der Tübbinge. Die Tübbinge müssen für die auftretenden geostatischen sowie auf die spezifischen Vortriebslasten bemessen werden. Durch lokale Überbeanspruchungen kommt es zu Schäden an Tübbing. Die Folge sind Risse, Abplatzungen und Undichtigkeiten, deren Sanierung nicht nur zeitaufwendig, sondern auch sehr kostenintensiv sein kann. Daher gilt es im gesamten Erstellungsprozess, von der Tübbingfertigung bis zum Einbau, die Schadensquote zu minimieren. Die auftretenden Schäden lassen sich hinsichtlich der Schadensursache in innere und äußere Einflüsse unterteilen.

2 Innere Einflüsse

2.1 Fertigungstoleranzen

In der Fertigung ist darauf zu achten, dass die Schalungen den hohen Anforderungen an die Formschlüssigkeit

Tim Babendererde, Babendererde Engineers GmbH, Bad Schwartau/D
Christian Hahn, Babendererde Engineers GmbH, Bad Schwartau/D
www.babeng.com

der Segmente gerecht werden. Entsprechen bereits die Schalungen nicht den in der Planung und Berechnung angesetzten Abmessungen der Tübbinge, sind alle in diesen Schalungen gefertigten Tübbinge nicht mit der Planung kompatibel. Die Formschlüssigkeit des gesamten Rings ist in diesem Fall nicht gegeben, so dass es zu Spannungsspitzen in lokalen Bereichen kommt, die in Abplatzungen und Rissen resultieren. Die ZTV-ING gibt hierfür Toleranzen an, die sowohl in der Berechnung angesetzt werden müssen, als auch bei der Fertigung einzuhalten sind. Durch eine regelmäßige Überprüfung der Tübbingschalung und auch der betonierten Tübbinge ist sicherzustellen, dass diese Toleranzen in der Fertigung eingehalten werden und die Formschlüssigkeit der Segmente erreicht wird.

2.2 Betonqualität

Neben der Formschlüssigkeit ist die einzusetzende Betonqualität während der Fertigung

Influences on Segment Damage

Damage to segments is frequently associated with time-consuming and in turn correspondingly cost-intensive repair work. Such repairs hamper work progress and exert negative effects on the outcome of the project. The effects can be reduced if the individual influences on segment damage are identified and in turn avoided.

1 Introduction

Segments represent the bearing structure for the finished product in mechanised tunnelling. This fact results in high demands both on manufacturing as well as on transporting and installing the segments. The segments must be dimensioned to cope with the geostatic as well as the specific driving loads that occur. Local overstressing results in damage to segments. This causes cracks, spalling and leakages, to repair which can be both time-consuming as well as cost-intensive. Thus it is essential during the entire development process, from manufacturing the segment to its installation, to minimise the damage quota. The occurring damage can be divided into internal and external influences as far as the cause of damage is concerned.

2 Internal Influences

2.1 Manufacturing Tolerances

Care should be taken during manufacturing to ensure that the formwork corresponds to the high demands placed on the precise form of the seg-

ments. Should the formwork not correspond to the segment dimensions applied during planning and computation then all the segments cast in this formwork are incompatible with planning. The precise form of the entire ring fails to exist in this case so that stress peaks arise locally, which result in spalling and cracks. The ZTV-ING provides tolerances for this, which must be applied during the calculation stage as well as adhered to during manufacturing. Thanks to a regular inspection of the segment formwork as well as the concreted segments it must be assured that these tolerances are adhered to during manufacturing and that the precise form of the segments is arrived at.

2.2 Concrete Quality

Apart from the precise form the concrete quality used during manufacturing is decisive. As precast concrete parts with special demands segments are subjected to stringent monitoring. It is easy to adhere to the basic conditions governing quality in stationary manufacturing plants although permanent supervision is essential (Fig.1).



Tübbingring bei einem Projekt in Brasilien
Segment ring at a project in Brazil

entscheidend. Tübbinge unterliegen als Betonfertigteile mit besonderen Anforderungen einer erhöhten Überwachung. Die Einhaltung der qualitätsrelevanten Randbedingungen ist in stationären Fabrikationen leicht einzuhalten, muss jedoch auch permanent überwacht werden (Bild 1).

2.3 Positionierung der Bewehrung

Die Betonbeschaffenheit ist nicht nur von der Betongüte, sondern auch im besonderen Maße von der Qualität und der richtigen Position der Bewehrungskörbe abhängig. Die Berechnung und die Herstellung der Bewehrungskörbe erfordert erhebliche Erfahrung und umfangreiches Detailwissen. Bei der Platzierung der Körbe in der Schalung ist eine erhöhte Sorgfalt zur Vermeidung von Lageungenauigkeiten erforderlich. Abstandhalter, die fest an den Körben befestigt werden, dienen als Hilfe bei der Positionierung des Korbes in der Schalung. Von der Verwendung von steckbaren Abstandhaltern ist bei der Tübbingproduktion abzuraten, da diese zum Umklappen neigen und somit die erforderliche

Lagegenauigkeit nicht gewährleisten können (Bild 2). Eine intensive Überwachung ist hier notwendig.

2.4 Verdichten des Betons

In Abhängigkeit von der Konsistenz und der Verarbeitbarkeit des Tübbingbetons ist die Verdichtungsenergie zu regeln. Die Verdichtung erfolgt überwiegend durch Außenrüttler. Insbesondere im Dichtungsreich ist auf eine vollständige Vertreibung von Luftporen zu achten, ansonsten kommt es schnell zu einer Unterwanderung des Dichtungsprofils (Bild 3).

3 Äußere Einflüsse

3.1 Versatz

Äußere Einflüsse hängen in erster Linie mit Mängeln beim Einbau zusammen. Werden die Tübbinge beim Ringbau nicht exakt an die vorherbestimmte Position gesetzt, kommt es zu Versätzen in den Tübbingfugen. Diese können sowohl in den Längsfugen, innerhalb eines Ringes, als auch in den Ringfugen, zwischen 2 Ringen, auftreten (Bild 4). Hier werden im Vorfeld zulässige Toleranzbereiche definiert.

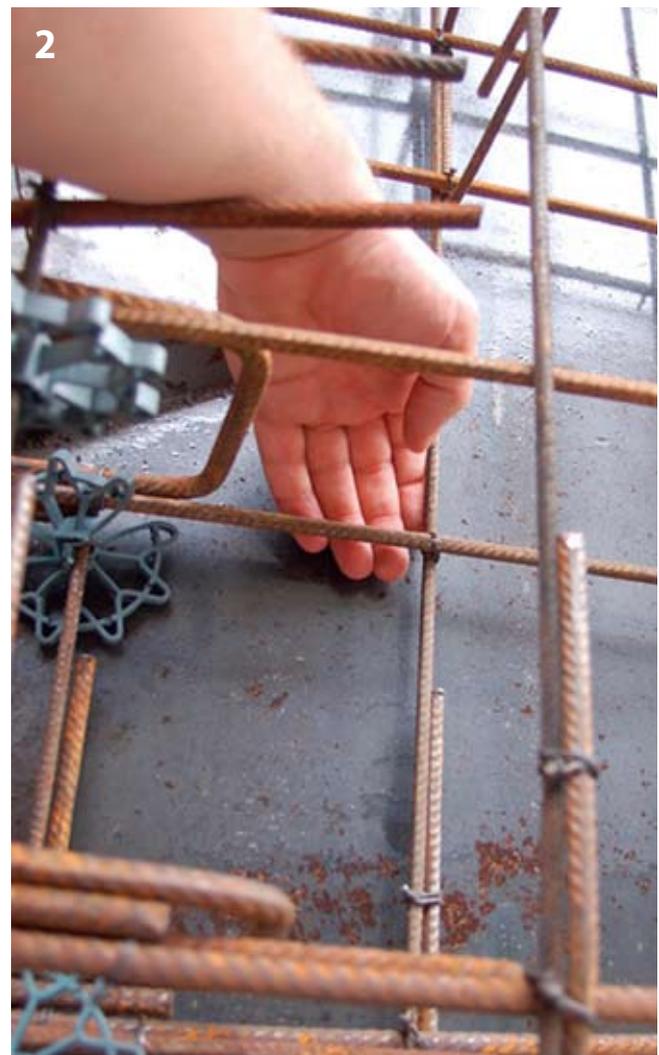
2.3 Positioning the Reinforcement

The nature of the concrete depends on the concrete quality and to a particular degree on the quality and the correct position of the reinforcement baskets. Considerable experience and extensive knowledge of detail are necessary for calculating and producing reinforcement baskets. When placing the baskets in the formwork the utmost care must be taken to avoid inaccuracies in positioning. Spacers, which are firmly attached to the baskets, serve as aids for positioning the basket in the formwork. It is advisable

not to use plug-in spacers for segment production as they tend to fold so that the required positional accuracy cannot be assured (Fig. 2). Intensive monitoring is called for here.

2.4 Compacting the Concrete

In keeping with the consistency and workability of the segment concrete the compaction energy has to be regulated. Compaction largely ensues via external vibrators. Care must be taken to ensure that air pores are completely eliminated particularly in the sealing area otherwise the sealing gasket can quickly become negatively affected (Fig. 3).



Abgeklappte Abstandhalter in einer Tübbingschalung
Folded spacer in a segment formwork



3
Luftporen im Dichtungsbereich
Air pores in sealing area

Kommt es während der Bau- phase zu Überschreitungen dieser Toleranzbereiche, ist in erster Linie die Dichtigkeit der Tunnel gefährdet, da die Dich- tungen der einzelnen Tübbing- ge nicht mehr ausreichend überlappen. Zudem kommt es zu einer Verringerung der Lastübertragungsflächen und



4
Versatz in der Ringfuge
Displacement in the ring joint

3 External Influences

3.1 Displacement

External influences primarily are linked to faults during installa- tion. If the segments are not

placed in the exactly predeter- mined position during installa- tion of the ring, the outcome is displacements in the segment joints. These can occur both in



Moderner Verkehrswegebau

Die wichtigen Verkehrsprojekte der Gegenwart und der Zukunft haben ihre Basis im Zement und dem daraus hergestellten Beton. Denn die kilometerlangen Tunnel für Bahn- und Autobahnstrecken erfordern moderne Baustoffe mit speziellen Eigenschaften.

SCHWENK hat hierfür spezielle Spritzbetonzemente entwickelt: umwelt- freundlich und mit hoher Frühfestigkeitsentwicklung nach den strengen Vorgaben der Österreichischen Spritzbetonrichtlinie. Sie ermöglichen einen schnellen Vortrieb und bei entsprechender Verarbeitung die Erfüllung des Wirtschaftskreislaufgesetzes.



SCHWENK

Baustoffe fürs Leben

SCHWENK Zement KG

Hindenburgring 15 · 89077 Ulm

Telefon: (07 31) 93 41-4 09

Telefax: (07 31) 93 41-3 98

Internet: www.schwenk-zement.de

E-Mail: schwenk-zement.bauberatung@schwenk.de



Abplatzung an der Erektorführung

Spalling at the erector guide

somit auch zu einem Anstieg der Spannungen im Tübbing. Die Ursache für solche Versätze beruht überwiegend auf fehlender Erfahrung oder fehlendes Training des Personals. Durch eine konsequente Einweisung der Mitarbeiter lassen sich diese recht leicht abstellen und es ist eine schnelle Lernkurve zu erwarten.

3.2 Betonabplatzungen an Erektorführungen

Ein weiteres typisches Mangelbild sind Betonabplatzungen an den Erektorführungen. Ein allgemein gebräuchlicher Tübbing besitzt neben den Einbauten für Dübel und/oder Schrauben eine kegelstumpfförmige Vertiefung mittig auf der Tübbinginnenseite. Die Erektorplatte ist mit einer Zentriernase ausgestattet, die in diese Vertiefung auf der Innenseite hinein passt. So kann sichergestellt werden, dass die Erektorplatte an der richtigen Position ist, wenn sie den Tübbing mittels eines Vakuums ansaugt und hochhebt. Beim Lösen des Vakuums der Erektorplatte kann es bei einer Schubbeanspruchung der Dichtung zu einem Kontakt der

Erektorführung (Erektor-nase) mit dem Tübbing kommen. Oftmals bricht an dieser Stelle der Randbeton ab (Bild 5). Bei zunehmender Erfahrung des Erektorfahrers wird dieser die Pressen zum seitlichen Verschieben des Tübbings benutzen und die Erektorplatte zentrisch über den Aussparungen halten. Dadurch wird ein schädlicher Kontakt zwischen Erektorplatte und Tübbing vermieden.

3.3 Kompression der Dichtung

Nachdem der Tübbing an die richtige Position gesetzt wurde, werden die für den Ringbau abgezogenen Vortriebspressen wieder an den Tübbing angesetzt. Zur Erreichung der Dichtigkeit müssen die Tübbingdichtungen zusammengedrückt werden. Der Erektor kann die notwendige Kraft nicht alleine aufbringen. Zusätzlich ist eine Komprimierung durch die Vortriebspressen erforderlich. Sind die Dichtungsprofile ausreichend komprimiert, wird der Tübbing mit seinen umgebenden Steinen verschraubt. Die eingesetzten Schrauben sollen die Vorspannung bis zu einer ausreichenden Einbettung auf-

die longitudinalen Fugen innerhalb eines Ringes sowie in den Ringfugen zwischen zwei Ringen (Fig. 4). Zulässige Toleranzbereiche sind im Voraus zu definieren. Wenn diese Toleranzbereiche während der Bauphase überschritten werden, wird die Dichtigkeit des Tunnels hauptsächlich durch die Abdichtungen der einzelnen Segmente nicht mehr ausreichend gewährleistet. Außerdem führen die Lastübertragungsstellen abnehmend zu einer Erhöhung der Spannungen innerhalb des Segments. Der Grund für solche Verschiebungen liegt vor allem in mangelnder Erfahrung oder Ausbildung der Mitarbeiter. Wenn die Mitarbeiter nicht richtig angeleitet werden, ist dies leicht zu beheben und eine schnelle Lernkurve ist zu erwarten.

3.2 Concrete Spalling at Erector Guides

Ein weiteres typisches Mangelbild ist das Abplatzen des Betons an den Erektorführungen. Ein standardmäßiges Segment besitzt in der Mitte der Innenseite eine kegelförmige Vertiefung sowie Vorrichtungen für Dübel und/oder Bolzen. Die Erektorplatte ist mit einer Zentrierkegel ausgestattet, die in diese Vertiefung auf der Innenseite hinein passt. So kann sichergestellt werden, dass die Erektorplatte an der richtigen Position ist, wenn sie den Tübbing mittels eines Vakuums ansaugt und hochhebt. Beim Lösen des Vakuums der Erektorplatte kann es bei einer Schubbeanspruchung der Dichtung zu einem Kontakt der

3.3 Compressing the Seal

Once the segment is set in the correct position, the driving jacks are retracted for constructing the ring and the jacks are applied to the segment again. The segment gaskets must be pressed together to attain tightness. The erector is not capable of providing the required force on its own. The driving jacks must also apply pressure. Once the sealing gaskets have been sufficiently compressed the segment is bolted together with its surrounding stones. The bolts that are applied should maintain the primary tension until it is adequately embedded. Generally roughly 15 further rings have to be installed before the bolts can be removed. The necessary compressive force is generated by the so-called ring construction pressure of the driving jacks. Should this be inadequate, e.g. because the TBM lurches forward while installing the rings, the bolts must essentially be tightened during the next driving sequence. If the sealing gaskets are not sufficiently compressed, leaks can occur, which have to be subsequently repaired – not an easy task.

3.4 Ring Orientation

For the choice of the ring to be installed it is necessary to pursue the principle that ring construction must always follow up the passage of the TBM. Should for example the TBM drive towards the right, no rings possessing orientation towards the left can be installed. If this principle is not observed, contact between the installed ring and the machine's shield tail ensues. Should this occur the outside of the segment is destroyed and usually its front side as well (Fig. 6). As the sealing zone is located on the outside, a complicated repair is involved.



Abplatzung bei Kontakt Tübbing - Schildschwanz

Spalling given contact between segment and shield tail

rechterhalten. In der Regel sind hierfür ca. 15 weitere Ringe einzubauen, bevor die Schrauben ausgebaut werden können. Die für die Kompression notwendige Kraft wird aus dem sogenannten Ringbaudruck der Vortriebspresen generiert. Sollte dieser zu gering sein, z.B. weil die TBM beim Ringbau nach vorne rutscht, sind die Schrauben während des nächsten Vortriebs unbedingt nachzuziehen. Werden die Dichtungsprofile nicht ausreichend komprimiert, ist mit Undichtigkeiten zu rechnen, die im Nachgang aufwendig saniert werden müssen.

3.4 Ringorientierung

Für die Wahl des einzubauenden Ringes ist es erforderlich, den Grundsatz zu befolgen, dass der Ringbau stets der Fahrt der TBM zu folgen hat. Wenn beispielsweise die TBM nach rechts fährt, können keine Ringe mit einer Linksorientierung eingebaut werden. Wird dieser Grundsatz nicht befolgt, kommt es zu einem Kontakt zwischen gebautem Ring und dem Schildschwanz der Maschine. Hierbei wird der Tübbing an seiner Außenseite und meist auch an seiner Vorderseite zerstört (Bild

6). Da sich an der Außenseite die Dichtungsebene befindet, ist eine aufwendige Reparatur erforderlich. Zum Erkennen dieser Schadstellen ist eine Kontrolle der Tübbingvorderseite vor dem Ringbau des neuen Ringes erforderlich.

3.5 Ablösen von Dichtungsprofilen

Weiterhin kann in einigen Fällen beim Einschieben des Schlusssteines das seitliche Herausschieben der Dichtung beobachtet werden. Für die Schadensart kommen 2 ty-

Losgelöste Dichtung am Schlussstein

Loosened seal at the keystone



The front side of the segment must be checked prior to installing the new ring to identify such points of damage.

3.5 Detachment of Sealing Gaskets

Furthermore it can be observed that the gasket slips out at the side in certain cases when the keystone is put in position. Two typical causes come in question for the type of damage. First of all the ring can be installed in such a constricted manner that the keystone does not fit into the available gap. Owing to the fact that the keystone must be pressed intensively into the gap, shear stresses result between the sealing gaskets and the segments, which can no longer be sustained by the adhesive with which the gaskets are attached to the segments (Fig. 7). Special attention must be paid to the shield tail air in this respect. Secondly excessively high frictional forces, which can also occur between the gaskets even if the ring construction procedure is undertaken perfectly, can be the cause. A solution is to smear the gasket with lubricating soap.

3.6 Load Distribution Plates

Currently the need for load distribution plates consisting of PE, bitumen or hard fibre is subject to controversy. Installing such load distribution plates (Fig. 8) basically fulfils 2 tasks. First of all it is aimed at avoiding a concentration of the driving loads at the centre of the segment and ensuring that the entire thickness of the segment is utilised for uniformly sustaining the load. Secondly minor segment cants are compensated for in this way, without creating direct stress peaks. Regardless of the still ongoing discussion it can be maintained on the basis of the findings obtained from many projects that the damage quota could be substantially reduced in the case of the subsequent introduction of load distribution plates.

3.7 Packing

Manually placing wood fibre plates e.g. in the annular gaps to compensate for an uneven ring level is described as packing. Compensating for cants would require an exact allowance and then adapted distribution of the



8
Lastverteilungsplatten
Load distribution plates

pische Ursachen in Frage. Zum Einen kann ein zu enges Bauen des Ringes ursächlich sein, so dass der Schlussstein nicht in die zur Verfügung stehende Lücke passt. Durch das dadurch entstehende intensive Hineinpressen des Schlusssteins kommt es zu Schubspannungen zwischen den Dichtungsprofilen und den Tübbing, die nicht mehr von dem Klebstoff, mit dem die Profile an den Tübbing befestigt sind, aufgenommen werden kann (Bild 7). Hier sollte ein besonderes Augenmerk auf die Schildschwanzluft gelegt werden. Zum Anderen können zu hohe Reibungskräfte, die auch bei einem mängelfreien Ringbau zwischen den Dichtungen auftreten können, die Ursache sein. Abhilfe kann das Einfetten der Dichtung mit Schmierseife schaffen.

3.6 Lastverteilungsplatten

Derzeit wird die Notwendigkeit von Lastverteilungsplatten aus PE, Bitumen oder Hartfaser kontrovers diskutiert. Der Einbau dieser Lastverteilungsplatten (Bild 8) hat im Wesentlichen 2 Aufgaben. Zum Einen soll eine Konzentration der Vortriebslasten im Tübbingzentrum

vermieden werden und die gesamte Tübbingdicke zum gleichmäßigen Lastabtrag herangezogen werden. Zum Anderen soll so ein Ausgleich von kleineren Segmentverkantungen geschaffen werden, ohne dass unmittelbar Spannungsspitzen entstehen. Unabhängig von der weiterhin andauernde Diskussion lässt sich aus den bei vielen Projekten erzielten Erfahrungen sagen, dass bei den Projekten, die eine nachträgliche Einführung der Lastverteilungsplatten durchgeführt haben, die Schadensquote stark reduziert werden konnte.

3.7 Packing

Das manuelle Einlegen von Holzfaserplatten o.ä. in die Ringfugen zum Ausgleich eines unebenen Ringspiegels wird als Packing bezeichnet. Ein Ausgleich der Verkantungen würde ein genaues Aufmaß und dann eine abgestimmte Verteilung der Einlagen erfordern. Bisher ist kein Tunnelvortrieb bekannt, bei dem dieses Packing mit so ausreichender Sorgfalt durchgeführt wurde, dass nachhaltig eine Verbesserung der Situation erreicht wurde. Im Gegenteil



9
Abplatzungen durch Packing
Spalling due to packing

inserts. So far there is no tunnel drive known to man in the case of which the packing was executed with such a degree of care that a lasting improvement was attained. On the contrary there are many examples, where considerable damage first ensued following the independent, unscheduled decision to insert wood fibre plates (Fig. 8). Packing is thus contra-productive in practice. Generally the ring construction crew should not be allowed to select material and thickness independently in the first place.

3.8 Grouting Medium

Apart from the loads generally exerted on segments by the driving jacks, which can lead to damage, it is also essential to take radial loads resulting from grouting and the rock into account. The grouting mortar must facilitate the ring to be embedded uniformly and is partially applied statically for this purpose. Towards this end it is essential that the grouting mortar is evenly distributed around the ring (Fig. 10). In the case of water impermeable soil the removal of water ultimately leads to uneven bedding and possibly to dama-

ge. Two-component mortars are advisable for this kind of soil in general.

3.9 Rock Deformation

To round off the picture damage resulting from rock deformations is touched upon. In soft grounds rock deformations very seldom lead to the segments being overloaded as the load distribution is substantially simplified. Through the vault effect in such soils generally speaking a uniform load for the segmental shell ensues.

For hard rock drives on the other hand depending on the nature of the rock (e.g. fissuring) highly varying and quickly changing load states can act on the tunnel support. As a result this type of load must be lent far greater consideration during planning and execution in hard rock.

4 Summary

Damage occurring to segments can effectively be split up into external and internal influences. By means of regular monitoring and testing of production, damage resulting from internal influences can be avoided during the manufacturing process. External damage effects largely occur during transport and when the seg-

gibt es viele Beispiele, bei denen durch die selbstständige, ungeplante Entscheidung zum Einlegen der Holzfaserplatten erhebliche Schäden überhaupt erst entstanden sind (Bild 9). Packing ist daher in der Praxis kontraproduktiv. Das von der Ringbaumannschaft selbstständige Auswählen von Material und Dicke sollte generell untersagt werden.

3.8 Verpressmedium

Neben den im Wesentlichen durch die Vortriebspresen hervorgerufenen Tübbingbelastungen, die zu Schäden führen können, ist auch eine Betrachtung von radialen Lasten durch die Verpressung und durch das Gebirge erforderlich. Der Verpressmörtel soll eine gleichmäßige Bettung des Ringes ermöglichen und wird teilweise auch statisch dafür angesetzt. Hierfür ist es erforderlich, dass der Verpressmörtel gleichmäßig um den Ring verteilt wird (Bild 10). Bei einem wasserundurchlässigen Boden führt das Absetzen des Wassers auf Dauer zu ungleichmäßiger Bettung und damit eventuell zu Schäden. Bei dieser Art von Böden sind im Allgemeinen Zweikomponenten-Mörtel zu bevorzugen.

3.9 Gebirgsverformung

Der Vollständigkeit halber sei auch die Schadensursache durch Gebirgsverformungen angesprochen. Gebirgsverformungen führen in Lockerböden sehr selten zu einer Überbelastung der Tübbinge, da die Lastverteilung wesentlich vereinfacht ist. Durch die Gewölbewirkung in diesen Böden entsteht in der Regel eine gleichmäßige Belastung für die Tübbingschale.



Verpresster Ringspalt
Grouted annular gap

Bei Hartgesteinsvortrieben können hingegen je nach Beschaffenheit des Gebirges (z.B. Klüftigkeit) stark variierende und schnell wechselnde Belastungszustände auf den Tunnelausbau wirken. Aus diesem Grund muss bei der Planung und der Ausführung im Hartgestein diese Art der Belastung wesentlich stärker beachtet werden.

4 Zusammenfassung

Auftretende Schäden an Tübbingen lassen sich gut in äußere und innere Einflüsse unterteilen. Durch eine regelmäßige Überwachung und Überprüfung der Produktion lassen sich bereits während der Herstellung Schäden, die aus inneren Einflüssen resultieren, vermeiden. Äußere Schadenseinflüsse entstehen überwiegend beim Transport und beim Einbau der Segmente. Diese Einflüsse können zumeist durch sorgfältigen Umgang und Einbau minimiert werden. Für den Ringbau sollte der Mannschaft ausreichend Zeit, besonders am Projektbeginn, eingeräumt werden, um so eine schnelle und möglichst schadensfreie Lernkurve zu ermöglichen.

ments are being installed. Such influences can usually be minimised through adopting care during handling and installation. For ring construction the crew should

be provided with sufficient time, especially at the beginning of the project, to facilitate a rapid learning curve as devoid from faults as possible.



Tunnel Tore 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