

City-Tunnel Leipzig – innenliegender Dichtblock

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz
Leiter des Instituts für Baubetrieb und Tunnelbau,
Universität der Bundeswehr München,

Dipl.-Ing. Peter Schütz
Oberbauleiter Tunnelbau
DYWIDAG Bau GmbH

Dr.-Ing. Nicole Mörchen
Leiterin des Technischen Büros
DYWIDAG Bau GmbH

Veröffentlicht in:

Tunnelbautaschenbuch 2009, 33.Jahrgang,
VGE Verlag GmbH, Essen, September 2008
Seite 21 bis 38

Literatur

- [1] Europäische Patentanmeldung Nr. 07 009 925.4-2315
Vorrichtung und Verfahren für die Schildanfahrt und die Schildausfahrt
Anmelder: DYWIDAG Bau GmbH
- [2] Schwarz, Jürgen;
Dichtkörper beim maschinellen Tunnelbau;
Geotechniktag München 2005
- [3] Schwarz, Jürgen; Mörchen, Nicole; Schmidt, Jan; Schütz, Peter;
Wirksamkeit von Brillendichtungssystem bei Ein- und Ausfahrtvorgängen unter hohem Wasserdruck – Stand der Technik und neue Entwicklungen,
Forschung + Praxis 42; STUVA Köln
- [4] Mörchen, Nicole; Schmidt, Jan; Schwarz, Jürgen
Innovative Lösungen zur Erzielung der Dichtigkeit bei Start- und Zielsituationen beim Schildvortrieb
23. Christian Veder Kolloquium 2008

1. Projektbeschreibung

Der City-Tunnel Leipzig besteht im Baulos B aus zwei jeweils 1,5 km langen Tunnelröhren, die die Haltepunkte Bayerischer Bahnhof, Wilhelm-Leuschner-Platz, Markt und Leipzig Hauptbahnhof miteinander verbinden (Abb. 1). Die Haltepunkte werden – mit Ausnahme des Bayerischen Bahnhofs – in Deckelbauweise erstellt. Die in bergmännischer Bauweise herzustellenden Strecken werden als zwei eingleisige Tunnelröhren nacheinander mit einer Schildvortriebsmaschine (Außendurchmesser $d = 9,0\text{ m}$) mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrüst und Stahlbetontübbingausbau aufgeföhren.



Abb. 1 Übersicht des City-Tunnel Leipzig

2. Geologie

Der Baugrund ist geprägt durch geologische Erosions- und starke Akkumulationsprozesse im Pleistozän mit ihren Auswirkungen auf die tertiäre Schichtenfolge. Insgesamt wurden 13 quartäre und 10 tertiäre Schichten auskartiert. Im Allgemeinen handelt es sich um Lockerböden, die sowohl bindige, gemischtkörnige als auch rollige Fraktionen enthalten. Der gesamte Vortrieb erfolgt im Grundwasser mit Wasserdrücken bis zu 18 m. Die während des Vortriebs zu durchföhrenden Lockergesteine reichen im Hangenden von sandigen Mittel- bis Grobkiesen der quartären Flussschotter bis hin zu den feinsandigen, tonigen Schluffen der tertiären grüngrauen Schluffe. Dazwischen eingelagert befinden sich bereichsweise Mittel- bis Feinsande, zum Teil tonige, schluffige, zum Teil kiesige Mittel- bis Feinsande der tertiären Bitterfelder Sande, sowie Wechselfolgen von Schluffen, Tonen und Feinsanden. In Teilbereichen sind kohlige Einschlüsse zu erwarten sowie Findlinge hoher Festigkeit (Abb. 2).

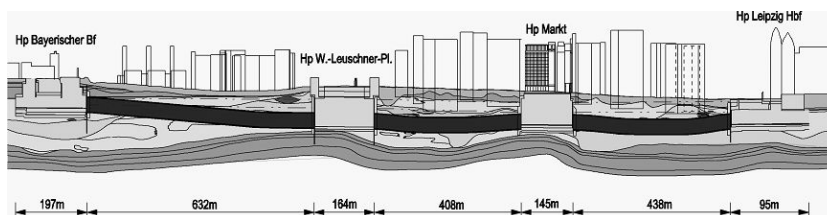


Abb. 2 Geologischer Längsschnitt

3. Start- und Zielvorgang am Haltepunkt Markt

3.1 Ausgeschriebene Lösung

Üblich ist es, vor dem Startschacht einen Dichtkörper anzuordnen. Aus geometrischen Gründen konnten die Dichtblöcke bei der Station Markt nur mit dem Düsenstrahlverfahren (DSV) hergestellt werden. Es ist, trotz aller Verbesserungen und Kontrollen dieses Verfahrens, Stand der Technik, dass ein DSV-Körper nicht ausreichend dicht ist. Deshalb sah die Ausschreibung vor, die bewehrte Schlitzwand der Stationsstirnseiten unter Druckluft abzubrechen. Dies könnte mit einem Drucktopf [2] erfolgen.

Nach dem Abbrechen der Schlitzwand sollte gemäß Ausschreibung eine Dichtigkeitsprüfung der DSV-Blöcke erfolgen, dann nach Erfordernis eine Ertüchtigung und Abdichtung der Blöcke. Alle Maßnahmen waren vorab – ohne Auswirkung auf die Gesamtbauzeit – geplant. Mit dem Aufbau der Maschine wäre dann ein konventioneller Schildstart durch eine Startbrille mithilfe eines dann intakten Dichtblockes möglich.

Analog war die Schildeinfahrt (Ziel) ausgeschrieben.

Die Länge der DSV-Dichtblöcke war wegen der Bebauung auf nur 7 m begrenzt. Deshalb wurde die Länge des Zieltopfes so dimensioniert, dass einerseits die Tübbingauskleidung im Dichtblock verpresst ist, andererseits im Zieltopf der volle Stützdruck aufrecht erhalten werden kann. Erst nach Verpressung der Tübbing im Dichtblock und erfolgter Dichtigkeitsprüfung darf der Deckel des Zieltopfes abgenommen werden (Abb. 3).

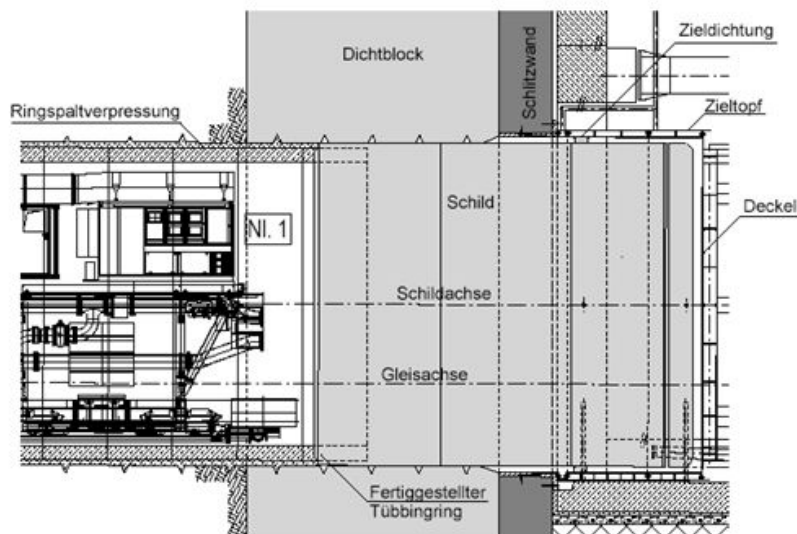


Abb. 3 Zielsituation - konventionell

Aufgrund der geotechnischen Verhältnisse am Haltepunkt Markt wurde auch für den Start die analoge Forderung aufgestellt: Die Länge der Brillenkonstruktionen war so abzustimmen, dass eine Schlauchdichtung als feste Dichtung aktiviert wird, bevor die Schildmaschine den Dichtblock verlässt. So wären zu jedem Zeitpunkt des Startvorganges zwei unabhängige Dichtebenen vorhanden [3] (Redundanz).

3.2 Geotechnische Probleme

Im Zuge der Herstellung des Dichtkörpers am Südkopf wurden Holzeinlagerungen und Braunkohle gefunden, welche die Dichtigkeitsfunktion des DSV-Körpers sehr stark beeinträchtigten. Aus dieser Kenntnis heraus wurden am Nordkopf bereits vor der Herstellung der DSV-Säulen Erkundungsbohrungen abgeteuft, die auch dort mächtige Braunkohleeinlagerungen ausgewiesen haben. Durch diese Fehlstellen konnte dem DSV-Dichtkörper nur die Funktion einer Bodenverfestigung zugewiesen werden.

Eine Dichtigkeit des DSV-Blockes konnte nicht gewährleistet werden, auch eine Ertüchtigung war nicht machbar. Zusätzlich zur Forderung des Abbruches der Stirnschlitzwand unter Druckluft musste daher die Druckluftstützung vollständig und ohne Unterbrechung erhalten bleiben bis der erste Tübbingring innerhalb der Schlitzwand verpresst ist und die Dichtigkeit dieser Verpressung nachgewiesen ist.

Die Forderung, dass die Druckluftstützung ohne Unterbrechung aufrecht erhalten bleibt, bedeutete neben technischen Problemen vor allem eine terminliche Einschränkung: Ein Vorab-Abbruch der Schlitzwand vor dem Aufbau der TBM wäre nicht mehr möglich gewesen. Man hätte z. B. die Maschine als Drucktopf benutzen müssen (Abb. 4) und unter stark eingeschränkten Platzverhältnissen und mit direktem Einfluss auf die Gesamtbauzeit den Abbruch durchführen müssen.

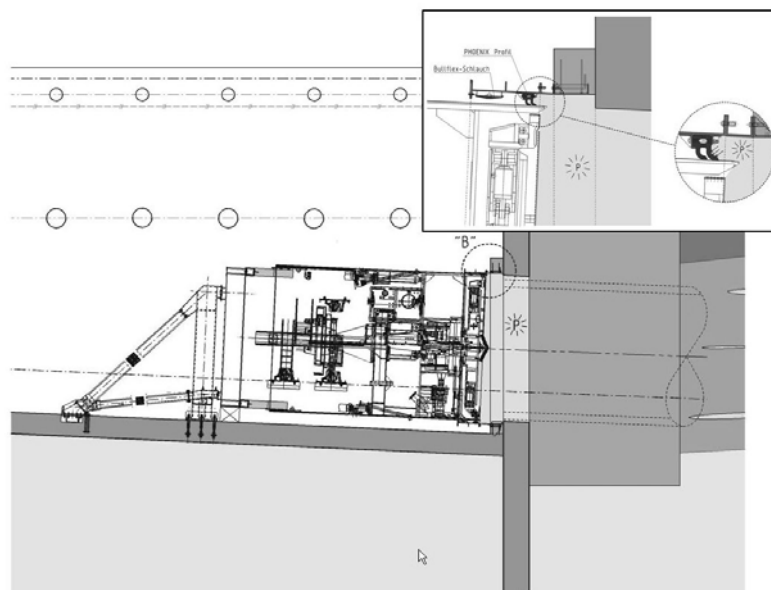


Abb. 4 Abbruch der Schlitzwand unter Druckluft

Durch die ARGE wurden verschiedene alternative Lösungen für die Start- und Zielsituationen auf ihre Machbarkeit hin untersucht [4]. Letztlich scheiterten alle Möglichkeiten auf Basis bekannter Technologien daran, dass es keine geprüften Brillendichtungssysteme gibt, denen man unter der gegebenen Geologie und unter dem hohen Wasserdruck die Funktion der ersten Dichtebene zuweisen kann [3]. Es war eine innovative Lösung erforderlich, um die Machbarkeit des Vortriebes überhaupt zu gewährleisten.

4.3 Betontopf in der Zielsituation – Erfahrung

Am 10.12.2007 hat die Schildmaschine den ersten Betontopf im Haltepunkt Markt durchfahren.

- Die bewehrte Schlitzwand wurde vorab unter Druckluftstützung abgebrochen, anschließend die Arbeitskammer und der (abgebrochene) Schlitzwandbereich mit Dämmer verfüllt.
- Der Vortrieb in dem Betontopf erfolgte mit vollem Stützdruck, da für den DSV-Dichtblock keine Dichtigkeit angesetzt werden konnte. Der Erd-druckanteil des Stützdruckes wurde erst im Betontopf selbst, nicht im DSV-Block, reduziert.
- Erst als die Maschine den Betontopf so weit durchfahren hatte, dass der Tübbingring in der Schlitzwand verpresst und die Dichtigkeit dieser Verpressung nachgewiesen war, wurde der Stützdruck reduziert.
- Der Restvortrieb (= Abbruch der Betontopfrückwand) erfolgte mit Teilfüllung, die nur der hydraulischen Förderung des Abraums diente.

Ziel war es, einen möglichst großen Teil des Betontopfes mit der Schildmaschine abzubauen, um somit ein kontrolliertes Versagen der Betontopfrückwand zu ermöglichen. Für das Auffahren der letzten 3,90 m des Betontopfes wurden die Vortriebskräfte in Abhängigkeit der Restdicke der Betontopfrückwand ermittelt (Abb. 6). Hierbei wurden die Teilsicherheiten nicht in Ansatz gebracht, da ja das Zerstören der Betontopfrückwand das Ziel war.

Vortriebskräfte beim Zielvorgang

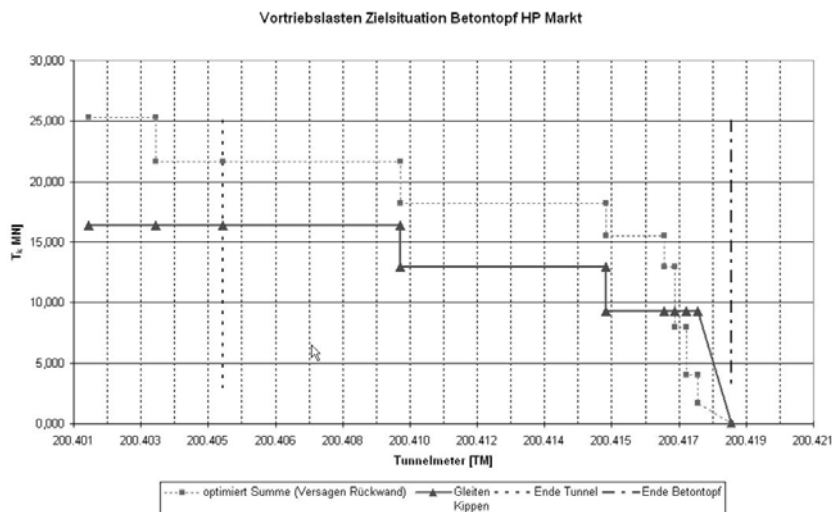


Abb. 6 Prognose der Vortriebskräfte im Betontopf (Zielsituation)

Anhand dieser Werte wurde der Einfahrvorgang durch beständiges Kontrollieren der Vortriebskräfte und der im Betontopf auftretenden Risse beobachtet. In Abhängigkeit des aufgetretenen Rissbildes wurden die Vortriebskräfte verringert, um ein kontrolliertes Versagen des Betontopfes herbeizuführen (Abb. 7). Aus diesem Grund war es möglich, die Rückwand des Betontopfes bis auf eine Restdicke von 40 cm abzufräsen (Abb. 8).

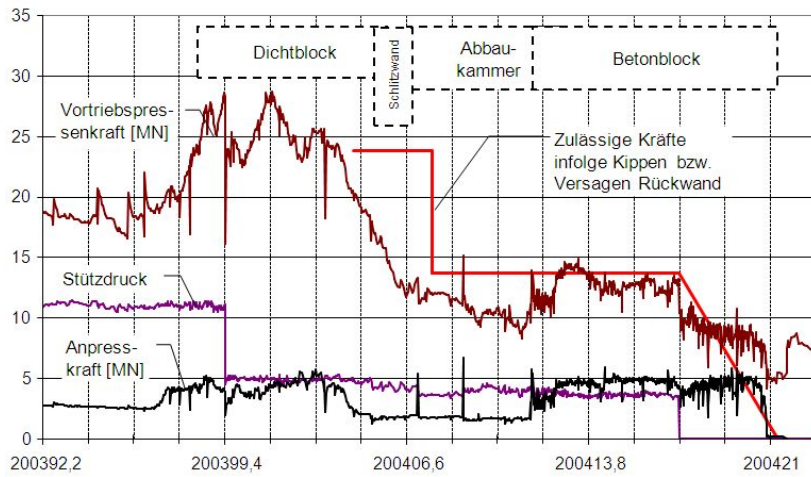


Abb. 7 Vortriebskräfte bei Zieleinfahrt – SOLL-IST-Vergleich



Abb. 8 TBM nach Durchschlag im Betontopf

4.4 Betontopf in der Startsituation – Konzept

Der Betontopf für den Startvorgang ist insgesamt ca. 23 m lang und so konstruiert, dass der Schild zum Anfahrvorgang komplett in den Topf („Betonhöhle“) hineingeschoben wird, Teile der Vortriebspresenlasten in den Topf abgetragen werden und der Stützdruck dann noch mit der verbleibenden Restblocklänge aufgenommen wird.

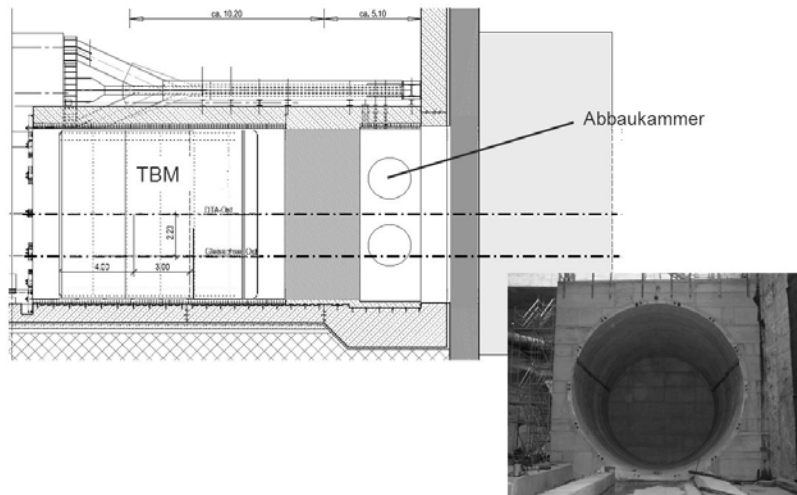


Abb. 9 Betontopf in der Startsituation

Die Lastabtragung in die Sohle des Bahnhofs erfolgt über Reibung. Der Betontopf ist zur Aufnahme der Kräfte außerhalb der Fahrtrasse radial und längs bewehrt.

Der Betontopf selbst muss die Vortriebskräfte, die über Blindringe eingeleitet werden, aufnehmen und über Reibung/Verbund an die Bodenplatte abgeben. Die Lasten über die Verbundwirkung der Blindringe werden direkt in die Betontopfwand, -decke und -sohle eingeleitet.

Im Ostvortrieb kann die TBM aus der Phase „Durchschieben durch den Bahnhof“ gerade durch den Topf fahren. Im Westvortrieb geht dies aus geometrischen Gründen nicht. Deshalb wird im Westvortrieb nach dem Einschieben des Schildes in den Betontopf gleich mit einer Kurvenfahrt gestartet – eine Möglichkeit, die beim konventionellen Start von einer Schildwiege nicht gegeben ist. Mit der hohen aufnehmbaren Vortriebskraft ist ein exakt gesteuerter Vortrieb möglich.

Zeitlich unabhängig von den Abbrucharbeiten an der Bahnhofsschlitzwand wird der Schild in die Betonhöhle bis vor den Betonblock geschoben. Der erste Blindring wird gesetzt, wobei die erforderlichen Haltekräfte über leichte Konsolen – die mit GEWI-Stäben in die Abbaukammerrückwand eingeleitet werden – aufgenommen werden (Abb. 9). Die Blindringe werden kraftschlüssig an die Betonhöhle angeschlossen und der Ringspalt verpresst. Die Pressenlasten aus dem Vortrieb werden über die Blindringe in den Topf und von dort über Reibung in die Bahnhofsohle abgeleitet.

4.5 Betontopf in der Startsituation – Erfahrung

Am 03.02.2008 erfolgte der Start im Betontopf des Haltpunktes Markt. Phasen sind in den folgenden Fotos (Abb. 10 und 11) und mit dem Vortriebsdiagramm (Abb. 12 und 13) dokumentiert.

- Die Maschine wurde durch den Bahnhof Markt geschoben, in den fertigen Betontopf (Betonhöhle) hinein (Abb. 10).



Abb. 10 Betontopf in der Startsituation: Maschine in der „Betonhöhle“

- Zeitlich unabhängig von allen anderen Bauphasen der Schildfahrt wurde der Betontopf vorab erstellt. Ein zusätzlicher Abstützbock für die Vortriebskräfte ist nicht notwendig. Aufgrund der zeitlichen Vorteile, aber auch wegen der beengten Platzverhältnisse und mangelnden Hebezeuges des in Deckelbauweise erstellten Haltepunktes, hat sich die Herstellung der Betonhöhle als wirtschaftlicher erwiesen gegenüber dem Einbau der Abstützböcke (obwohl diese von den anderen Stationen fertig produziert waren).
- Ebenfalls zeitlich unabhängig von den übrigen Vorgängen erfolgte vorab der Abbruch der bewehrten Schlitzwand unter Druckluft und anschließend die Verdämmung der Abbaukammer.
- Mit der Positionierung der Maschine (Abb. 11), Bohrkopf an der Rückwand der Abbaukammer, konnte der Vortrieb sofort beginnen.



Abb. 11 Maschine: Startbereit im Betontopf

- Der Blindtübbling wurde vergossen, dazu war die Maschine freizufahren und der Tübblingring vorne und hinten abzuschalen. Jetzt schon konnten 50 % der erforderlichen Vortriebskräfte des Regelvortriebes über eine starre Verbindung in den Betontopf eingeleitet werden (Abb. 12 und 13).
- Die Maschine durchfuhr die unbewehrte Arbeitskammer und den verdämmten Bereich der Arbeitskammer. Durch die kontinuierliche Verpressung der Blindtübbinge war kontinuierlich eine höhere Vortriebskraft möglich (Abb. 12). Auch noch höhere Kräfte wären bei entsprechender Festigkeitsentwicklung des Verpressmörtels möglich gewesen. Im vorliegenden Fall war dies aber nicht erforderlich (Abb. 13), so dass die Baustelle den Fokus auf die bessere Verarbeitbarkeit des Mörtels legen konnte. Bei der Bemessung war neben den über Schub in den Betontopf eingeleiteten Kräften auch immer die Standsicherheit des Betontopfes selbst nachzuweisen.

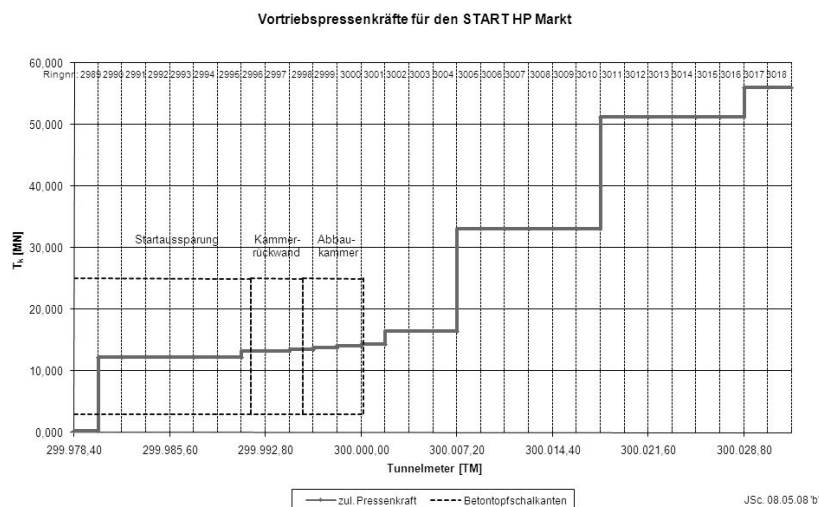


Abb. 12 Betontopf in der Startsituation: Aufnehmbare Vortriebskräfte

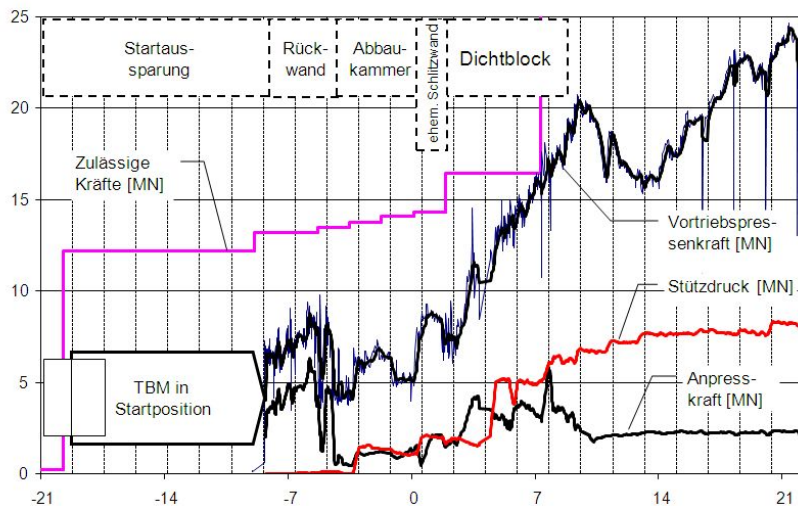


Abb. 13 Vortriebskräfte: Start – IST-SOLL-Vergleich

- Nach dem Durchfahren der Arbeitskammer war der volle Stützdruck gegen den anstehenden Wasserdruck aufzubringen, denn der DSV-Körper war als vollständig wasserdurchlässig zu betrachten. In der Bemessung des Stützdruckes wurde auf der sicheren Seite auch keine Reduktion des Erddruckes vorgenommen.
- Schon beim Durchfahren des DSV – Blockes begann der Regelvortrieb. Erst als der erste Tübbingring in der Schlitzwand verpresst war, waren die Blindringe für die Dichtigkeit nicht mehr erforderlich.
- Nach ca. 50 m Vortrieb konnte die Vortriebskraft durch die Ringspaltverpressung der Tübbinge aufgenommen werden. Der Abbruch des Betontopfes wurde – entsprechend der Abläufe des Vortriebes – später durchgeführt.

5. Zusammenfassung

In den beengten Platzverhältnissen des städtischen Tunnelbaus sind oftmals keine außenliegenden Dichtblöcke ausführbar. Brillendichtungssysteme können mangels Prüfung und Zulassung keine zuverlässige Dichtung bilden [3]. Aus diesen Randbedingungen entstand beim City-Tunnel Leipzig Haltepunkt Markt die Innovation „Innenliegender Dichtblock als Betontopf“ [1].

Neben den Sicherheitserfordernissen einer in allen Phasen redundanten Abdichtung der Schildmaschine zum Bahnhof erfüllt der Betontopf weitere Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Bauweise:

- Weitgehend unabhängige Vorbereitung von Start und Ziel des Vortriebs, dadurch parallele Arbeitsphasen möglich und Reduzierung der Gesamtbauzeit
- Ersparnis der Stahlabstützungen
- Verzicht auf außenliegenden Dichtblock vollständig möglich
- Hohe Vortriebskräfte und genaue Steuerung mit der Steuerungseinrichtung der Maschine – ohne weitere Zusatzmaßnahmen - sofort mit dem Start des Vortriebes