

Geotechnical and construction operational criteria for the selection of full or partial-face excavation

Kriterien zur Wahl von Voll- oder Teilausbruch aus geotechnischer und baubetrieblicher Sicht

This paper deals with the boundary conditions regarding layout, geotechnics and economics required to make a full-face excavation of a tunnel. A flowchart for decision-making leads to four different excavation sequences. Unsuitable geometrical conditions and very unfavourable geotechnical conditions exclude full-face excavation. Under other boundary conditions, a full-face excavation may show economic advantages, which should be further exploited in our region.

1 Introduction

In this paper, full-face excavation denotes a sequence of works where either top-heading and bench is excavated in one step, or in several steps within one tunnel diameter. In this spirit a staged excavation of top heading, bench and invert is considered as full-face excavation. The excavation of top-heading and bench in rocks where the excavation of the invert is delayed, also counts as full-face excavation.

The topic of this paper deals with a very wide field, subject to many arguments from different background and experience. For this reason, the following limitations are set: the paper deals with elongated tunnels, such as road or railway tunnels between 80 and 150 m² cross section. These tunnels allow different excavation approaches. Thus, deep caverns or wide subway station sections are excluded from these considerations. Further, the situation is assessed from the viewpoint of the Austrian tunnelling tradition and current state of the art for handling geotechnical and logistical challenges. Finally, typical construction equipment, such as heavy tunnel excavators, two- or three-arm drilling jumbos and usual mucking equipment are assumed.

The selection of the adequate excavation sequence is mainly determined by three factors:

- Layout of the tunnel,
- Geotechnical conditions,
- Economic advantages.

The boundaries between solutions are usually vague and frequently a situation can be approached in different ways.

2 Key elements of decision making

Fig. 1 shows a decision tree with the three main decision categories a) layout, b) geotechnics and c) economy which

Dieser Artikel beurteilt die grundsätzlichen Randbedingungen für einen Vollaushub hinsichtlich Layout, Geotechnik und Wirtschaftlichkeit. Ein Flussdiagramm der Entscheidungsfindung führt zu vier unterschiedlichen Vortriebsabläufen. Ungünstige geometrische Randbedingungen und sehr ungünstige geotechnische Verhältnisse führen zum Ausschluss eines Vollaushubs. Unter den anderen Randbedingungen jedoch kann der Vollaushub wirtschaftliche Vorteile bringen, die in unseren Breiten mehr als bisher genutzt werden sollten.

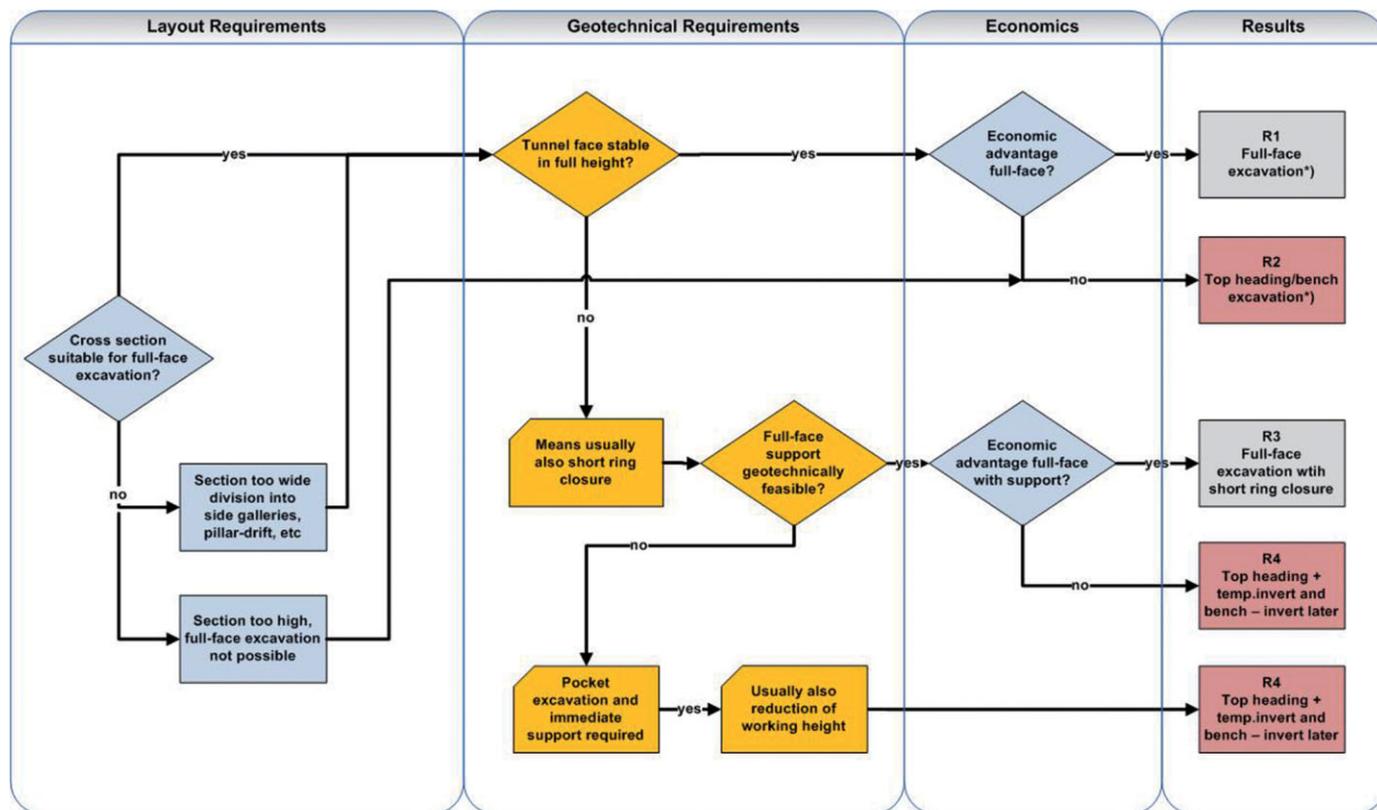
1 Einleitung

Unter Vollaushub wird eine Ausbruchabfolge verstanden, in der entweder Kalotte und Strosse in einem Arbeitsgang ausgebrochen wird oder in mehreren Arbeitsgängen, die jedoch jedenfalls innerhalb etwa eines Tunneldurchmessers zum Abschluss kommen. In diesem Sinn gehört der sogenannte abgestufte Vollaushub, wie er bei seichten Tunneln häufig vorkommt, zum Vollaushub. Wird in einem Festgestein die Kalotte und Strosse in einem Arbeitsgang ausgebrochen und ein Sohlgewölbe später hergestellt, handelt es sich ebenfalls um einen Vollaushub.

Das Thema dieses Beitrages umfasst ein sehr weites Feld, das aus unterschiedlichem Erfahrungshintergrund viele unterschiedliche Aspekte aufwerfen kann. Aus diesem Grund seien anfangs folgende Einschränkungen der vorliegenden Ausführungen angeführt: Der Beitrag behandelt langgestreckte Tunneln mit für Straßen- und Eisenbahntunnel typischen Querschnittsgrößen zwischen 80 und 150 m², die durch ihre Längserstreckung die Option unterschiedlicher Auffahrmethoden ermöglichen. Damit werden Kavernen und bisweilen sehr breite Stationsbauwerke wie U-Bahnstationen in den weiteren Überlegungen ausgeschlossen. Weiterhin wird die Materie aus österreichischer Tunnelbautradition mit den dabei üblichen Vorgehensweisen zur Bewältigung von geotechnischen und baubetrieblichen Herausforderungen betrachtet. Schließlich werden die üblichen Baugeräten wie schwere Tunnelbagger, zwei- oder dreiarmlige Bohrgeräte und handelsübliche Schuttergeräte vorausgesetzt.

Die Wahl der Vortriebsabfolge wird hauptsächlich durch drei Hauptkriterien bestimmt:

- Das Layout der Anlage,
- Geotechnische Erfordernisse,
- Wirtschaftliche Vorteile.



*) at undrained tunnels with deep invert: excavation of invert follows later

Fig. 1. Criteria for the choice of the excavation procedure
Bild 1. Kriterien zur Wahl des Vortriebsschemas

result in four different excavation sequences. The layout category determines whether the cross section is suitable for full-face excavation. Sections which are too wide or too high to be driven in one step are excluded from further considerations. The main geotechnical criteria are stability of tunnel face, need for quick ring closure, need for pocket excavation and the amount of support measures or ground improvement measures to achieve stability. Undrained tunnels always need a deep invert, thus leading to an additional excavation step.

For the economic comparison it is important whether a short ring closure is required or not. In a hard-rock environment the comparison is only a matter of logistics and price. In soft soils top heading with temporary invert with full-face excavation and short ring closure has to be compared.

The analysis ends with four fundamental different excavation sequences:

- Full-face, in case of an undrained tunnel with the invert following in a later stage,
- Top heading/bench, in case of an undrained tunnel with the invert following in a later stage,
- Full-face excavation with an invert following in short distance,
- Top heading with temporary invert and bench plus ring closure following in a later stage.

3 Size and shape of cross section

One can only speak about a full-face excavation if the full section of the tunnel can be treated by suitable construc-

Die Grenzen zwischen verschiedenen Lösungswegen sind in der Regel unscharf, und häufig kann eine Situation auf unterschiedliche Weise gelöst werden.

2 Überblick der Entscheidungsfindung

Bild 1 zeigt die drei Hauptkriterien Layout, Geotechnik und Wirtschaftlichkeit, die in vier unterschiedlichen Vortriebsschemen resultieren. Beim Thema Layout wird festgestellt, ob sich ein Tunnelobjekt überhaupt für einen Vollaussbruch eignet. Dabei werden Querschnitte, die entweder zu breit oder zu hoch sind, um in einem Arbeitsgang bearbeitet werden zu können, ausgeschieden.

Bei den geotechnischen Aspekten sind die Standsicherheit der Ortsbrust, die Notwendigkeit eines raschen Ringschlusses von Teilflächenausbrüchen bzw. das Ausmaß der Sicherungsmittel oder Bauhilfsmaßnahmen zur Erzielung einer Standsicherheit entscheidend. Schließlich ist wichtig, ob es sich um einen dränierten Tunnel handelt oder einen druckwasserhaltenden, der de facto immer ein Sohlgewölbe erfordert.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit ist entscheidend, ob ein rascher Sohlschluss erforderlich ist oder nicht. Ist dieser nicht erforderlich, geht es rein um Effizienzfragen des Baubetriebs, im anderen Fall wird in der Regel ein Vortrieb mit temporärer Kalottensohle mit einem Vollaussbruch und raschem Ringschluss zu vergleichen sein.

Die Analyse endet mit vier grundsätzlich unterschiedlichen Vortriebsabläufen:

- Vollaussbruch, im Falle eines undrännierten Tunnels später nachfolgender Aushub der Sohle,

tion equipment (excavator or drilling jumbo) from the working level. A drilling jumbo will usually work from one position; a tunnel excavator will be able to move laterally easily.

Following this general point of view, very wide or very high tunnel sections are excluded from the discussion about full-face tunnelling. Very wide tunnel sections are frequently sub-divided into several smaller sections, such as side-galleries, pillar-tunnels or similar. In this case the question of full-face tunnelling can be raised for the divided section. Very high sections, such as caverns cannot be handled by full-face excavation due to the limited range of equipment.

Usual tunnel excavators are limited in their working height to about 8 m, whereupon the power is rapidly reduced above 7 m height. The excavation of higher sections with excavator therefore requires a sub-division in height and excavation of the invert in a second step. The working level must therefore be filled up again.

Drilling jumbos with three booms have a very large range, e.g. more than 15 m wide and 10 m high. The full-face excavation of a tunnel by drill and blast method can thus be realized for larger tunnels, such as twin-track railway tunnels.

4 Stability and support of the face, pocket excavation

In this discussion, the stability of the face is a critical parameter. If the stability is not given by the inherent strength of the rock mass the smaller height of a top heading excavation is certainly beneficial. The potential failure body is smaller, the confinement better and the length of support measures reduced. The bench is largely free from overburden stress and thus usually requires much less support. Given the same rock conditions, the total face support required at a top-heading bench excavation is considerably less compared to full-face excavation.

A calculation of the face stability and required support measures with the usual sliding-wedge and silo theories [1] at soils with low cohesion ($c = 5$ to 20 kN/m^2 , overburden height 20 m), top heading height 5 m and total height of tunnel 9 m shows the following: At 5 m excavation height the number of face bolts (250 kN) is between 10 and 12, at 9 m height between 20 and 26. Thus, the difference is between 10 and 14 face bolts. As is well-known the stability of the face is largely independent of overburden [2]. Cohesive soils above 50 kN/m^2 can be expected to be stable without support.

A tunnel face can be adequately supported if a reasonable amount of cohesion is available. In this case the economic benefits of full-face excavation and the cost of more face support can be put on the scales. Soils with very low cohesion, sometimes influenced by water, are usually excavated in so-called pocket excavations. Depending on the stand-up time of these soils, up to 10 or more excavation and support steps are made within the top heading section. As well-known, the size of possible excavation section is directly related to cohesion of the soil [2]. This way of tunnelling requires considerable manual work. It is important to reach the area of excavations easily and to control the process tightly. Excavation and support must go hand-in-hand in this case. This method of working should

- Kalotte-Strosse, im Falle eines undrännierten Tunnels später nachfolgender Aushub der Sohle,
- Vollaushub mit rascher Sohle (Ringschluss durch Ausbau)
- Kalotte mit temporärer Sohle mit späterem Strosse-Sohle Ausbruch und Ringschluss.

3 Querschnittsgröße und -form

Ein Vollaushub im Sinne dieser Ausführungen steht nur dann zur Debatte, wenn der volle Querschnitt mit dem entsprechenden Lösegerät (Tunnelbagger oder Bohrwagen) von einer Arbeitssohle aus bearbeitet werden kann. Ein Bohrwagen wird in der Regel aus einer Position arbeiten, Tunnelbagger werden seitlich in gewissem Ausmaß rangieren können.

Aus dieser generellen Einschränkung werden hier sehr breite oder sehr hohe Querschnitte aus der weiteren Betrachtung ausgeschieden. Bei sehr breiten Querschnitten wird häufig eine Unterteilung in mehrere Teilquerschnitte wie Ulmenstollen, Pfeilerstollen oder Ähnliches vorgenommen. In diesem Fall stellt sich die Frage Voll- oder Teilaushub anschließend für den Teilquerschnitt. Bei sehr hohen Hohlräumen, wie Kavernen, stellt sich das Thema Vollaushub wegen der beschränkten Reichweite der Baugeräte nicht.

Übliche Tunnelbagger sind in ihrer Arbeitshöhe auf etwa 8 m beschränkt, wobei ab 7 m Höhe die Reißkraft ra-



Tunnelling · Buildings & structures · Construction & project management · **Geology & geotechnical engineering** · Energy · Environment · Technical building equipment · Transport & mobility · Water

Vienna · Salzburg · Steyr · Waidhofen · Ljubljana · Bogotá · Athens · Sofia · Pristina · Tirana · Bucharest · Bratislava · Kiev · Zagreb · Belgrade

innovative | integrative | international

iC consulenten

Ziviltechniker GesmbH

Schönbrunner Strasse 297

1120 Vienna, Austria

T +43 1 521 69-0

Office Salzburg

Zollhausweg 1

5101 Bergheim, Austria

T +43 662 450 77 3

www.ic-group.org



only be considered in combination with a small height of excavation, i.e. top heading. Thus, a full-face excavation is excluded in this case.

5 Requirement for ring closure

A quick ring closure is usually required for geotechnical reasons. The motivation can be either minimizing surface settlement or stabilization of the tunnel section, or both.

A strong primary lining in combination with swift ring closure normally leads to almost complete stop of movements within the tunnel cross section and it is also a very efficient method to reduce settlement. The stabilization of the cross section by ring closure is efficient both in shallow and deep tunnels. In shallow tunnels the ring closure can also be achieved by a temporary top heading invert. In deep tunnels the installation of a well-rounded invert mostly reduces or stops creep movements, even when the top heading was built with a deformable primary lining.

In case of a top heading excavation the ring closure is normally accomplished a couple of metres behind the front of the face. In case of a temporary invert the terms used are 2/4 or 3/6 cycle, meaning the minimum and maximum number of excavation steps between excavation front and invert closure. A full-face excavation in one step including invert is an exception in our region. This approach is not only time-consuming; it is also problematic from safety point of view: the final trimming of the invert shape and sometimes the installation of a temporary drainage in the invert require the presence of labour directly under a high and vertical face. Therefore the invert excavation and installation is normally staggered to the excavation front.

6 Economic comparison at stable face conditions

This analysis refers to a single two-lane road tunnel with 92 m² cross section (Fig. 2). The excavation is either done full-face or with a top heading and delayed bench (stop and go). In this case also the bench is on the critical path. The same set of equipment is assumed for both methods. The full-face excavation gains considerable construction time, because changeover times for drilling and blasting, shotcreting and ventilation occur only once instead of twice. Also decisive is the rock mass type, or excavation category which is related to the feasible length of excavation (*l_e*). The analysis shows the following time savings for full-face excavation:

- Cat. 3 (*l_e* = 3.0m) approx. 25 to 30 %
- Cat. 4 (*l_e* = 2.2m) approx. 20 %
- Cat. 5 (*l_e* = 1.7m) approx. 15 %
- Cat. 6 (*l_e* = 1.3m) approx. 5 to 10 %

The relatively significant savings of construction time at category 3 is also caused by the fact, that the length of excavation in the bench (4 m) is only slightly higher than in top heading. In the other categories 4 to 6 the bench advance length is twice that of the top heading which compensates a part of the time savings due to reduced changeover times. The consumption of explosives and the time for drilling are factors of minor importance. The

pid abnimmt. Höhere Querschnitte im Baggervortrieb erfordern damit für einen Vollaussbruch unmittelbar mehrere weitere Arbeitsschritte durch nachfolgendes Lösen der Sohle und erneutes Auffüllen der Arbeitsfläche. Für einen Vollaussbruch im Baggervortrieb sind somit nur zweispurige Straßentunnel ohne Ringschluss und eingleisige Eisenbahntunnel geeignet.

Dreiarmige Bohrwagen haben eine sehr große Reichweite, z. B. mehr als 15 m Breite und 10 m Höhe. Beim reinen Sprengvortrieb sind so auch größere Querschnitte machbar, z. B. zweigleisige Eisenbahntunnel ohne Sohlgewölbe.

4 Standsicherheit und Sicherung der Ortsbrust, Teilflächenausbruch

Die Standsicherheit der Ortsbrust ist ein kritischer Parameter, wenn diese nicht von vornherein durch die Qualität des Gebirges gewährleistet ist. Ist eine Sicherung der Ortsbrust erforderlich, ist naturgemäß die geringere Höhe einer Kalotte im Vorteil gegenüber einem Vollaussbruch. Ein möglicher Versagenskörper ist in der Kalotte kleiner, die Einspannung ist besser, die Länge der Sicherungsmittel ist kürzer. Die Strosse ist vom Überlagerungsdruck befreit und erfordert in der Regel weniger Sicherung. Der gesamte Sicherungsaufwand für die Ortsbrust ist bei einem Kalotte-Strosse-Vortrieb deutlich geringer als bei einem Vollaussbruch.

Untersucht man die Standsicherheit der Ortsbrust mit den üblichen Gleitkeilmustern und Auflast nach Silotheorie [1] bei gering kohäsiven Böden (*c* = 5 bis 20 kN/m², Überlagerung 20 m) für eine Ortsbrust von einmal 5 m und dann 9 m Höhe, dann ergibt sich bei 5 m Höhe eine erforderliche Anzahl der Ortsbrustanker (250 kN) von 10 bis 12 Stück und bei 9 m Höhe eine solche von 20 bis 26 Stück. Der Unterschied bedingt durch die Höhe der Ortsbrust liegt also in der Größenordnung von 10 bis 14 Ortsbrustankern. Bekanntlich ist nach jüngerer Literatur die Standsicherheit der Ortsbrust weitgehend unabhängig von der Überlagerung [2]. Ab einer Kohäsion von etwa 50 kN/m² ist eine Ortsbrust im Allgemeinen standsicher.

Bei einigermaßen kohäsiven Böden ist die Sicherung einer Ortsbrust im Vollquerschnitt möglich. In diesem Fall ist der Mehraufwand für die Sicherung der Ortsbrust gegenüber baubetrieblichen Vorteilen eines Vollaussbruchs auf die Waage zu legen. Bei sehr gering kohäsiven Böden, manchmal unter Einfluss von Bergwasser, ist der Ausbruch in Teilflächen üblich, deren Anzahl und Größe von der Standzeit solcher Böden abhängt. Bis zu zehn Teilflächen pro Abschlag kommen häufig vor. Bekanntlich ist die Größe der möglichen Öffnung in direktem Zusammenhang mit der Kohäsion des Bodens [2]. Diese Art des Vortriebs ist unvermeidlich mit relativ viel Handwerk verbunden. Die gute Erreichbarkeit und Kontrollierbarkeit der jeweiligen Ausbruchflächen ist dabei wichtig. Ausbruch und Sicherung müssen dabei Hand in Hand gehen. Die Autoren sind deshalb der Auffassung, dass ein Vortrieb mit Teilflächen in der Regel nur mit einem Kalottenvortrieb kombiniert werden sollte und schließen einen Vollaussbruch in diesem Fall aus.

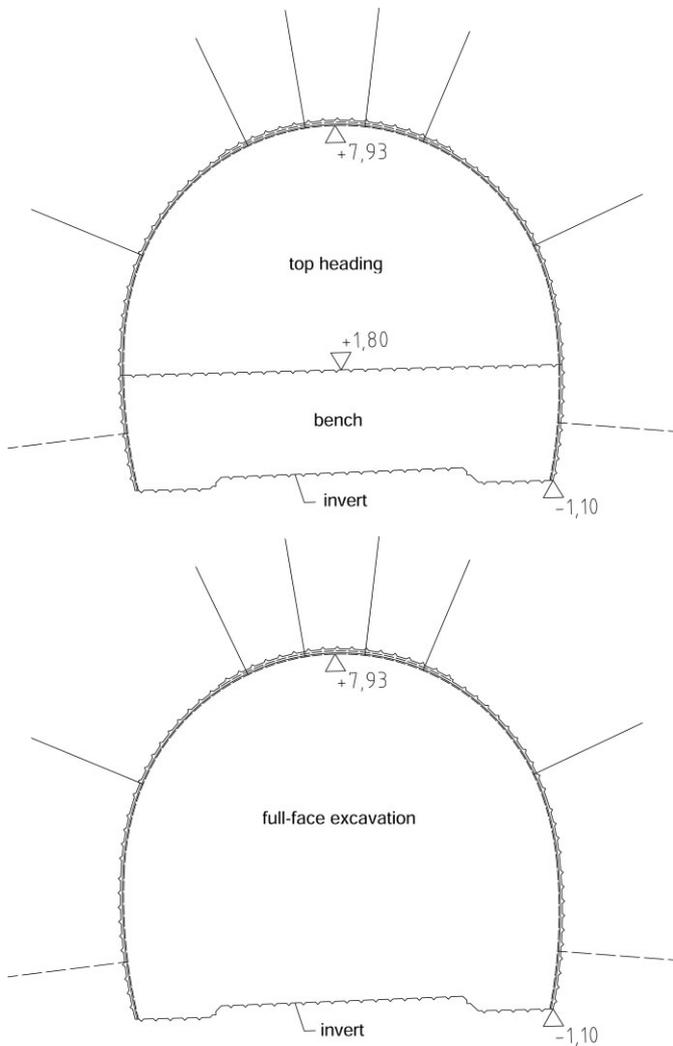


Fig. 2. Double-track road tunnel with staged top heading/bench excavation and full-face excavation
Bild 2. Zweispuriger Straßentunnel in Teilausbrüchen und im Vollaushub

labour cost for full-face excavation at good rock conditions with advance length of 3 m is approximately the same as for top-heading/bench excavation with the same advance length. With shorter advances the labor cost for full-face is higher than for topheading/bench. Full-face excavation in this case is therefore only favourable in good rock conditions. Fig. 3 shows a full-face excavation in good rock in a road tunnel currently under construction.

This result is not valid for two parallel tunnel drives, where the bench excavation could be removed from the critical path by using cross passages for mucking and supplies. Also, larger cross sections where the bench can be excavated in two parts – and traffic to the top heading maintained – would not show the time gain by full-face excavation.

7 Economic comparison at quick ring closure

This analysis refers to a single-track railway tunnel with approximately 85 m² cross section. A full-face excavation with quick ring closure is compared with a top-heading excavation plus temporary invert and later bench/invert excavation plus ring closure (Fig. 4). For both methods the

5 Ringschlusserfordernis

Ein rascher Ringschluss wird in der Regel aus geotechnischen Gesichtspunkten gefordert. Dabei werden zwei Aspekte unterschieden:

- Minderung von Oberflächensetzungen,
- Stabilisierung des Querschnitts.

Eine kräftige Außenschale in Kombination mit raschem Ringschluss führt fast immer zu einem fast völligen Stopp von Verschiebungen innerhalb des Querschnitts und ist erste Wahl zur Minderung von Oberflächensetzungen. Die Stabilisierung des Querschnitts durch raschen Ringschluss ist sowohl in seichtliegenden als auch im tiefliegenden Tunnel eine effektive Maßnahme. In seichter Lage kann diese Stabilisierung entweder durch eine temporäre Kalottensohle erfolgen, oder bei kleineren Querschnitten durch die endgültige Sohle. Der Einbau der gut ausgerundeten „tiefen“ Sohle im tiefliegenden Tunnel bewirkt meist eine weitgehende Reduktion von langanhaltenden Verschiebungen, auch wenn die Kalotte „nachgiebig“ mit Stauchelementen ausgebaut wurde.

Bei einem Kalottenvortrieb erfolgt der „sofortige“ Ringschluss in der Regel etwas versetzt zum Einbau der Außenschale. Bei einem temporären Kalottensohlgewölbe spricht man von 2/4 oder 3/6 Vortrieb, was jeweils die minimale und maximale Anzahl von Abschlügen bedeutet, die das Sohlgewölbe hinter der Kalotte nachfolgt.

Ein vollflächiger vertikaler Aushub über die gesamte Höhe inklusive des Sohlgewölbes ist ein seltener Ausnahmefall. Diese Vorgangsweise ist nicht nur zeitraubend, sondern auch aus dem Blickwinkel der Arbeitssicherheit problematisch: Das endgültige Beräumen der Sohle und eventuell Einbau einer temporären Entwässerungsleitung erfordert in der Regel die Anwesenheit von Mineuren direkt an der hohen und senkrechten Ortsbrust.

Häufiger ist, dass der Aushub des Sohlgewölbes und der Einbau einer Spritzbetonsohle um einige Meter versetzt stattfinden. Gemäß der eingangs genannten Definition handelt es sich aber auch hier um einen Vollaushub.

6 Wirtschaftlichkeitsvergleich bei stabiler Ortsbrust

Die hier untersuchte Situation bezieht sich auf eine einzelne Tunnelröhre, bei der entweder ein Vollaushub oder ein Kalottenvortrieb mit nachfolgendem Strossenvortrieb erfolgt (stop & go). In diesem Beispiel liegt also auch die Strosse am kritischen Weg. Die Betrachtung gilt für einen zweispurigen Straßentunnel mit einem rund 92 m² großen Ausbruchquerschnitt (Bild 2). Für die rechnerischen Untersuchungen wurde für beide Methoden – Kalotte/Strosse und Vollaushub – dieselbe Gerätewahl berücksichtigt. Der wesentliche Vorteil des Vollaushubs gegenüber dem Teilaushub liegt darin begründet, dass sich die Fixzeiten wie Rüstzeiten für Bohren und Sprengen, für die Spritzbetonsicherungsarbeiten sowie die Zeit zum Bewettern beim Vollaushub jeweils nur auf den Abschlag des Gesamtquerschnitts umlegen. Bei den Vortriebsarbeiten mit Teilaushub kommen die Fixzeiten jeweils für den Kalotten- als auch für den Strossenausbruch zum Tragen. Weiteres entscheidendes Kriterium für



Fig. 3. Twin-track road tunnel with full-face excavation
Bild 3. Zweispuriger Straßentunnel im Vollaussbruch

same equipment set-up is chosen. The cost components labour, material and miscellaneous show an advantage of about 8 % for the full-face excavation. In addition, the time saving of the full-face excavation is about 15 %. This shows that considerable additional face support could be invested to justify a full-face advance, in any case much more than the calculation above has provided. Fig. 5 shows a single-track railway tunnel with full-face advance in two stages, first 7.6 m top-heading followed by 4 m invert; ring closure within one tunnel diameter.

In case the excavation of the face needs to be made in pockets, full-face advance is inadequate for safety and practical reasons.

8 Conclusion

Full-face advance is useful, when:

- The cross section can be handled with usual equipment,
- The cross section has a compact shape, the equipment can work from one position,

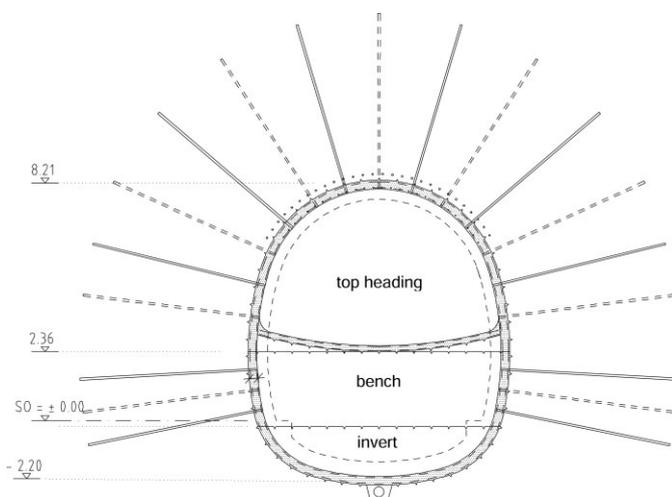


Fig. 4. Single-track railway tunnel with top-heading/bench/invert advance with temporary invert and staged full-face excavation

Bild 4. Eingleisiger Eisenbahntunnel in Teilausbrüchen Kalotte-Kalottensohle und Strosse/Sohle und im Vollaussbruch

die mögliche Zeiteinsparung ist die jeweilige Vortriebsklasse mit der zugehörigen maximalen Abschlagslänge. Die Untersuchungen ergeben folgende rechnerische Bauzeiteinsparungen für den Vollaussbruch:

- VKL 3 (3,0m) rund 25 bis 30 %,
- VKL 4 (2,2m) rund 20 %,
- VKL 5 (1,7m) rund 15 %,
- VKL 6 (1,3m) rund 5 bis 10 %

Das relativ hohe Bauzeiteinsparungspotenzial bei der VKL 3 ergibt sich daraus, dass die Strossenabschlagslänge beim Teilaussbruch baubetriebsbedingt mit rund 4 m Länge nur geringfügig höher gegenüber dem Vollaussbruch liegt. Bei den Vortriebsklassen 4 bis 6 kann durch die doppelte Abschlagslänge in der Strosse ein Teil des Zeitvorteils wieder gutgemacht werden. Das Bauzeiteinsparungspotenzial beim Vollaussbruch aus den Fixzeiten verringert sich daher sukzessive. Der etwas höhere Sprengstoffverbrauch sowie die geringfügig größere Anzahl an Bohrlöchern beim Vollaussbruch wirken sich monetär nicht entscheidend aus. Die Lohnkosten bei Vollaussbruch entsprechen bei günstigem Gebirge mit Abschlagslängen von 3 m etwa jenen des Teilaussbruchs und werden bei den Vortriebsklassen 4 bis 6 zunehmend nachteilig für den Vollaussbruch. Demnach ist ein Vollaussbruch primär bei günstigen Gebirgsverhältnissen interessant. Bild 3 zeigt einen Vollaussbruch in standsicherem Festgestein bei einem derzeit im Bau befindlichen Tunnel.

Dieses Ergebnis gilt nicht für zwei parallele Röhren, wo die Strosse zumindest bei besseren Gebirgsverhältnissen durch Nutzung der Querschläge vom kritischen Weg genommen werden kann und für einen größeren Querschnitt, bei dem die Strosse halbseitig vorgetrieben werden kann. In diesen Fällen ist der Bauzeitvorteil des Vollaussbruchs nicht gegeben.

7 Wirtschaftlichkeitsvergleich bei raschem Ringschluss

Unsere wirtschaftliche Vergleichsrechnung bezieht sich auf einen eingleisigen Eisenbahntunnel mit einem rund 85 m² großen maulförmigen Ausbruchquerschnitt. Einem

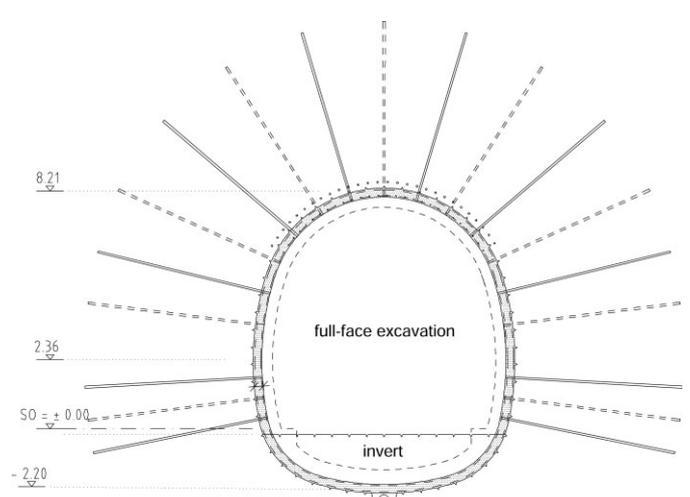




Fig. 5. Single-track railway tunnel with staged full-face excavation

Bild 5. Eingleisiger Eisenbahntunnel mit kurz abgestuftem Vollaussbruch

- Good rock conditions prevail that allow long rounds of advance,
- In case of short ring closure: the face is reasonably stable and or can be stabilized with reasonable amount of support and a temporary invert can be avoided.

The drilling technologies for control of the accurate tunnel profile, the possible large number of detonators and the use of steel fibre shotcrete are favourable for full-face excavation.

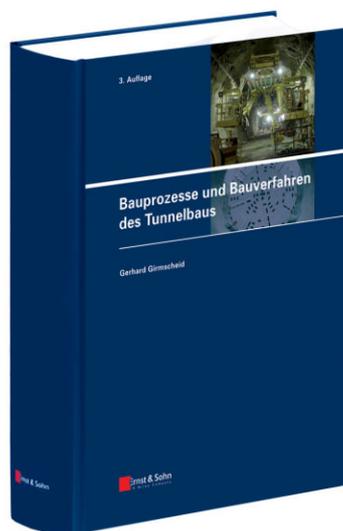
Vollaussbruch mit raschem Ringschluss wird ein Kalottenvortrieb mit temporärer Kalottensohle, Strossen-, Sohlvortrieb gegenübergestellt (Bild 4). Für die rechnerischen Untersuchungen wurden wiederum dieselben Geräte für beide Varianten gewählt. Bei dem Vergleich der Kostenteile Lohn, Material und Sonstiges bezogen auf einen Laufmeter Tunnel ergibt sich ein preislicher Vorteil von rund 8 % für die Variante Vollaussbruch. Der Prozentsatz ist dabei unabhängig von der Ausbruchmethode als Spreng- oder Baggervortrieb. Zudem errechnet sich beim Vollaussbruch eine Bauzeiteinsparung von rund 15 %. Es zeigt sich, dass man gegebenenfalls durchaus in eine massivere Ortsbrustsicherung investieren könnte, um einen Vollaussbruch weiterhin preislich zu rechtfertigen, jedenfalls wesentlich mehr, als der rechnerische Unterschied – wie oben ausgeführt – erfordern würde. Bild 5 zeigt den Ausbruch der Kalotte mit 7,6 m Höhe bei einem eingleisigen Eisenbahntunnel, die Sohle mit 4 m Höhe folgt innerhalb eines Tunneldurchmessers.

Sollte aus Standsicherheitsgründen ein Öffnen der Ortsbrust mit Teilflächen erforderlich werden, so ist, wie im Abschnitt 4 angeführt, aus sicherheits- und arbeitstechnischen Gründen eine Unterteilung des Querschnitts zu befürworten.

8 Schlussfolgerung

Ein Vollaussbruch ist sinnvoll, wenn:

- Die Querschnittsgröße mit üblichen Baugeräten bearbeitet werden kann,



Gerhard Girmscheid
Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus
 3. Auflage 2013
 694 S.
 € 149,-*
 ISBN: 978-3-433-03047-9
 Auch als eBook erhältlich

Online-Bestellung:
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
 A Wiley Brand

Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus

Die erfolgreiche Durchführung eines Tunnelprojekts ist von der Wahl des Bauverfahrens und der baubetrieblichen Abwicklung abhängig. In diesem Buch werden ausgehend von der geologischen Situation Bauverfahren und alle zu beachtenden baubetrieblichen Arbeitsschritte erläutert. In diesem Buch werden sämtliche Bauverfahren für die Planung und Durchführung moderner Tunnelbauwerke, ausgehend von der geologischen Situation, vorgestellt.

Ernst & Sohn
 Verlag für Architektur und technische
 Wissenschaften GmbH & Co. KG

Kundenservice: Wiley-VCH
 Boschstraße 12
 D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400
 Fax +49 (0)6201 606-184
 service@wiley-vch.de

Full-face excavation is not useful, when:

- Size or shape of the section are not suitable,
- Rock conditions are changing rapidly,
- The face is non-cohesive, therefore raveling or running, and pocket excavation is necessary,
- Safety of labour is jeopardized by potential rock falls from a high vertical face.

These considerations are not valid for more complex construction sequences with two parallel tubes or parallel works in top-heading and bench. In these cases individual analyses are required. Much of the advantage of full-face excavation is lost when the bench excavation is not on the critical path.



Dipl.-Ing. Dr. mont Peter Schubert
iC consulente Ziviltchniker GesmbH
Zollhausweg 1
5101 Bergheim
Austria



Dipl.-Ing Jürgen Voringner
G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.
Bergerbräuhofostraße 27
5020 Salzburg



Dipl.-Ing. (FH) Bernd Hofmann
G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H.
Bergerbräuhofostraße 27
5020 Salzburg

- Die Form gedungen ist, so dass von einer Position aus gearbeitet werden kann,
- Günstige und gleichmäßige Gebirgsverhältnisse vorliegen, die konstant große Abschlagslängen zulassen,
- Bei raschen Ringschluss die Ortsbrust kohäsiv und mit vernünftigen Aufwand stabil gehalten und damit eine temporäre Kalottensohle vermieden werden kann.

Förderlich für einen Vollaussbruch sind moderne Bohrtechnik zur guten Profilkontrolle, die heute verfügbare große Anzahl von Zündstufen und die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton.

Ein Vollaussbruch ist nicht sinnvoll, wenn:

- Die Größe und/oder Form des Querschnitts ungeeignet sind,
- Stark wechselhafte und ungünstige Gebirgsverhältnisse vorliegen, die kurze Abschlagslängen erfordern,
- Die Ortsbrust sehr wenig kohäsiv bzw. rollig ist, so dass Teilflächenaushub erforderlich sind,
- Von der Ortsbrust eine Gefährdung der Mineure durch herabfallende Gesteinsteile ausgeht und diese Gefährdung nicht sinnvoll beseitigt werden kann.

Diese Schlussfolgerungen sind nicht à priori gültig für komplexere Bauabläufe mit mehreren parallelen Röhren und Parallelbetrieb von Kalotte und Strosse in größeren Querschnitten. Diese Fälle erfordern getrennte Untersuchungen. Ein wesentlicher Teil der wirtschaftlichen Vorteile des Vollaussbruchs geht verloren, wenn die Strosse nicht am kritischen Weg liegt.

References

- [1] Katzenbach, R., Strüber, S.: Schwierige Tunnelvortriebe im Locker- und Festgestein – Anforderungen an Erkundung, Planung und Ausführung. *geotechnik* 26 (2003), Nr. 4.
- [2] Mayer, P.M., Hartwig, U., Schwab, C.: Standsicherheitsuntersuchungen der Ortsbrust mittels Bruchkörpermodell und FEM. *Bautechnik* 80 (2003), Heft 7.