

Erfahrungen bei Fräsvortrieben im Nürnberger U-Bahnbau

Von Ralf Plinninger, Kurosch Thuro und Thorsten Bruelheide

Um eine bessere Anbindung des Flughafens an das bereits bestehende U-Bahn-Netz der Stadt Nürnberg zu gewährleisten, wurde im Jahr 1995 mit den Baumaßnahmen für die Verlängerung der Linie U2 Nord begonnen (Tabelle). Kernstück der Maßnahme sind die insgesamt 3,3 km langen, untertägigen U-Bahntunnel mit 30 beziehungsweise 35 m² Querschnitt (1). Die Vortriebsarbeiten konnten auf allen Baulosen Mitte 1998 abgeschlossen werden.

Das Gebiet der Stadt Nürnberg ist Teil des süddeutschen Schichtstufenlands. Durch die flache Verkippung des mesozoischen Schichtenstapels nach Süden hin und die darauffolgende, intensive Erosion seit der Kreide sind im Untergrund der Stadt vor allem Sandsteine und Ton-Schluffsteine des germanischen Keupers (Obere

Trias) anzutreffen. Die bei den Baumaßnahmen angetroffenen, klastischen Sedimente werden stratigraphisch den Schichtgliedern Coburger Sandstein und Burgsandstein zugerechnet, die wiederum dem mittleren oder Sandsteinkeuper angehören (2). Eine bis zu 1,5 m mächtige Decke aus pleistozänen Flugsanden verhüllt diese Gesteine meist jedoch an der Oberfläche (Bild 1).

Die während des Keupers stark wechselnden, teils terrestrischen, teils limnisch-fluviatilen Ablagerungsverhältnisse führten zu einem Schichtverband, der von einer äußerst kleinräumigen, inhomogenen Zusammensetzung geprägt wird: Lagen von mittel- bis grobkörnigen Sandsteinen wechseln mit Ton-Schluffsteinlagen („Keuperletten“) und Grobschüttungshorizonten ab, deren Komponenten bis in Kies Korngröße reichen. In einigen Bereichen führte eine nachträgliche carbonatische Zementierung zu wechselnd mächtigen Lagen oder Knollen, die als Steinmergellagen oder „Quacken“ bezeichnet werden. Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop (Bild 2) zeigen den extrem dichten Gefügeverband, der aus einzelnen, gerundeten Quarzklasten besteht, die nahezu vollständig von einer feinkristallinen Dolomit-Calcit-Matrix umgeben werden. Bereits die Beobachtung, daß Quarzkörner transgranular gebrochen sind, der Bruch also nicht etwa um das Korn herum in der Grenzfläche Korn/Matrix verläuft, ist ein deutli-

Wichtige Projektdaten der U2 Nord-Erweiterung.

Project overview of the extension of the Nuremberg Underground Railway.

Projekt	U2 Nürnberg Nord
Zweck	Ausbau der U2 Nord zum Flughafen Nürnberg
Länge	3 300 m in bergmännischer Bauweise
Vortriebsweise	Neue Österreichische Tunnelbauweise im Fräsvortrieb
Ausbruchs- querschnitte	Eingleisiger Tunnel: bis 35 m ² gesamt zweigleisiger Tunnel (mit Masse-Feder-System): bis 70 m ² gesamt
Bauzeit (Vortrieb)	1995 bis 1998
Bauherr	Stadt Nürnberg
Planung	U-Bahnreferat der Stadt Nürnberg
Bauausführung	BA 4.1: Wayss & Freytag AG BA 4.2: Dyckerhoff & Widmann AG

Experiences during Roadheader Tunnelling of the Nuremberg Underground

In order to extend the already existing subway line U2 to the airport of Nuremberg (Bavaria) tunnels of a total length of 3.3 km had to be built. The advance works encountered mainly sandstones and clay-siltstones of the "Keuper" formation (upper triassic). In some lots the inhomogeneous composition of the sediments led to problems in roadheader excavation. Two case studies are supposed to show how layers of hard calcrite (so called "quacken" layers) as well as soft clay-siltstone-layers reduced the efficiency of the roadheader excavation system.

Even if there are a lot of rock properties controlling the excavation performance of a roadheader, a geological phenomenon may cause much more trouble in excavation than "just" higher rock strength values. Therefore, preliminary site investigations should also especially focus on geological conditions and problems. Both geological-mineralogical and geotechnical aspects should be taken into consideration to raise the level of geotechnical contribu-

tion to underground construction. Nevertheless the description of some geological and geotechnical influences on the effectiveness of cutting works given in this paper may help to improve the estimation of rock excavation rates and bit consumption in planning future tunnel projects.

Für die Erweiterung der bestehenden Linie U2 zum Flughafen der Stadt Nürnberg (Bayern) waren Tunnel mit einer Gesamtlänge von 3,3 km in überwiegend bergmännischer Bauweise zu errichten. Die Vortriebe verliefen überwiegend in Sandsteinen und Ton-Schluffsteinen des sogenannten Sandsteinkeupers (Obere Trias). Die inhomogene Zusammensetzung dieser Formation führte in einigen Baulosen zu Problemen beim Ausbruch mit Teilschnittmaschinen. In zwei Fallbeispielen soll aufgezeigt werden, wie einerseits harte Konkretionen („Quackenlagen“), andererseits aber auch gehäuft auftretende Ton-Schluffsteinlagen auf ganz unterschiedliche Weise in der Lage waren, sich äußerst ungünstig auf die Vortriebsleistung des Maschinensystems auszuwirken.

cher Hinweis auf die extrem gute Kornbindung in den Konkretionen, die sich auch in einaxialen Druckfestigkeiten von bis zu 180 MPa niederschlägt.

Das Vortriebskonzept Teilschnittmaschine

Die vorliegenden Untergrundverhältnisse – in der Hauptsache wenig feste Sandsteine – favorisierten im Zusammenhang mit den gesteigerten Ansprüchen des innerstädtischen Tunnelbaus an den Immissionsschutz klar den Einsatz von schweren Teilschnittmaschinen gegenüber einem konventionellen Bohr- und Sprengvortrieb. Auf mehreren Baulosen wurden daher zum Vortrieb Teilschnittmaschinen des Typs AC-Eickhoff ET 380 (200 kW Leistung, 105 t Gesamtgewicht) mit Längs- und Querschneidkopf eingesetzt (1).

Ganz generell erfolgt der Vortrieb mit einer Teilschnittmaschine zyklisch in den aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten Gebirgslösung (Fräsen/Schneiden), Schuttern des gelösten Materials, Einbau der Sicherung (Bild 3). Dabei bestimmt jeder einzelne dieser Arbeitsschritte die Leistungsfähigkeit des Gesamtvortriebs (3, 4). Läßt man den Arbeitsgang „Sicherung“ beiseite, so ergeben sich für eine Teilschnittmaschine folgende typische Probleme:

- Beim Fräsen (Schneiden):
 - ⊖ niedrige Schneidleistung,
 - ⊖ hoher Werkzeugverschleiß,
 - ⊖ Verschmieren des Schneidkopfs,
- Beim Schuttern:
 - ⊖ Fördern erschwert aufgrund flüssiger bis breiiger Konsistenz des Schneidguts,
 - ⊖ Fördern erschwert aufgrund zu großer Blöcke im Haufwerk.

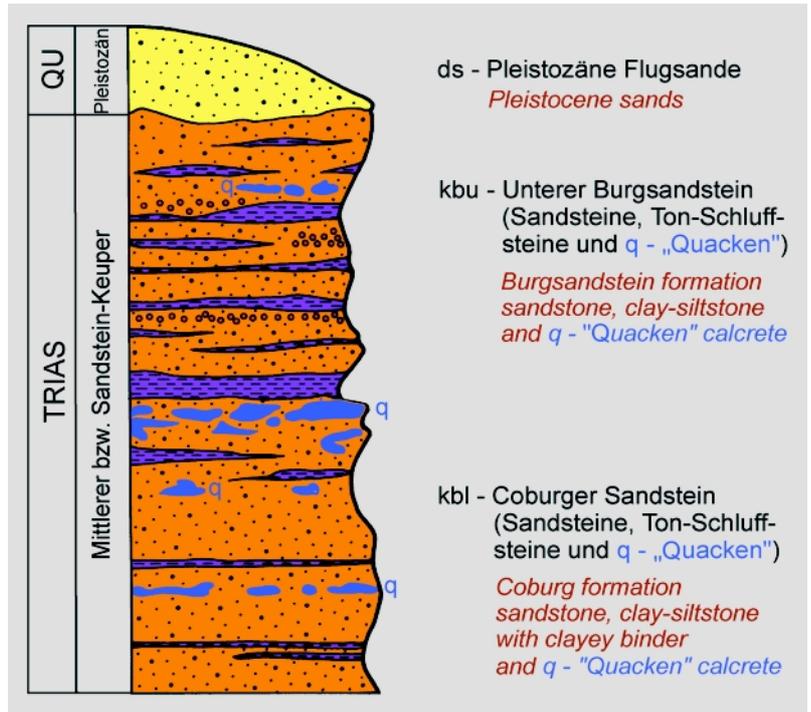
Einige dieser Probleme traten auch bei den Vortriebsarbeiten für die Erweiterung der U2 Nürnberg auf und führten dazu, daß die ansonsten erfolgreiche Vortriebsmethode in einigen Abschnitten spürbare Einbußen in ihrer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit hinnehmen mußte.

Hoher Werkzeugverschleiß

Während der Vortriebsarbeiten für ein Baulos trat extrem hoher Werkzeugverschleiß an den Rundschaftmeißeln des Schneidkopfs auf, der Spitzenwerte von 508 Meißel/Tag erreichte. Bezogen auf die ausgebrochene Kubatur bedeutet dies einen spezifischen Meißelverschleiß von bis zu 4 Meißel/m³ (fest).

Untersuchungsprogramm

Ein kombiniertes Versuchsprogramm, bestehend aus Feld- und Laboruntersuchungen, sollte über die Ursachen dieser hohen Verschleißraten Aufschluß geben. Die Untersuchungen vor Ort umfaßten dabei Auswertung und Dokumentation von Werkzeugverschleißraten und Ver-



schleißformen sowie Erfassung der geologischen Verhältnisse. Das überwiegend auf die Untersuchung der „Quacken“ ausgerichtete Laborprogramm umfaßte einaxiale Druckversuche, Point-Load-Tests, Dünnschliffanalysen und Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop.

Ursachen

Die Begutachtung von etwa 100 verschlissenen Meißeln zeigte bald, daß in den überwiegenden Fällen der Hartmetallstift gebrochen oder gar aus dem Trägermaterial herausgerissen worden war (Bild 4). Dieses Verschleißbild entspricht ei-

Bild 1 Schematische Schichtsäule der während der Vortriebsarbeiten für die Erweiterung der U-Bahn-Linie U2 Nürnberg ange-troffenen Schichtfolge.

Fig. 1 Generalized section of the Keuper sediments encountered during the excavation works for the extension of the Nuremberg Underground Railway.

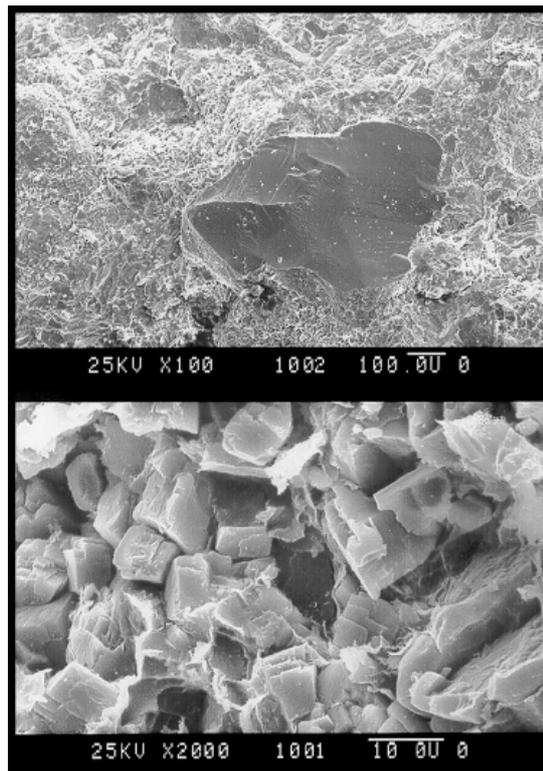


Bild 2 REM-Aufnahmen von „Quacken“; links Übersichtsaufnahme mit einer transgranular gebrochenen Oberfläche eines gerundeten Quarzkorns in einer dichten, carbonatischen Matrix, rechts Detailansicht dieser Matrix mit typischen, rhomboedrischen Kristallformen des Dolomits und nur untergeordnet Tonmineralen (kleinere, schuppenförmige Aggregate) (Aufnahmen Dr. J. Froh, TUM).

Fig. 2 Scanning electron microscope photograph of a „Quacken“ layer. Left: overview with a transgranular surface of a quartz grain within a dense carbonatic binder material. Right: Detail of this binder material with typical rhombic crystals of dolomite and only few clay minerals (small, scaly aggregates).

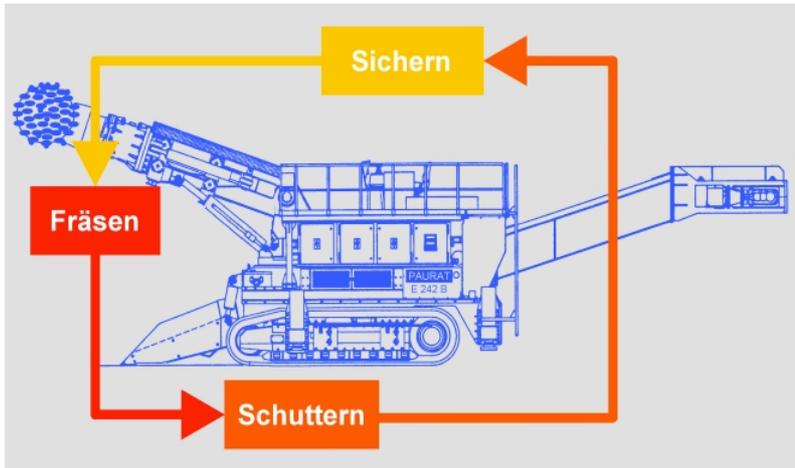


Bild 3 Schematische Darstellung des Arbeitsablaufs beim TSM-Vortrieb. Probleme bei einem Arbeitsschritt wirken sich immer negativ auf den Gesamtvortrieb aus.

Fig. 3 Illustration of the working process in roadheader excavation. One problem can ruin the whole excavation performance.

nem Verschleiß der Verschleißklassen 4 und 5 (Bild 5). Zwischen enorm hohem Verschleiß und dem Auftreten dickerer Quackenlagen schien ein eindeutiger Zusammenhang zu bestehen: Die höchsten Verschleißraten wurden dabei in einem Abschnitt erzielt, in dem zwei 0,5 und 0,9 m mächtige, massige Konkrethorizonte angegriffen wurden.

Obwohl mit den Untersuchungen in den Quacken hohe Quarzanteile von bis zu 60 % nachgewiesen werden konnten, geben die Verschleißformen zu der Vermutung Anlaß, daß der immense Verschleiß an Rundschafftmeißeln in erster Linie nicht durch die Abrasivität der Konkretionen verursacht wurde. Den Hauptversagensmechanismus stellt der Sprödbbruch beziehungsweise Ausbruch des Hartmetalleinsatzes dar, eine Verschleißform, die vor allem auf hohe Schlagimpulse zurückzuführen ist.



Bild 4 Gegenüberstellung fabriknueuer und verschlissener Rundschafftmeißel. Jeweils links: Fabriknueuer Meißel. Mitte: Aus- oder Sprödbbruch des Hartmetallstifts. Rechts: Einseitige Abnutzung infolge Sprödbrechts.

Fig. 4 Comparison between brand-new and worn out cutter bits. On the left: brand-new bit. Center: breakout of the tungsten carbide insert. On the right: Asymmetrical wear as a result of brittle fracture of the tungsten carbide insert.

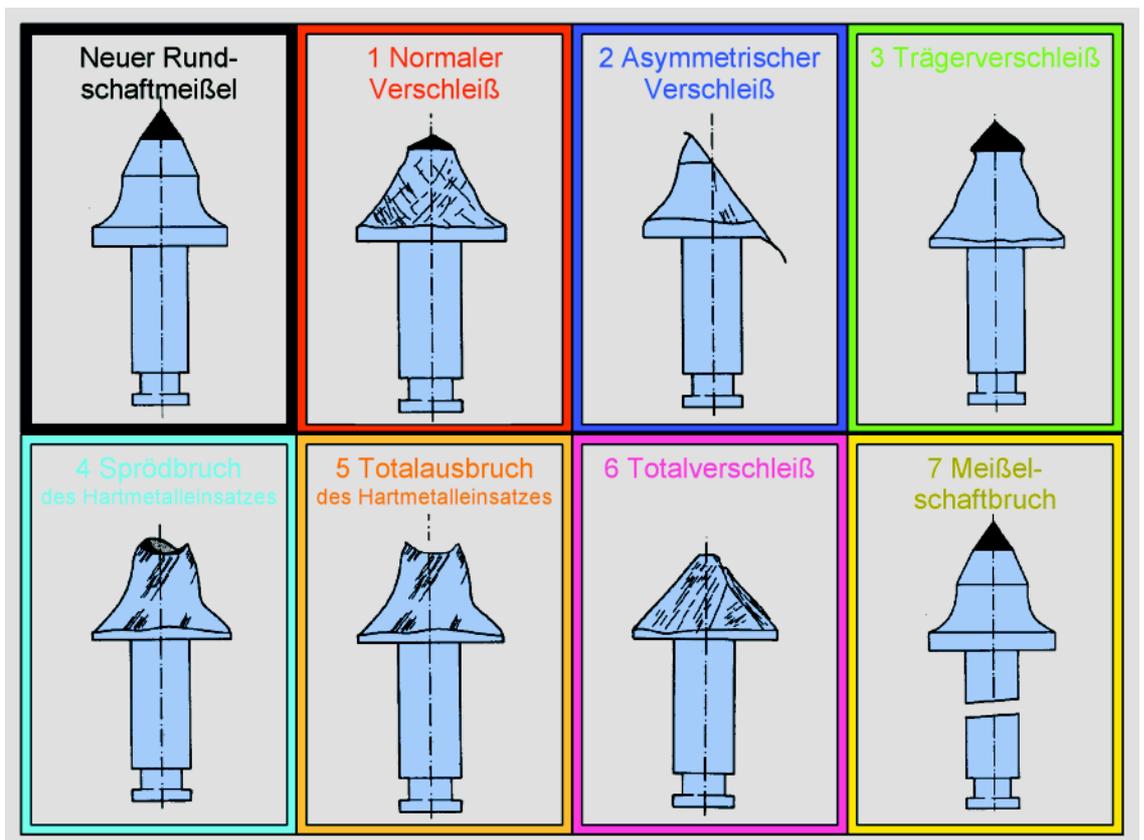


Bild 5 Verschleißklassifizierung für Rundschafftmeißel (nach 3, 4).

Fig. 5 Bit wear classification for cutter bits (after 3, 4).

Da bei diesem Vorgang weniger ein kontinuierlicher Materialabtrag (durch Schleifen) als vielmehr ein katastrophales Versagen (Bruch) stattfindet, sind weniger die abrasiven Eigenschaften des Gesteins, als vielmehr dessen Festigkeit, Verteilung und Durchtrennung im Gebirgsverband ausschlaggebend.

Die Anfälligkeit der Rundschaftmeißel für ein solches Versagen liegt dabei an der Konstruktion selbst. Während die aus Wolframcarbidgelegungen hergestellten Hartmetallstifte zwar relativ widerstandsfähig gegenüber Abrasion (Materialabtrag durch ritzende Beanspruchung) sind, machen ihre relativ spröden mechanischen Eigenschaften sie um so anfälliger gegenüber Schlagbeanspruchung. Gerade solchen Schlägen waren die Meißel aber immer dann ausgesetzt, wenn der Schneidkopf aus einer wenig festen Sandsteinlage (UCS < 25 MPa) heraus in eine harte Quackenlage (UCS_{max} = 180 MPa) eindrang. Die primäre Folge waren Splitterbrüche und Ausbrüche der Hartmetallstifte, die in der Folge jedoch auch einen frühzeitigen Ausfall des gesamten Meißels bedingten, da der fehlende Hartmetallstift nun nicht mehr in der Lage war, den Werkzeugträger effektiv vor Abnutzung – auch durch die Quarzsandsteine – zu schützen.

Lösen und Schuttern der Ton-Schluffsteine

In einem benachbarten Baulos blieb die Vortriebsleistung deutlich hinter den kalkulierten Werten zurück. Es stellte sich bald heraus, daß es sich hierbei um ein komplexes Problem beim Lösen und Schuttern von Gebirgsbereichen mit häufigen Ton-Schluffsteinlagen handelte.

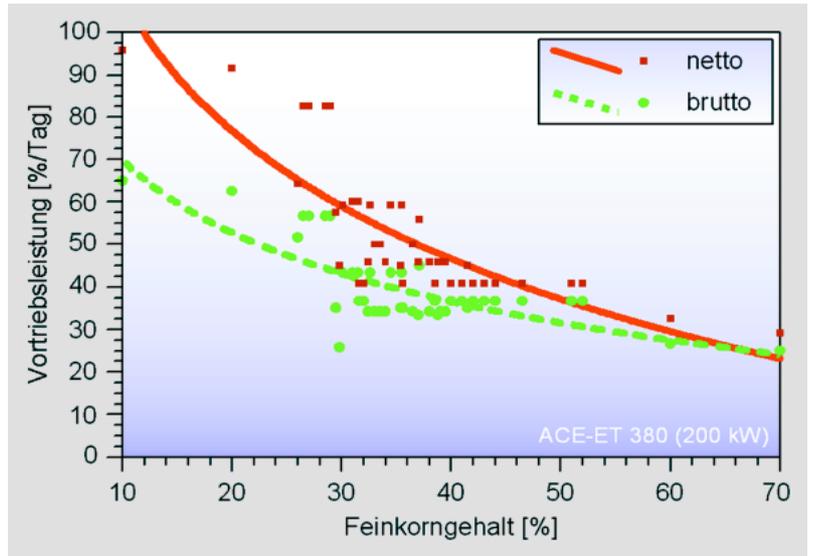
Untersuchungsprogramm

Das eingeleitete geotechnische Untersuchungsprogramm umfaßte neben einer detaillierten ingenieurgeologischen Aufnahme der Situation vor Ort auch umfangreiche Laboruntersuchungen. Sowohl an Proben aus der Ortsbrust als auch an Proben des Schneidguts wurden Korngrößenanalysen (kombiniertes Sieb/Schlamm-Verfahren), Wasseraufnahmeversuche, Pulverquellversuche und Dünnschliffanalysen durchgeführt.

Ursachen

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, daß zwischen den täglichen Vortriebsleistungen und dem Feinkorngehalt im angetroffenen Gebirge ein klarer Zusammenhang bestand. Bild 6 zeigt, wie die Gesamtvortriebsleistungen (Netto und Brutto) in Abhängigkeit des Ton-Schluffgehalts steil absanken.

Das Zusammentreffen von veränderlich festen Ton-Schluffsteinlagen („Keuperletten“) in der Sandsteinfolge und Bergwasserzutritten von rund 2 bis 5 l/s nahm dabei in mehrfacher Weise ungünstigen Einfluß auf das Vortriebssystem Teilschnittmaschine:



- ◇ Beim Schneidvorgang: War der Fräskopf bis über die Basis der Rundschaftmeißel mit der Ton-Schluff-Masse zugesetzt, so behinderte dies den Schneidvorgang, da der Schneidkopf nur noch mit den Meißelspitzen ins Gebirge eingreifen konnte. Durch eine verminderte Penetration sank die Schneidleistung am Schneidkopf der Teilschnittmaschine ab.
- ◇ Beim Abtransport des Schneidguts mit dem Fräskopf: Das Schneckengewinde eines

Bild 6 Netto- und Bruttovortriebsleistung in Abhängigkeit vom Ton- und Schluffgehalt in Keuperformationen.
Fig. 6 Net and gross excavation rates versus average amount of clay and silt in the Keuper formation.



AMANN INFUTEC CONSULT AG
 Ingenieurgesellschaft für Bauen und Umwelt

Ober-Ramstädter Straße 42 · 64367 Mühlthal
 Telefon 06151 / 14 15-0 · Telefax 06151 / 14 15-89
 E-mail: aicon@aicon-ag.de · Internet: www.aicon-ag.de

■ Untertagebau

- Geotechnische Erkundung
- Tunnelbautechnische Gutachten
- Tragwerksplanung
- Prüfungentätigkeit
- Objektplanung
- Überwachung und fachtechnische Begleitung
- Vertrags- und Kostenmanagement
- Projektmanagement

Sie wünschen mehr Informationen?
www.aicon-ag.de

Ein Unternehmen der **CDM** Consult AG

Berlin · Bingen · Bochum · Bühl · Crailsheim · Darmstadt · Dortmund · Duisburg
 Hamburg · Ilse · Leipzig · München · Nürnberg · Stuttgart · Wildeck



Bild 7 Situation vor dem Ladetisch: Die Ladescheiben der TSM sind nicht in der Lage, den Erdbrei in den Förderkanal zu transportieren. Im Hintergrund: Stark zugesetzter Längsschneidkopf (4).

Fig. 7 Situation in front of the loading table: The loading device is not able to muck the muddy material into the haulage channel (4).

Längsschneidkopfs gewährleistet normalerweise einen effektiven Abtransport des gelösten Gesteins, indem das Haufwerk durch die Rotation des Schneidkopfs nach hinten auf den Ladetisch der Maschine aufgegeben wird. Gerade dieses Schneckengewinde wurde jedoch besonders schnell vom Schneidgutbrei verklebt, so daß die Fähigkeit des Schneidkopfs zum Materialabtransport stark vermindert wurde.

- ◇ Beim Schuttern mit dem Schuttersystem: Aufgrund der breiigen Konsistenz des Schneidguts war es für den Ladetisch der TSM unmöglich, die geschnittene Kubatur abzufördern. In regelmäßigen Abständen mußte daher der Schneidvorgang unterbrochen werden, um der Vortriebsmannschaft Gelegenheit zu geben, den sich bildenden Matsch händisch auf den Kettenförderer zu schaufeln (Bild 7).

Es zeigte sich, daß bereits bei einem Anteil von 10 bis 15 % Keuperletten am Gesamtquerschnitt der Feinkornanteil im Fräsgut so ungünstig erhöht war, daß bereits nach kurzer Fräsdauer der Schneidkopf völlig zugesetzt wurde. Deutlich wird, daß die Verklebung des Schneidkopfkörpers nicht nur die Schneidleistung durch Herabsetzen der Penetration beeinträchtigt, sondern – durch Verkleben des Schneckengewindes – vor allem auch die guten Fördereigenschaften des Längsschneidkopfs zunichte macht.

Der rekonstruierte Gebirgslösungsvorgang kann auch die Probleme erklären, die beim weiteren Abtransport auftraten: Die an der Ortsbrust in festem und trockenem Zustand vorliegenden Ton-Schluffsteinlagen wurden beim Schneidvorgang in kleine Partikel zerfräst, die auf die Sohle rieselten. Dabei vermischte sich

das Fräsgut mit dem Sand aus den Sandsteinlagen, der – ungünstigerweise – eine hohe Wasserdurchlässigkeit besaß. Dieses Gemisch war nun in der Lage, sich mit dem in Mengen von 2 bis 5 l/s anfallenden Bergwasser innerhalb kürzester Zeit zu einem wassergesättigten Schlamm zu vermischen.

Vor allem im Bereich der etwa 2 m vorausliegenden Kalotte trug auch das Verkleben des Schneckengewindes und die damit einhergehende Verminderung der Abfuhrleistung erheblich dazu bei, daß sich die Verhältnisse vor Ort zusehends verschlechterten: Das Schneidgut konnte von der Kalottensohle nicht schnell genug abgefördert werden und durchsetzte sich immer mehr mit dem andrängenden Bergwasser. Der sehr ineffektive Abtransport des Schneidguts brachte eine erneute Durchmischung mit sich, durch welche die Konsistenz des Schneidguts bald im breiigen Bereich lag. Dieser Erdbrei konnte vom Ladetisch der TSM nicht mehr aufgenommen werden. Die unausweichliche Folge dieser Vorgänge waren Unterbrechungen des Schneidbetriebs, die dazu genutzt wurden, das Material mit Schaufeln in das Fördersystem zu transportieren oder den Schneidkopf und die Fördereinrichtungen von der Ton-Schluffmasse zu reinigen.

Das vorgestellte Modell kann ebenso die Kurvenverflachung erklären, die im Bild 6 bei höheren Feinkorngehalten beobachtbar wird: Mit steigendem Gehalt an Ton und Schluff im Schneidgut nimmt umgekehrt der Anteil an Sand ab, wodurch die Wasserwegsamkeit im Schneidgut reduziert wird. Als Effekt dieser Reduzierung benötigt die Mischung länger, um sich mit Wasser aufzusättigen.

Die Kombination von veränderlich festem Gestein und Wasserzutritten unter Tage kann darüber hinaus noch weiterreichende Auswirkungen auf Maschine und Arbeitsschritte haben, die an dieser Stelle nur angedacht werden sollen:

- ◇ An einem verklebten Schneidkopf können die Rundschaftmeißel unter Umständen nicht mehr in ihrer Meißelhalterung rotieren, was eine asymmetrische Abnutzung und vorzeitigen Ausfall durch Verschleiß bedingen kann.
- ◇ Auch der Förderkanal, die Räumerkette und die Übergabe auf das im hinteren Bereich aufgehängte Förderband sind anfällig für Verkleben und können, wenn der Durchmesser verengt ist, zur Verminderung der Förderleistung beitragen.
- ◇ Hohe Maschinengewichte können im Zusammenspiel mit Vibrationen während des Fräsvorgangs die maximale Bodenpressung überschreiten, was unweigerlich zu einem Einsinken der Maschine und Problemen beim Verfahren führen würde.

Schlußbetrachtung

Obwohl der Einsatz von schweren Teilschnittmaschinen bei den Vortriebsarbeiten zur Erwei-

terung der U2 Nord Nürnberg an sich hätte problemlos sein sollen, führten dennoch Inhomogenitäten in den Keupersandsteinen zu empfindlichen Leistungseinbußen des Vortriebssystems Teilschnittmaschine. Aus den gemachten Erfahrungen lassen sich jedoch folgende allgemeine Schlußfolgerungen ziehen:

- ◊ Wie auch die Erfahrungen aus anderen Projekten zeigen, wird vor allem der Werkzeugverschleiß einer Teilschnittmaschine von den härtesten Partien innerhalb der Schichtfolge gesteuert. Der Verbrauch an Rundschaffmeißeln steigt besonders bei einer Wechsellagerung von sehr harten mit weichen Partien oder Lagen im Gebirge stark an. Dabei ist typischerweise eine Zunahme von Hartmetallbrüchen (Verschleißklassen 4, 5) zu beobachten.
- ◊ Manchmal verursacht jedoch auch das „schwächste Glied der Kette“ Probleme – vor allem in Kombination mit Wasser. Mürbe, sehr tonreiche Sandsteine beziehungsweise Sandstein-Ton-Schluffstein-Wechselfolgen können zwar meist gut geschnitten werden, sind jedoch in geschnittenem Zustand in der Lage, zusammen mit bereits geringen Wassermengen einen schwer förderbaren Schlamm zu bilden. Der erzeugte Schlamm kann durch herkömmliche Ladeeinrichtungen nur schwer gefördert und abtransportiert werden, insbesondere dann, wenn die Verhältnisse nicht vorhergesehen sind und ein Umbau der TSM vor Ort nicht mehr möglich ist. Die in solchen Untergrundverhältnissen üblicherweise hervorragenden Nettoschneidleistungen werden durch die Schutterprobleme de facto zunichte gemacht.
- ◊ Auch die Schneidfähigkeit selbst kann durch das Vorhandensein feinkornreicher Sedimente stark herabgesetzt werden: Ton-Schluffsteine mit ungünstiger Konsistenz können unter Umständen zum Verschmieren des Schneidkopfs und der Lösewerkzeuge führen, so daß kein wirksames Eindringen in die Ortsbrust mehr möglich ist. Vor allem die Vorteile, die der Einsatz eines Längsschneidkopfs in bezug auf den Auswurf des Schneidguts bietet, können in solchen Verhältnissen durch Zusetzen des Schneckengewindes zunichte gemacht werden.

Die stetige Weiterentwicklung der Teilschnittmaschinenteknik stellt dem Tunnel- und Stollenbau ein immer effektiver werdendes Werkzeug zur Verfügung, mit dem Ziel, auch in Fels den – in bezug auf Vortriebsleistung, Minimierung der Gebirgsauflockerung oder Immissionschutz – steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Gerade der vermehrte Einsatz dieses Vortriebsverfahrens zeigt jedoch immer wieder Grenzen und Probleme auf. Der richtigen Einschätzung der geomechanischen Eigenschaften des zu lösenden Gebirges im Vorfeld der Planung kommt daher vor allem beim Einsatz von Teil-

schnittmaschinen zur Beurteilung der Vortriebsleistung und Werkzeugkosten eine entscheidende Bedeutung zu.

Quellennachweis

1. Groß, G.: Schwere Teilschnittmaschinen im Einsatz U-Bahntunnelvortrieben in den Städten Nürnberg und Fürth. Messe München International (Hrsg.): Berichte 5. Int. Tunnelbausymposium, München 1998, S. 101-106. Rotterdam: Balkema, 1998.
2. Fuchs, B.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt 6532 Nürnberg. München: Bayer. Geol. Landesamt, 1956.
3. Thuro, K.; Plinninger, R.J.: Geologisch-geotechnische Grenzfälle beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. In: Felsbau 16 (1998), Nr. 5, S. 358-366.
4. Thuro, K.; Plinninger, R.J.: Geological limits in roadheader excavation. D.P. Moore & O. Hungr, O. (eds.): Proc. 8th IAEG Congress, Vol. 5, S. 3545-3552. Rotterdam: Balkema, 1998.
5. Bruelheide, Th.: Fotodokumentation Baustelle U2 Nord Nürnberg, BW 230.3, Los 4.2.1. Dyckerhoff & Widmann AG, München, unveröffentlicht, 1998.

Autoren

Dipl.-Geol. Ralf Plinninger, Technische Universität München, Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie, Arcisstraße 21, D-80290 München, Deutschland, E-Mail plinninger@geo.tum.de, Dr. rer. nat. Kurosch Thuro, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Geologie/Ingenieurgeologie, CH-8093 Zürich, Schweiz, E-Mail thuro@erdw.ethz.ch, Dipl.-Geol. Thorsten Bruelheide, Dyckerhoff & Widmann AG, Hauptniederlassung München, Tiefbauabteilung, Erdinger Landstraße 1, 82109 München, Deutschland, E-Mail aa-bruelheide.hv@dywidag.de

bauma 2001

26. Internationale Fachmesse®

München, 2.–8. April

Die Weltmesse
Baumaschinen
Baustoffmaschinen
Baufahrzeuge
und Baugeräte

www.bauma.de

Information:
Messe München GmbH
Messegelände
D-81823 München,
Tel. (089) 949-1 13 48
Fax (089) 949-1 13 49

Öffnungszeiten NEU
Montag bis Freitag
9.30 bis 18.30 Uhr
Samstag
8.30 bis 18.30 Uhr
Sonntag
9.30 bis 16.30 Uhr