

Risikofaktor Baugrund im maschinellen Tunnelbau – Untersuchungen von Schadensfällen während der Bauausführung

Sebastian Bien B.Eng., Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Krajewski
Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt

Zusammenfassung

Der Tunnelbau ist einer der faszinierendsten Bereiche des Bauingenieurwesens. In zahlreichen Publikationen findet sich die Darstellung erfolgreich ausgeführter Tunnelbauprojekte. Dagegen finden sich zu Schadensfällen im Tunnelbau nur relativ wenige Stellen in der Literatur. Die ist aus menschlicher Sicht nur allzu verständlich, denn wer schreibt gerne über negative Erfahrungen. Doch wie das Sprichwort „Aus Schaden wird man klug“ deutlich macht, sind es gerade die Schadensfälle im Tunnelbau, aus denen sich neue Erkenntnisse ableiten lassen und die zum Beispiel zur Verbesserung von Tunnelvortriebsverfahren führen können. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden die Schadensfälle, bei denen der Baugrund einen wesentlichen Faktor darstellte, analysiert und bewertet. Weiterhin werden die Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Begrenzung der Schäden herausgestellt und untersucht.

1. Einführung

Der maschinelle Tunnelbau hat aufgrund zahlreicher Innovationen und einer Vielzahl von erfolgreichen Projektabschlüssen eine zunehmende Bedeutung für die Projektrealisierung in der Bauindustrie gewonnen. Doch noch immer stellt der Tunnelbau einen der teuersten und komplexesten Aufgabenbereiche des Bauingenieurwesens dar. Bei der Herstellung von Tunnelbauwerken birgt insbesondere der Baugrund ein sehr großes Risiko. Schadensfälle sind in der Regel mit hohem Aufwand und hohen Kosten verbunden.

An der Hochschule Darmstadt wurden verschiedene Tunnelbauprojekte, bei denen es während der Bauausführung zu Schadensfällen im maschinellen Tunnelvortrieb gekommen ist, untersucht. Dabei wird als Schadensfall ein Zustand definiert, bei dem der Tunnelvortrieb aufgrund äußerer Einwirkungen temporär zum Erliegen kommt. Insbesondere wurden Projekte analysiert, bei denen der Baugrund einen wesentlichen Faktor für den Schadensfall darstellte. Hierzu konnten insgesamt 67 internationale Tunnelbauprojekte, bei denen es zu Schadensfällen während der Bauausführung im maschinellen Tunnelbau gekommen ist und der Baugrund einen wesentlichen Faktor für den Schadensfall darstellte, analysiert werden (vgl. [1]). Als Quellen wurden für die Recherche Gutachten, Dissertationen, Veröffentlichungen, Vorträge sowie die Informationen von den direkt beteiligten Unternehmen herangezogen. Im Rahmen des folgenden Beitrages werden die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Untersuchungen zusammenfassend vorgestellt und erläutert.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Schadensursachen vielfältig und in der Regel projektspezifisch sind.

Dennoch zeigt die Analyse, dass die Ursachen häufig Parallelen aufweisen.

Das Zustandekommen von Schadensfällen im Tunnelbau kann komplexe Ursachen haben. Besondere geologische und hydrologische Verhältnisse, aber auch menschliches Versagen oder Fehler bei der Bauausführung sind als Ursachen zu benennen. Häufig führt erst eine Verknüpfung mehrerer Ursachen zum Schaden.

2. Analyse der Schadensfälle

Bei der Analyse der Schadensfälle wurde unterschieden zwischen Schadensfällen im Lockergestein und Schadensfällen im Festgestein. Insgesamt sind 61% der recherchierten Schadensfälle (41 Projekte) bei einem Vortrieb im Lockergestein aufgetreten, während 26 Projekte (39%) im Festgestein vorgetrieben wurden (Abb. 1).

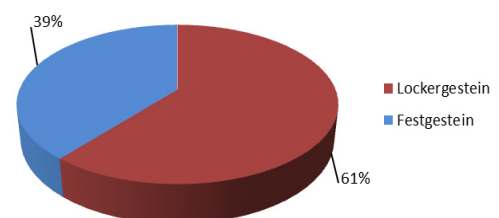


Abb. 1: Kategorisierung der Projekte hinsichtlich Locker- / Festgestein

Zu den hauptsächlichen Schadensbildern bei maschinellen Tunnelvortrieben im Lockergestein zählten Tagbrüche, Lockergesteinsmaterialeinbrüche sowie zu große Oberflächensetzungen. Bei Vortrieben im Festgestein traten vergleichsweise häufig blockige Nieder-

brüche, Wassereintritte, Nachbrüche, Bergschläge oder sehr große Konvergenzen ein. Größere Verbrüche haben sich in der Regel durch kleinere Verbrüche angekündigt und wurden häufig von Nachbrüchen begleitet. Durch das Eintreten von größeren Verbrüchen kam es zu erheblichen Vortriebsbehinderungen. Beim Gotthard-Basistunnel trat im Los Faido eine Vortriebsbehinderung von 27 Monaten auf (vgl. [2] und Abb. 2).



Abb. 2: Niederbrüche über der Ortsbrust beim Vortrieb Gotthard-Basistunnel (Los Faido) (vgl. [3])

Die Anzahl der Schadensfälle nimmt erwartungsgemäß mit der Größe des Ausbruchsquerschnittes zu. Insbesondere nehmen das Risiko einer Instabilität der Ortsbrust sowie das Ausmaß der Verbrüche zu (Abb. 3). Der maximale Tunneldurchmesser bei den untersuchten Projekten betrug 13,4 m. Bei größeren Durchmessern führten mehrheitlich Tagbrüche, Niederbrüche sowie Wassereintritte zu einer Behinderung des Tunnelvortriebs.

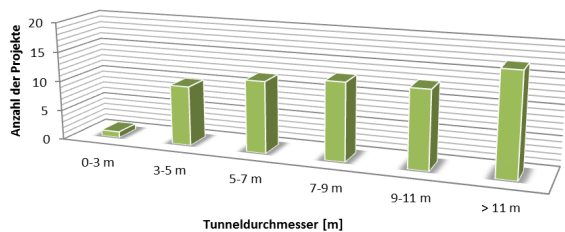


Abb. 3: Anzahl der Schadensfälle in Abhängigkeit vom Tunneldurchmesser

In der Abbildung 4 ist die Anzahl der Schadensfälle in Abhängigkeit von der Höhe der Firstüberdeckung dargestellt. Bei den dokumentierten Projekten lagen die Überdeckungen zwischen 1 m und ca. 2.500 m. Bei Vortrieben im Lockergestein mit Überdeckungshöhen unter 30 m ist die Anzahl der Schadensfälle erwartungsgemäß größer als bei Vortrieben mit größeren Überdeckungshöhen. Als besonders problematisch ist der Tunnelvortrieb im Lockergestein bei geringer Überdeckung einzustufen. Die Erosion des Bodenmaterials infolge des an der Ortsbrust auftretenden hydraulischen Gradienten verstärkt häufig das Ausmaß des Schadensfalles. Im Festgestein hingegen gestalteten sich nach der Auswertung der recherchierten Projekte Vortriebe mit hohen Überdeckungen von mehr als

100 m als schwierig. Besonders die hohen Gebirgsdrücke und die daraus resultierenden Konvergenzen erschweren den Tunnelvortrieb im Festgestein. Große Konvergenzen verursachten in den untersuchten Projekten ein Verklemmen der TBM sowie große Deformationen der Tunnelauskleidung. Häufig konnte der Vortrieb erst nach aufwendigen Maßnahmen fortgesetzt werden. Beim Bau des Gotthard-Basistunnels wurde z. B. im Rahmen der Befreiung einer festgefahrenen TBM im Los Amsteg ein Stollen aus der benachbarten Ost-röhre vorgetrieben (vgl. [3]).

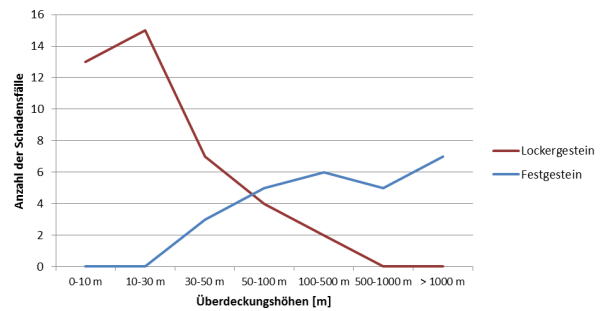


Abb. 4: Anzahl der Schadensfälle in Abhängigkeit von Überdeckungshöhe

Die Länge der Tunneltrasse hat nach der Analyse der recherchierten Projekte keine signifikante Auswirkung auf die Anzahl der Schadensfälle (Abb. 5). Die Längen der einzelnen recherchierten Tunnelbauprojekte reichten von weniger als 800 m bis hin zu einer Gesamtprojektlänge von über 100 km.

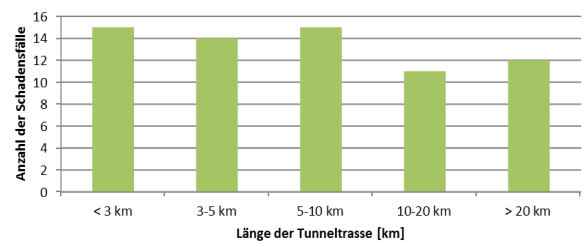


Abb. 5: Anzahl der Schadensfälle in Abhängigkeit von der Tunneltrasse

Weiterhin wurde analysiert, welcher Vortriebsmaschinentyp bei den Schadensfällen zum Einsatz kam. Die Grafik in Abbildung 6 zeigt, dass Zwischenfälle bevorzugt beim Einsatz von Gripper-Maschinen im Festgestein und Erddruck- und Mixschildmaschinen im Lockergestein auftraten. Hieraus können jedoch keine Rückschlüsse auf besondere Risiken beim Einsatz dieser Maschinentypen geschlossen werden. Vielmehr spiegelt die Grafik eher die Bedeutung und die Anzahl der Maschineneinsätze in der Praxis wider.

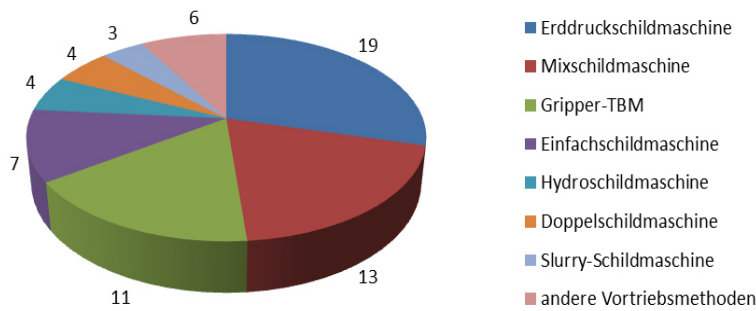


Abb. 6: Eingesetzter Vortriebsmaschinentyp (Anzahl) (vgl. [1])

In der Abbildung 7 sind die unterschiedlichen aufgetretenen Verbruchsituationen dargestellt. Die meisten, der recherchierten Schadensfälle sind auf Wassereinbrüche zurückzuführen. Bei insgesamt 34 Projekten war es beim Vortrieb in wasserführenden Schichten zu erheblichen Wassereinbrüchen gekommen. Besonders hoch ist die Gefahr eines Wassereinbruches beim Auffahren von wasserführendem Karst und Festgestein mit Störungszonen.

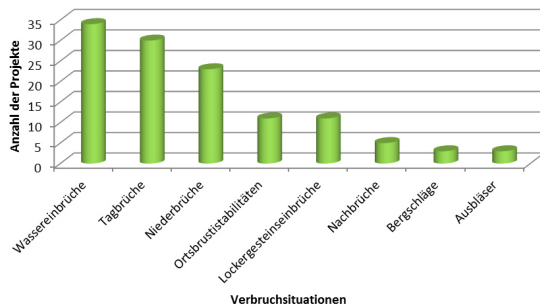


Abb. 7: Quantitative Auswertung der Verbruchsituationen

Bei 29 Tunnelbauprojekten kam es zu einem oder mehreren Tagbrüchen. Als Tagbruch wird ein Verbruch definiert, der bis an die Geländeoberkante durchbricht. Typisch für einen Tagbruch ist die Bildung eines Einsturztrichters („Pinge“). Da Tagbrüche im Lockergestein in der Regel plötzlich und unerwartet auftreten, können diese Verbrüche sehr große Schäden hervorrufen.



Abb. 8: Tagbruch in urbanem Gebiet (München-Trudering, U-Bahn - 1994) (vgl. [4])

Als besonders kritisch sind Tagbrüche im bebauten Gebiet einzuordnen. Insgesamt ereigneten sich 40% (27 Projekte) der analysierten Schadensfälle im bebauten Gebiet, d.h. im urbanen Umfeld. Zu den häufigsten Schadensfällen im bebauten Gebiet zählen Tagbrüche (vgl. auch Abb. 8), zu große Oberflächensetzungen und Ausbläser. Aufgrund dieses hohen Gefährdungspotentials sollte bereits bei der geologischen Erkundung den Baugrundverbesserungs- und Sicherungsmaßnahmen eine enorme Bedeutung zugesprochen werden.

Im Festgestein dominieren Niederbrüche (23 Projekte, vgl. Abb. 7). Im Unterschied zu Tagbrüchen stellen Niederbrüche Verbruchsituationen dar, die nicht von außen sichtbar sind. Niederbrüche ereignen sich ausschließlich im Inneren des Gebirges und sind auf eine Entfestigung des Gebirges im Bereich des Vortriebs zurückzuführen. Die Auswertung der Schadensfälle zeigt, dass hauptsächlich Felsformationen im kristallinen Gebirge mit ausgeprägter Klüftung anfällig für Niederbrüche sind.

Die Instabilität der Ortsbrust führte in insgesamt elf Projekten (Abb. 7) zu Verbruchsituationen. Diese traten insbesondere bei Diskontinuitäten und plötzlichen Formationsübergängen oder Verwerfungen im Baugrund auf.

Lockergesteinsmaterialeinbrüche (elf Projekte) sind auf Massebewegungen im Lockergestein zurückzuführen, die im Zusammenhang mit einer Auflockerung bzw. Entfestigung des Baugrunds infolge des Tunnelvortriebs entstehen bzw. verstärkt werden. Besonders kritisch stellten sich Lockergesteinsmaterialeinbrüche bei der Präsenz von Wasser im Baugrund dar. Die Folgen waren das Verklemmen der Vortriebsmaschine sowie unzulässige Verformungen im Baugrund oder Setzungen an der Oberfläche.

Nachbrüche (vier Projekte) und Bergschläge (drei Projekte) im Festgestein sowie Ausbläser bei Druckluftvortrieben (drei Projekte, vgl. Abb. 7) im Lockergestein zählen ferner zu den Schadenscharakteristiken. Als Nachbruch wird eine Gesteinsablösung an den freien Stellen eines bereits aufgefahrenen Hohlraums verstanden. Besonders beim Einsatz einer Gripper-TBM bereiteten Nachbrüche Probleme.

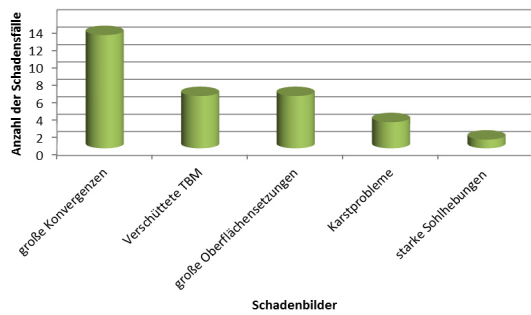


Abb. 9: Sonstige Schadensbilder

Die Abbildung 9 zeigt, dass Tunnelvortriebe im druckhaften Gebirge in der Praxis nach wie vor problembehaftet sind. Das Gebirge zeigt in diesen Fällen nach dem Ausbruch eines Hohlraums die Tendenz, den gerade aufgefahrenen Hohlraum aufgrund der hohen Drücke wieder zu schließen. Die hervorgerufenen Konvergenzen erschweren den maschinellen Vortrieb und verursachen Deformationen des bereits fertiggestellten Tunnelausbaus (z.B. der Tübbinge).

Bei sechs Projekten fielen Niederbrüche, Konvergenzen, Lockergesteinsmaterialeinbrüche, etc. jedoch so stark aus, dass die Vortriebsmaschine verschüttet wurde (Abb. 9).

Weiterhin kam es bei sechs Projekten zu großen Oberflächensetzungen im bebauten Gebiet (vgl. Abb. 9). Vereinzelt waren die Setzungen so groß, dass Risse und Schäden an der Bebauung festgestellt wurden (vgl. [5]). Aus geologischer Sicht stellten Karstprobleme bei drei Projekten die Ursache für den Eintritt von Schadensfällen dar (Abb. 9).

2. Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Begrenzung der Schäden

Neben der Analyse der Schadensbilder wurden auch die durchgeführten Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Begrenzung der Schäden untersucht. Wie in Abbildung 10 deutlich wird, wurde in insgesamt 34 Projekten Injektionen ausgeführt, um den Baugrund abzudichten oder zu verfestigen. Die Injektionen wurden in der Regel aus dem Bohrkopf oder dem rückwertigen Bereich der Vortriebsmaschine vorgenommen. Hauptsächlich wurden Injektionen jedoch zur Kontrolle und Beherrschung des Grundwassers verwendet (Reduktion strömender Sickerwässer, Absenken des GW-Spiegels, etc.). Die Verbesserung der Gebirgsverhältnisse war häufig nur ein Nebeneffekt einer Injektion (vgl. [6]).

Um das Bergwasser zu beherrschen, wurden außer Injektionen und Baugrundkonditionierungen in 21 Projekten weitere Maßnahmen zur Wasserhaltung ergriffen. Dazu zählten u. a. Grundwasserabsenkungen, Drainage- und Entwässerungstollen, Bohrlochdrainagen usw..

In 23 Projekten wurden Modifikationen an der Vortriebsmaschine vorgenommen, d.h. die für bestimmte geologische Gegebenheiten entwickelte Vortriebsmaschine wurde im Vortriebsverlauf auf veränderte geologische Verhältnisse angepasst. Zu den angewandten Modifikationen zählten u. a. ein neues Schneidradkonzept, der Einbau eines neuen Spül- und Förderkreislaufes, Maßnahmen gegen das Verkleben des Schneidrades (z. B. Rotation in beide Richtungen usw.), Einsatz einer wahlweisen Bodenconditionierung (Schaum, Wasser, Bentonit, usw.) sowie die Regulierung des Drehmomentes und der Vorschubkraft.

Bei Eintritt eines Tagbruches oder starken Setzungen des Baugrunds an der Oberfläche wurden in der Regel als Sofortmaßnahme großflächige Sicherungen an der Oberfläche durchgeführt. Dazu wurden Absperrungen und Evakuierungen sowie die Sicherung und Abstützung der gefährdeten Gebäude notwendig. Auch eine Stabilisierung und Verfüllung des Tagbruches war erforderlich. Die analysierten Tagbrüche wurden hauptsächlich mit Beton, Bodenmaterial, Mörtel oder Sand verfüllt (21 Projekte, vgl. Abb. 10).

Da es im Zuge des Tunnelvortriebs immer wieder zu Beschädigungen der Tunnelröhre gekommen war, wurden in 21 Projekten Nachprofilierungsarbeiten durchgeführt. Dabei wurden u. a. durch Bergschläge oder Nachbrüche entstandene Hohlräume verfüllt oder beschädigte Tübbinge ausgetauscht.

Der Abbildung 10 ist zu entnehmen, dass in 16 Projekten zusätzliche Felssicherungsmaßnahmen zur Ertüchtigung des nicht ausreichend standsicheren Gebirges ausgeführt wurden. Als Sicherungselemente dienten u. a. Anker, Spritzbeton, Bögen, Netze, Abstützungen oder ein Tübbingausbau.

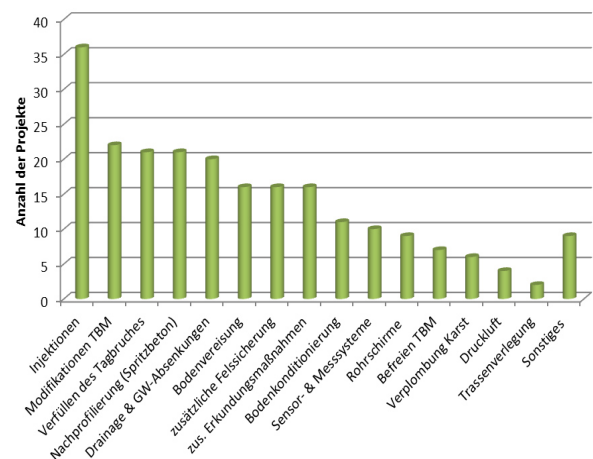


Abb. 10: Durchgeführte Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Begrenzung der Schäden (vgl. [1])

Als Maßnahmen zur Vermeidung von weiteren Schadensfällen wurden zusätzliche Erkundungsmaßnahmen (16 Projekte) durchgeführt sowie zusätzliche Sensor- und Messsysteme (10 Projekte) eingesetzt.



Abb. 11: Überfirstungsarbeiten zur Befreiung der TBM Gabi II im Gotthard-Basistunnel (Los Bodio) (vgl. [7])

Bei sieben Projekten, bei denen die Vortriebsmaschine verschüttet oder verklemmt wurde, erfolgte ein „Befreien“ durch geeignete Gegenmaßnahmen (u. a. Gegenvortrieb oder Überfirstung, vgl. Abb. 11).

Aufgrund extrem ungünstiger geologischer und hydrogeologischer Gegebenheiten musste die Tunneltrasse bei zwei recherchierten Projekten nach Vortriebsbeginn noch verlegt werden, da ein sicherer und wirtschaftlicher Vortrieb auf der ursprünglichen Trasse nicht möglich schien.

In Abbildung 10 wurden unter dem Punkt „Sonstiges“ u.a. folgende Maßnahmen zusammengefasst: Zusätzliche Nachverpressung des Ringspaltes, Tauchereinsätze sowie die manuelle Bergung von Findlingen an der Ortsbrust.

3. Fazit

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass die Schadensfälle im maschinellen Tunnelvortrieb zum großen Teil auf geotechnische Randbedingungen zurückzuführen sind, die entweder in der Planung nicht bekannt waren bzw. die bei der Planung und Konzipierung des Maschinenvortriebs nicht umfänglich berücksichtigt wurden.

Grundsätzlich sind die Schadensursachen in den Literaturquellen selten präzise beschrieben, aber es wird deutlich, dass das Zusammenspiel unterschiedlicher geotechnischer Rahmenbedingungen einen hohen Einfluss auf das Risiko eines Schadensfalls hat.

Während im Festgestein eine ausführliche geologische Erkundung häufig aufgrund der hohen Überdeckungshöhen und der damit einhergehenden logistischen Anforderungen nicht realisierbar ist und somit nur eine stichpunktartige Information darstellt, sind Erkundun-

gen im Lockergestein i. A. bei entsprechendem Aufwand in der notwendigen Untersuchungsdichte technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar. Es wurde dennoch offensichtlich, dass die Erkundung bei verschiedenen Projekten nicht ausreichend war. Bei insgesamt 39 Projekten (ca. 60% der recherchierten Projekte) sind die Ursachen für das Eintreten des Schadensfalls auf eine unzureichende Erkundung zurückzuführen (vgl. [1]). Da heute aber häufig aufgrund terminlicher und wirtschaftlicher Faktoren bereits während der Erkundungsphase mit den Vortriebsarbeiten begonnen wird, ist eine optimale Anpassung der Vortriebstechnik an die geotechnischen Rahmenbedingungen oft nicht möglich.

Beim Tunnelvortrieb der Metro Line C in Rom (2008-2011) wurden u.a. Bauwerke von großer historischer Bedeutung unterquert. Daher entschieden sich die Planer vor Vortriebsbeginn spezielle Studien und Analysen der Risiken zum Schutz der archäologischen Güter durchzuführen. Diese aufwändigen Erkundungs- und Sicherungsmaßnahmen garantierten den erfolgreichen Tunnelvortrieb. Daher sollte zukünftig auch bei ähnlichen innerstädtischen Projekten ein ähnliches Programm angestrebt werden.

Damit wird die bekannte „Binsenweisheit“ bestätigt, dass eine vollständige und hochwertige geotechnische Erkundung zwingend für einen sicheren und wirtschaftlich erfolgreichen maschinellen Tunnelvortrieb erforderlich ist. Während der Bauausführung ist es zur Vermeidung von Schadensfällen wichtig, frühzeitig auf Anzeichen für mögliche Verbrüche zu reagieren. Von Vorteil ist es, während der Bauausführung die Möglichkeiten zur Vorauserkundung anzuwenden. Hier stehen im maschinellen Tunnelbau innovative Verfahren zur vortriebsbegleitenden Erkundung wie z.B. TSP, ISIS, SSP, usw. vgl. [8]) zur Verfügung.

Im Festgestein ist der Umfang der vortriebsbegleitenden Erkundung bei Vortrieben in schwierigen geologischen Gebieten zu erhöhen. Als Beispiel dient hier der Vortrieb des Dul Hasti HEP Tunnels in Indien (vgl. [9]). Das tektonisch stark beanspruchte Himalaya-Gebirge (Faltungen, Scherzonen, hohe Überlagerungen, intensive Kompression und Wasserzuflüsse) stellte die Tunnelbauer vor große Probleme. Das zerklüftete und stark druckhafte Gebirge rief in Verbindung mit extremen Wasserzuflüssen (bis zu 60 m³/min) immer wieder Niederbrüche im Firstbereich sowie Deformationen der Tunnelstruktur hervor, letztendlich musste aufgrund des enormen Ausmaßes der Schadensfälle eine Tunnelvortriebsmaschine aufgegeben werden. Abhilfe schufen erst weiterführende umfangreiche geologische Erkundungen inklusive einer Identifikation und Bewertung aller Risiken. Trotz der aufwendigen Maßnahmen musste die Tunneltrasse verlegt werden. Mit einem Erkundungsprogramm wie z.B. TSP oder ISIS, welches dem heutigen Stand der Technik entspricht, wäre ein

wirtschaftlicherer Vortrieb oder ein Vortrieb des Dul Hasti HEP Tunnels mit einem geringeren Ausmaß der Schadensfälle wahrscheinlich möglich gewesen.

Als kritisch gelten im maschinellen Tunnelbau auch plötzliche und unvorhersehbare Formationsübergänge sowie schwierige geologische und anisotrope Verhältnisse des anstehenden Baugrunds (vgl. Abb. 12). Die Tunnelvortriebsmaschinen sind i.d.R. speziell auf einen definierten Baugrund abgestimmt, um dort die wirtschaftlichsten und besten Vortriebsleistungen garantieren zu können. Kommt es bei Formationsübergängen zu signifikanten Veränderungen der Charakteristik des anstehenden Baugrunds, so sind zwingend Modifikationen an der Tunnelvortriebsmaschine zur Anpassung an die veränderten Verhältnisse vonnöten. Besonders bei Vortrieben im heterogenen Baugrund ist daher eine perfekte interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen planenden und ausführenden Unternehmen erforderlich. Die Wahl der Tunnelvortriebsmaschine ist in Abstimmung auf die Ergebnisse der Erkundung zu treffen.

Nicht nur eine unzureichende Erkundung, sondern auch die Wahl eines falschen Maßnahmenkonzeptes zur Behebung der Schadensfälle zählt zu den hauptsächlichen Schadensursachen. Beim Vortrieb des Neuen Schlichterner Tunnels stieß man auf unerwartet hohe Wasservorkommen (prognostiziert wurden 2 l/s, tatsächlich kamen jedoch 8 l/s (vgl. [10])). Des Weiteren stellte sich bei weiteren hydrogeologischen Erkundungen des Baugrunds heraus, dass der Grundwasserspiegel fast bis zum Gelände reichte. Infolge des Abpumpens des Grundwassers kam es zu starken Setzungen an der Oberfläche. Dabei wurde unter anderem die Fahrbahn einer Autobahn stark beschädigt. Eine umfangreichere Erkundung zum Thema Grundwasser und ein auf deren Ergebnisse abgestimmter Maßnahmenkatalog wären nach vorliegender Auswertung deutlich schadensmindernd gewesen.

Ein großes Gefährdungspotenzial birgt auch die Unterfahung von Gewässern und Meerpassagen. Häufig wurden die hydrostatischen Drücke als zu gering eingeschätzt oder die Maschinenteknik falsch auf die Bedingungen abgestimmt. In 13 Projekten zwangen starke und zum Teil unkontrollierte Wassereinbrüche sowie Ausbläser die Tunnelbauer zum Stillstand des Vortriebs (vgl. [1]). Beim Vortrieb der vierten Elbröhre in Hamburg (1995-2000) wurden häufig Interventionen aufgrund des abrasiven Bodens und des daraus resultierenden Verschleißes der Abbauwerkzeuge erforderlich. Gleichzeitig begünstigte eine falsche Anpassung der Maschinenteknik (zu großes Drehmoment) das Entstehen eines Ausbläfers und der Instabilität der Ortsbrust. (vgl. [11]).

In der Abbildung 12 sind die maßgeblichen Ursachen aufgelistet, deren Existenz einen Schadensfall im maschinellen Tunnelbau hervorgerufen hat. Wie zuvor

bereits beschrieben, wird deutlich, dass ein Großteil der Schadensfälle auf eine unzureichende Erkundung zurückzuführen ist. In geotechnischer Hinsicht bereiten besonders Vortriebe in heterogener Geologie und Bereichen mit stark ausgeprägten geologischen Störungen (z.B. tektonische Verschiebungen, geringe Standzeiten, gescherte Zonen, stark quellfähiges Gebirge etc.) große Probleme.

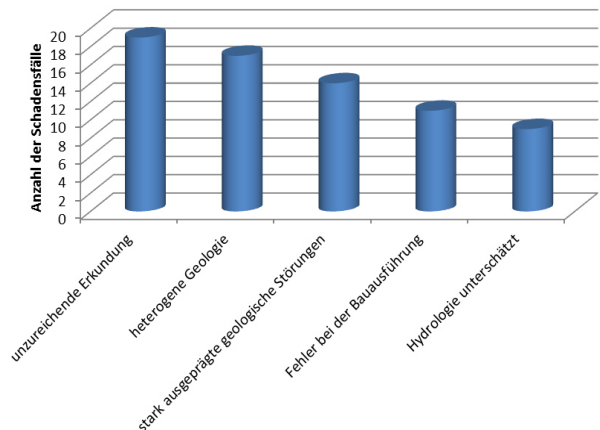


Abb.12: Maßgebliche Schadensursachen, die letztendlich zum Schadensfall geführt haben

Erstaunlich ist dagegen, dass neun Schadensfälle allein auf Fehler in der Bauausführung zurückzuführen sind. Dazu zählten u.a. unsachgemäß erstellte Verpressblöcke und Dichtblöcke mit mangelnder Qualität, ein schadhafes Tunnelgewölbe sowie das Versagen eines Vereisungskörpers in der Tunnelfirste während des Vortriebs. Gewiss lassen sich solche Fehler trotz aller Bestrebungen in Gänze nicht vermeiden. Mit einer qualitätsgesicherten Planung und Bauvorbereitung lassen sich solche Fehler in der Bauausführung jedoch minimieren.

Im vorliegenden Beitrag kann nur ein kurzer Überblick über die umfangreichen Untersuchungen und Analysen wiedergegeben werden. Die umfangreichen Untersuchungen und Analysen sind in [1] dokumentiert. Ebenso sind in [1] Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos von Schadensfällen dargestellt.

Es ist geplant die Untersuchung der Schadensfälle fortzuführen und neue Projekte in den bestehenden Katalog zu ergänzen, um somit eine größere Datenbasis zu erhalten, um daraus weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Die Autoren haben die Hoffnung, dass die Liste der notwendigen Ergänzungen kurz bleibt.

Literatur

- [1] Bien, S.: Analyse und Bewertung von Schadensfällen während der Bauausführung im maschinellen Tunnelbau, AV Akademikerverlag, 2015

- [2] Boissannas, Y.: Gotthard-Basistunnel, Los Faido: Erfahrungen aus einem TBM-Vortrieb mit großer Überdeckung, Kolloquium ETH Zürich, 07.05.2009: Tunnelbau in druckhaften Gebirge, 2009
- [3] Ferrari, A.; Pedrazzini, S.: Experiences with TBM drives in the Gotthard BaseTunnel, Bodio section, 2008
- [4] Pfaffinger, C.: Todeskrater in Trudering: Der Tag, an dem die Erde einbrach, Abendzeitung-München, 19.09.2014
- [5] Friedemann, W.; Hillebrenner, A.; Mayer, P.-M.: Metro Amsterdam: Vortrieb eines innerstädtischen Tunnels in schwieriger Geologie und unter sensibler Bebauung, Beiträge zum 13. Geotechnik-Tag in München, Geotechnik und Aspekte des Tunnelbaus 07.03.2014, Schriftenreihe - Lehrstuhl und Prüfam für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München, Heft 57, S.91-106, 2014
- [6] Garshol, K.: Vorinjektionen im Tunnelbau – eine vernünftige Maßnahme, ETH Zürich, 2010
- [7] Wildvolz, A.: Befreiung der Tunnelbohrmaschine Gabi II in Amsteg, Tunnelbau – SchweizerBauJournal. Jahrgang 2006, Ausgabe 3, S.44-47, 2006
- [8] Schmitt, J.; Gattermann, J.; Stahlmann, J.: Hohlraumerkundung im Tunnelbau, Messen in der Geotechnik 2004, Fachseminar am 09. und 10. September 2004 in Braunschweig, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft 77, S. 173-200, 2004
- [9] Barton, N.: TBM Tunnelling in joint and faulted rock. A.A.Balkema, Rotterdam, 2000
- [10] Andersson, J.: "Neue Panne im Bahntunnel - Schlüchtern", in: <http://www.fr-online.de/hanau-und-main-kinzig/schluechtern-neue-panne-im-bahntunnel,1472866,2879688.html> [11. März 2010], zuletzt geprüft: 12. November 2015, 10:45.
- [11] Holzhäuser, J; Mayer, C; Hunt, S.W.: Erfahrungen bei Tunnelvortrieben im Lockergestein und im Fels bei sehr hohem Grundwasserdruck. 2007

Autoren:

Sebastian Bien, B.Eng., Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt,
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Krajewski

Hochschule Darmstadt

Haardtring 100

64295 Darmstadt

E-Mail: sebastian.bien@stud.h-da.de

juergen.schmitt@h-da.de

wolfgang.krajewski@h-da.de