Kostenplanung im Ingenieurtief- und Tunnelbau

Ermittlung der Rohbaukosten für Tunnelprojekte

Von Eckart Schneider und Thomas Mathoi

Kostenprognosen sind eine wichtige Grundlage für Entscheidungsprozesse. Abweichungen von der Prognose sind, weil systemimmanent, mehr oder weniger untrennbar mit jeder Bautätigkeit verbunden. Überschreitungen sind für die Medien meist ein gefundenes Fressen und werden weidlich ausgeschlachtet. Unterschreitungen der Kostenprognose, die zwar selten aber doch gelegentlich vorkommen, werden hingegen kaum thematisiert. In der Öffentlichkeit herrscht Skepsis bezüglich der Zuverlässigkeit der Kostenprognosen für große Infrastrukturbauten. Diese Haltung ist zwar verständlich, man sollte jedoch bedenken, dass es in anderen Bereichen – z.B. Anfang der 1980-er Jahre beim Bau des AKH in Wien – Kostenüberschreitungen in einem Ausmaß gab, wie sie in den letzten 50 Jahren bei keinem Infrastrukturprojekt in Österreich aufgetreten sind.

Grund für das öffentliche Misstrauen mag die Erinnerung an die massiven Kostenüberschreitungen beim Bau des Gotthard Eisenbahntunnels im 19. Jahrhundert oder die mediale Aufregung über die für die NEAT-Strecken in der Schweiz erforderlichen Nachtragskredite sein. Aufsehen erregten in den vergangenen 10 Jahren auch die Mehrkosten bei der Errichtung von Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn. Dort wurden in Zusammenhang mit der Anwendung neuer Vertragsmodelle Hoffnungen auf Kostensicherheit geweckt, die sich nicht erfüllen ließen.

Cost planning for civil engineering and tunnelling works

Cost estimates are an important basis for decision-making. Their accuracy and comparability is not always satisfactory. For tunneling projects with their high potential of risk it is of particular interest to anticipate possible variations from the expected costs.

Starting from the principles outlined in the new Austrian guideline on cost estimation for traffic projects the article focuses on the methods of cost estimation for tunneling projects. After describing the various methods the authors give valuable hints for their application and explain the specific features in estimating the cost of excavation, support and lining.

Special emphasis is put on the structuring of cost estimations for an integrated comparability during several project-phases. Comparisons of costs between alternative solutions are only possible if costs are estimated by using the same methods. The authors recommend to calculate direct and indirect costs separately already at early stages of the project.

Advice is also given on how to vary input parameters in a reasonable way and how to display them in utilizing fuzzy-sets.

In the paper the influence of the inflation and the provisions for unforeseen and unknown costs are only briefly touched because they are dealt with in detail in the guideline.

Kostenprognosen sind eine wichtige Grundlage für Entscheidungsprozesse. Die Treffsicherheit und Vergleichbarkeit der zu Grunde liegenden Kostenermittlungen lässt manchmal zu wünschen übrig. Für den Tunnelbau, der mit einem höheren Risiko behaftet ist als andere Bauprojekte, ist zudem die Abschätzung der möglichen Abweichungen vom wahrscheinlichen (Median-) Wert von Interesse.

Aufbauend auf der im Oktober 2005 erschienen Richtlinie der ÖGG (Österreichische Gesellschaft für Geomechanik) *„Richtlinie zur Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung der Projektrisiken“* liegt der Schwerpunkt des vorliegenden Beitrages in der Darstellung der Methoden zur Ermittlung der Rohbaukosten für Tunnelprojekte. Beschrieben werden die Kennwertmethode, die Leistungsgruppen- bzw. die Leistungspositionsmethode und die Kalkulationsmethode. Es werden Hinweise zur Anwendung der einzelnen Methoden gegeben und die Besonderheiten bei der Ermittlung der Kosten für Ausbruch- und Stützmaßnahmen sowie für die Innenschale skizziert.

Um eine durchgängige Vergleichbarkeit der Kostenermittlungen über die verschiedenen Projektphasen und zwischen unterschiedlichen Projekten zu erreichen, ist dem Aufbau der Kostenermittlung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Aussagekräftige Kostenvergleiche sind nur möglich, wenn die Kosten für unterschiedliche Varianten nach der gleichen Methode berechnet werden. Es wird empfohlen, schon in frühen Projektphasen die Baustellengemeinkosten und die Einzelkosten getrennt zu ermitteln.

Abschließend werden Hinweise für eine sinnvolle Variation der Eingangswerte und eine Empfehlung zur Darstellung der Unschärfe mittels Dreieckszahlen (Fuzzy-sets) gegeben.

Auf die Ansätze für Preissteigerungen und Unvorhergesehenes wird nicht näher eingegangen, weil diese Themen in der ÖGG-Richtlinie ausführlich behandelt werden. Dasselbe gilt hinsichtlich der Methoden zur Quantifizierung der Projektrisiken.

Eine plausible Erklärung der mitunter nicht ganz unbedeutenden Kostenabweichungen im Tunnelbau liefert G. Lombardi. In einem Vortrag, den er anlässlich der Generalversammlung der Fachgruppe Untertagebau der SIA am 14. Mai 2004 in Zürich gehalten hat [1], geht er mit der Gelassenheit und Souveränität, die nur einem erfahrenen Ingenieur zur Verfügung steht, der schwierigste technische Aufgaben mit ökonomischem Augenmaß gelöst hat - man denke nur an die Sanierung der Kölnbrein-Sperre, die nach seinen Vorschlägen und Berechnungen durchgeführt wurde - an das Thema heran. Er kommt zum nicht ganz unerwarteten Schluss, dass *„zwischen der Kostenschätzung vor Baubeginn und dem endabgerechneten Preis des Bauwerks in der Regel Abweichungen festzustellen sind, die nicht allzu sehr überraschen sollten. Wenn man die lange Kette der mit Unsicherheiten und Streuungen behafteten Ereignisse beachtet, welche zwischen dem Anfangs- und dem Endwert liegen, sowie die in der Regel sehr großen Zeitspannen, die verstreichen, sieht man das Problem ein.“*

Von besonderer Bedeutung ist das Thema Kostensicherheit für die Realisierung von PPP-Modellen im Verkehrswegebau. Bei solchen Projekten ist eine nach den Regeln der Technik und der Wissenschaft, d.h. auch unter Verwendung probabilistischer Ansätze und Verfahren, erstellte Kostenermittlung eine unumgängliche Voraussetzung für ein tragfähiges Finanzierungskonzept.

Die folgenden Ausführungen befassen sich primär mit den österreichischen Verhältnissen, wo die halböffentlichen Auftraggeber für Verkehrstunnelbauten aber auch die Energieversorgungsunternehmen, die (erfreulicherweise) neuerdings wieder vermehrt als Auftraggeber für Untertagebauten in Erscheinung treten, das Kostenmanagement vergleichsweise gut im Griff haben. Die vor kurzem bekannt gewordene Notwendigkeit zur Revision der Kostenschätzung für die Unterinntalstrecke der BEG ist ein Sonderfall. Der Revisionsbedarf resultiert nach Angaben der Gesellschaft aus neuen Erkenntnissen und der Einbeziehung von Auflagen aus der eisenbahnrechtlichen Genehmigung sowie dem Übergang von der Kostenschätzung zur Kostenberechnung und Abstellen der Kostenberechnung auf Endabrechnungssummen an Stelle von Angebotssummen. Zusätzlich wurden auch die Risiken aus der Sphäre des Bestellers mit einbezogen.

Im Allgemeinen werden bei öffentlichen Bauten in Österreich seriöse Kostenermittlungen durchgeführt und ein rigides Vertrags- und Kostenmanagement implementiert. Eine weitere Verbesserung der Zuverlässigkeit von Kostenprognosen wäre wahrscheinlich durch die Einholung einer second opinion oder einer Überprüfung der Kostenermittlung durch Dritte, wie sie bei Großprojekten auch in Österreich bereits fallweise – z.B. beim Koralm-Tunnel - durchgeführt wird, zu erreichen.

Normen und Regelwerke

Die ÖNORM B1801-1 *„Kostengliederung im Hoch- und Tiefbau“* [2] wird in den folgenden Ausführungen nur am Rande berücksichtigt. Ihre beschränkte Anwendbarkeit auf Projekte des Ingenieur-, Tief- und Tunnelbaus ist bekannt.

Nicht zuletzt aus diesem Grund hat die ÖGG (Österreichische Gesellschaft für Geomechanik) die Initiative zur Erstellung einer *„Richtlinie zur Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung der Projektrisiken“* ergriffen [3]. Diese Richtlinie, die im Oktober 2005 im Eigenverlag der Gesellschaft erschienen ist, hat zum Ziel, die Vorgangsweisen und Berechnungsmethoden bei der kostenmäßigen Erfassung von Infrastrukturprojekten zu vereinheitlichen. Wie im Untertitel zum Ausdruck gebracht wird, soll dies unter Berücksichtigung der relevanten Projektrisiken erfolgen.

Die folgenden Ausführungen behandeln die Kosten aus der Sicht des Errichters (z.B. ÖBB Infrastrukturbau AG) und Bestellers (z.B. BMVIT) von Infrastrukturprojekten. Nicht eingegangen wird auf die Belange der ausführenden Firmen und der Betreiber. Die Leistungs- und Kostenansätze sowie Risikozuschläge der bauausführenden Firmen sind also nicht Gegenstand der nachfolgenden Betrachtungen.

Begriffe

Grundsätzlich muss zwischen Kostenplanung, Kostenkontrolle und Kostensteuerung unterschieden werden. Diese Begriffe werden aufbauend auf die Ö-Norm B 1801-1 [2] bzw. die ÖGG-Richtlinie [3] definiert. Im Anschluss daran folgen die Definitionen weiterer, für die Kostenplanung wichtiger Begriffe, die weitgehend dem Handbuch der Bauwirtschaft [4] und aus [5] entnommen wurden.

Kostenplanung

Unter Kostenplanung ist die Vorausberechnung der entstehenden Kosten zu verstehen. Entsprechend dem Planungsfortschritt werden in den einzelnen Phasen der Objekterrichtung folgende Stufen der Kostenplanung unterschieden:

- Stufe 1 – Kostenrahmen (Grundlagenermittlungsphase)
- Stufe 2 – Kostenschätzung (Vorentwurfsphase)
- Stufe 3 – Kostenberechnung (Entwurfsphase)
- Stufe 4 – Kostenanschlag (Ausführungsphase)

Kostenkontrolle

Die Kostenkontrolle ist der Vergleich einer aktuellen mit einer früheren Kostenermittlung (Soll/Ist-Vergleich). Sie wird in jeder Phase der Objekterrichtung – also auch während der Planungsphasen

– durchgeführt. Die Kostenkontrolle ist nicht Gegenstand der vorliegenden Ausführungen.

Kostensteuerung

Unter Kostensteuerung versteht man das gezielte Eingreifen in die Entwicklung der Kosten, insbesondere bei Abweichungen, die durch die Kostenkontrolle festgestellt worden sind.

Plankosten

In [5] sind die Plankosten als die in der Kostenplanung ermittelten Kosten definiert, *„welche für die Kostenkontrolle einer ausführungsorientierten Kostengliederung zugeordnet werden. Die Plankosten stellen das Ergebnis eines Kostenplanungsschrittes dar und könnten auch als 'Budgetvorschlag' bezeichnet werden. Sie sind vom Auftraggeber freizugeben. Die Änderung der Plankosten (z.B. aufgrund von Umbuchungen, Projektänderungen, etc.) ist über das gesamte Projekt mitzuführen.“*

Kostenanalyse

Unter Kostenanalyse wird die Zerlegung der Kosten eines Bauwerks (nach Abschluss der Arbeiten und Prüfung der Schlussrechnung, also nach der Kostenfeststellung) in ihre einzelnen Anteile und deren Zuweisung zu Elementen verstanden.

Kostengliederung

Als Kostengliederung wird eine Ordnungsstruktur bezeichnet, die ausgehend von Kostenbereichen, entweder planungsorientiert (Grobelemente, Elemente, Elementtypen) oder ausführungsorientiert (Leistungsgruppen, Unterleistungsgruppen, Leistungspositionen) aufgebaut sein kann.

Der Aufbau von Kostengliederungen für den Ingenieurtief- und Tunnelbau ist unter „Aufbau von Kostenermittlungen“ beschrieben.

Baukostenkennwert

Ein Baukostenkennwert ist ein Wert, der das Verhältnis von Kosten zu einer Bezugseinheit (z.B. Grundflächen, Rauminhalte, Längen, Kostenbereiche, Elmente, Leistungen) darstellt. Die Arten von Baukostenkennwerten, die in der Kostenplanung von Ingenieurtief- und Tunnelbauten zur Anwendung kommen, sind unter „Methoden der Kostenermittlung und Anwendungsbereiche“ näher beschrieben.

Unternehmerkalkulation

Die Angebotskalkulation der Unternehmer dient einem anderen Zweck als die Kostenermittlung, die der Auftraggeber benötigt. Sie hat die Erlangung eines Auftrags zum Ziel. Ein solches Angebot kann Über- und Unterpreise, Spekulationen, Umlagerungen usw. enthalten. Ein Unternehmer kann unter Umständen auch mit einem gewissen Nachtragspotential rechnen, was sich in einem niedrigen Angebotspreis niederschlägt. Die Auftragssumme wird also nur in Ausnahmefällen die endabgerechneten Kosten widerspiegeln.

Kostengruppen

Darunter versteht man die Zusammenfassung von Kosten, die für gleichgerichtete Aufwendungen entstehen. Der in Österreich dafür manchmal verwendete Begriff „Kostenarten“ sollte in Zukunft vermieden werden, weil die Betriebswirtschaftslehre darunter etwas anderes versteht (Aufteilung der Kosten in Lohn, Gerät, Material etc.).

Stufen der Kostenermittlung

Kostenermittlungen werden im Allgemeinen parallel zur Projektentwicklung bzw. den Planungs- und Genehmigungsphasen durchgeführt bzw. fortgeschrieben. Für Eisenbahninfrastrukturbauten in Österreich sind nach [3] die in Bild 1 dargestellten Stufen der Kostenermittlung notwendig.

Ohne näher darauf einzugehen, ob diese große Anzahl von Stufen sinnvoll ist – sie entspricht den Vorgaben des österreichischen Gesetzgebers hinsichtlich Entwicklung und Genehmigung von Eisenbahnprojekten und sieht für Bundesstraßenprojekte im Detail zwar etwas anders aus, umfasst aber eine ähnliche Anzahl von Stufen – ist klar, dass die Kostenermittlung nicht nur einmal, z.B. am Beginn der Projektentwicklung, sondern mehrmals durchgeführt werden muss.

Selbst wenn sie zwischen einzelnen Stufen fortgeschrieben werden kann, ist wegen der zunehmenden Bearbeitungstiefe des Projekts und Detaillierung der Planung eine mehrmalige Neuberechnung erforderlich. Unvermeidlich ist eine Neuberechnung jedenfalls beim Übergang von der planungs- zur ausführungsorientierten Betrachtungsweise. Das Ziel bleibt aber immer dasselbe. Unabhängig davon, in welcher Phase sich das Projekt befindet, ist eine möglichst zutreffende

Bild 1 Stufen der Kostenermittlung nach [3] (bei Eisenbahnprojekten)

Fig. 1 *Cost Planning Stages for railroad projects [3]*

Projektphasen	Programm (Projektentwicklung)	Vorprojekt	Einreichprojekt	Genehmigung (Behördenverfahren)	Bauprojekt	Bauphase	
Aufgaben	Investitionsprogramm, Grundsatzplanung Konzept	Variantenstudien Vorprojekt Trassenauswahl Vorentwurf	UVP-Planung, Einreichplanung	§ 4-Verfahren, EB-Verfahren, Materienr. Verfahren	Ausschreibungsplanung, Vergabeverfahren	Ausführungsplanung	
Meilensteine	**Festlegung Programm**	**Trassenauswahl**	**Einreichung** (UVE, §4-Verf., EB-Verfahren)	**Bewilligung** (§4-Bescheid, EB-Bescheid; Mat.r. Bescheide)	**Ausschreibung**	**Vertragsabschluss** (Start der Bauphase)	**Baufertigstellung** (Schlussrechnung)
Stufen der Kostenermittlung	Kostenrahmen	Kostenschätzungen (KS)		Kostenberechnung	Kostenanschlag	Beginn Kostenverfolgung, periodisch	Kostenfeststellung

Prognose der endabgerechneten Baukosten anzustreben.

Wenn man nur die Stufen zwischen der groben Kostenannahme und der Kostenberechnung bzw. den Kostenanschlag betrachtet, durchläuft die Kostenermittlung bei Eisenbahnprojekten sechs Stufen. Welche Methoden der Kostenermittlung für die jeweilige Stufe sinnvoll sind und wie die Kostenermittlung gegliedert werden soll, damit zwischen den einzelnen Stufen eine möglichst große Durchgängigkeit erreicht wird und was notwendig ist, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Projekten und Bauteilen sowie zwischen der Vorbereitungs- und der Ausführungsphase zu erleichtern, wird in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

Aufbau von Kostenermittlungen

Um einen Vergleich über mehrere Projekte sowie einen einheitlichen Standard in Planung, Kontrolle und Abrechnung von Projektkosten zu gewährleisten, ist die Kostengliederung in geeigneter Weise zu strukturieren.

Die Gliederung sollte in jeder Phase eine Überführung von einer planungsorientierten in eine ausführungsorientierte Kostengliederung unterstützen.

Damit eine planungs- und ausführungsbegleitende Kostenkontrolle in einer nachvollziehbaren und gut dokumentierten Form möglich ist, ist es erforderlich, die jeweiligen Kostenermittlungsstände in den einzelnen Projektphasen festzuhalten und zu dokumentieren.

Dazu sagt [5]: *„Eine dafür geeignete Kostengliederung, die über alle Projektphasen hinweg verwendet werden kann, ist Voraussetzung. Es ist nicht erforderlich, die Kostengliederung bereits in einer frühen Projektphase auf jeder Ebene der Gliederung mit Kosten zu versehen, da hierfür wahrscheinlich noch keine geeigneten Baukostenkennwerte vorliegen. Zumindest sollte aber auf der obersten Ebene der Kostenbereiche ein Vergleich über alle Projektphasen hinweg in Verbindung mit einer grob quantitativen Dokumentation der Kostenveränderungen auch in frühen Projektphasen möglich sein.“*

Der Aufbau von Kostenermittlungen kann nicht losgelöst von der Stufe und Methode gesehen werden. In der einfachsten Form – der Kostenschätzung – gibt es nur eine einfache Gliederung. Sämtliche Kosten sind beispielsweise im Laufmeterpreis enthalten. Bei Verwendung von Grobelementen, die für die 1. Stufe der Kostenschätzung (Terminologie ÖBB-Infrastruktur BauAG) angemessen sind, wird empfohlen, das Objekt nach Leistungsgruppen (z.B. Ausbruch, Stützmittel, Innenschale, Entwässerungsarbeiten etc.) zu gliedern. Eine detaillierte Gliederung, wie sie für die Elemente und für die Positionsmethode empfohlen wird, ist für diese Stufe noch nicht erforderlich.

Ab der 2. Stufe der Kostenschätzung sollte unabhängig von der verwendeten Berechnungsmethode (Element- oder Positionsmethode) eine detailliertere Gliederung verwendet werden, die nicht nur eine Aufteilung in Gemeinkosten und Einzelkosten vorsieht, sondern auch die Leistungsgruppen noch weiter untergliedert.

Diese Unterteilung, die sich an der ÖNORM B2203-1 bzw. 2 „*Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten*“ orientieren sollte, fördert nicht nur eine genaue Ermittlung der Kosten, sondern liefert die unentbehrliche Basis für eine durchgängige Vergleichbarkeit der Kostenermittlung zwischen den nachfolgenden Stufen der Projektvorbereitung und zwischen der Planungs- und Ausführungsphase. Alternativ könnte auch die Gliederung der Standardleistungsbeschreibung für den Tunnelbau (LB-T) verwendet werden.

Ein weiterer sehr bedeutender Vorteil dieser Lösung ist die Tatsache, dass auf Grund der größeren Transparenz der Kostenermittlung vom Auftraggeber mehr Druck in Richtung einer kostenoptimierten Planung erzeugt werden kann.

Methoden der Kostenermittlung und Anwendungsbereiche

Zur Ermittlung der Kosten im Infrastrukturbau werden hauptsächlich vier Methoden verwendet

Bild 2 Methoden der Kostenermittlung [3]
Fig. 2 *Cost Planning Methods [3]*

Projektphasen	**Programm (Projektentwicklung)**	**Vorprojekt**	**Einreichprojekt**	**Genehmigung (Behördenverfahren)**	**Bauprojekt**	**Bauphase**	
Aufgaben	Investitionsprogramm, Grundsatzplanung Konzept	Variantenstudien Vorprojekt Trassenauswahl Vorentwurf	UVP-Planung, Einreichplanung	§ 4-Verfahren, EB-Verfahren, Materienr. Verfahren	Ausschreibungsplanung, Vergabeverfahren	Ausführungsplanung	
Meilensteine	**Festlegung Programm**	**Trassenauswahl**	**Einreichung** (UVE, §4-Verf., EB-Verfahren)	**Bewilligung** (§4-Bescheid, EB-Bescheid; Mat.r. Bescheide)	**Ausschreibung**	**Vertragsabschluss** (Start der Bauphase)	**Baufertigstellung** (Schlussrechnung)
Stufen der Kostenermittlung	Kostenrahmen	Kostenschätzungen (KS)		Kostenberechnung	Kostenanschlag	Beginn Kostenverfolgung, periodisch	Kostenfeststellung
Methode der Kostenermittlung	Kennwertmethode	Kennwert- und Elementmethode		Methode entsprechend dem Planungsstand: Element-, Leistungsgruppen-, Positionsmethode	Positionsmethode	Positionsmethode	

(vgl. Bild 2):

- Kennwertmethode
- Leistungsgruppen-/LV-Positionsmethode
- Elementmethode
- Kalkulationsmethode

Bei großen und komplexen Bauvorhaben wird empfohlen, neben der Kostenermittlung durch den Planer eine zweite Berechnung durch einen unabhängigen Dritten, zumindest aber eine Überprüfung der vom Planer erstellten Kostenermittlung durchführen zu lassen. Diese Vorgangsweise entspricht internationalen Gepflogenheiten und trägt dazu bei, die Zuverlässigkeit der Kostenermittlung zu verbessern.

Kennwertmethode

Diese Methode basiert im Allgemeinen auf Längen-, Flächen-, und kubaturbezogenen Baukostenkennwerten, die ausschließlich für die am Anfang eines Projektes stehenden Stufen der Kostenermittlung Verwendung finden sollten. Für Bauwerke des Ingenieurtiefbaus (z.B. Unterflurstrecken, Tunnel in offener Bauweise, etc.) sind die Bezugsgrößen meist Längeneinheiten [lfm], während für Brückenbauwerke die Fläche des Tragwerks [m²] und für Gebäude der umbaute Raum (Bruttorauminhalt) [BRI in m³] oder die Bruttogrundfläche [BGF in m²] als Bezugsgröße verwendet werden. Für elektro-mechanische Ausrüstungen werden die Kosten pauschal oder als %-Ansätze der Baukosten angesetzt.

Hinweise zur Auswahl und Gestaltung von Baukostenkennwerten sowie eine Auflistung der Faktoren, die ihre Verwendbarkeit beeinflussen, sind in Bild 3 dargestellt.

Die Baukostenkennwerte sollten von ausgeführten und schlussabgerechneten Projekten ähnlicher Art abgeleitet werden. Sie beinhalten im Normalfall nicht nur die Einzelkosten, sondern auch sämtliche Gemeinkosten wie Baustelleneinrichtung, Bauführungs- und Gerätekosten sowie die allgemeinen Geschäftskosten und den Gewinn bzw. Verlust des ausführenden Unternehmens. Bei Verwendung älterer Daten muss unbedingt die Preissteigerung berücksichtigt werden. Gegenrechnen könnte man unter Umständen stattgefundene – in begründeten Fällen auch zu erwartende – Produktivitätssteigerungen. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die Situation des Baumarkts berücksichtigt werden soll. Es ist überaus schwierig abzuschätzen, in welcher Phase eines Konjunkturzyklus ein Projekt schlussendlich realisiert wird und welche Wettbewerbsituation dann herrscht.

Problematisch und verfälschend ist bei dieser Methode der Umstand, dass z.B. bei Tunneln Kostenanteile von Voreinschnitten, Portalbauwerken, Lüftungsschächten, besonderen Aufwendungen für Deponien und dergleichen in unbekanntem Umfang im Laufmeter-Preis enthalten sein können.

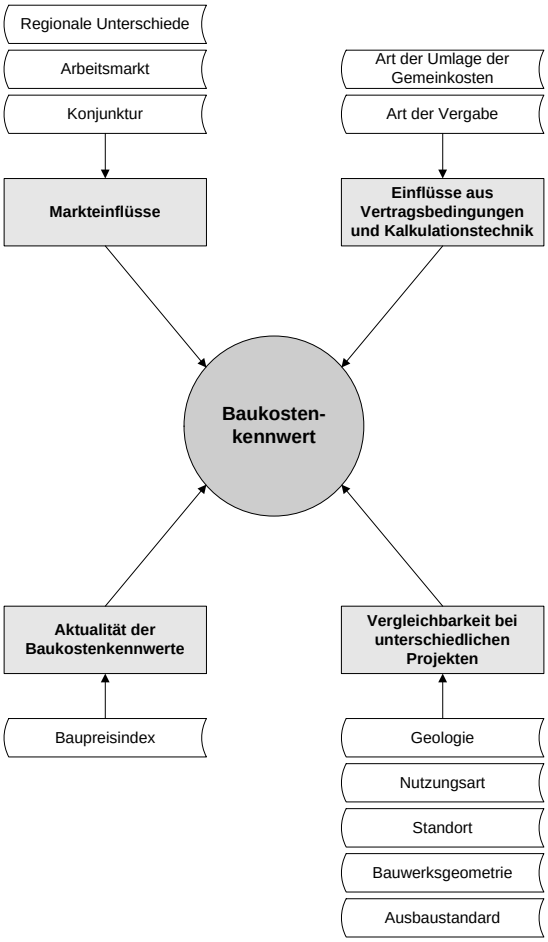

Bild 3 Einflüsse auf Baukostenkennwerte bei Tunnelbauprojekten [5]

Fig. 3 *Impacts on Construction Cost values in Tunneling [5]*

Unter besonderen Umständen kann die Kennwertmethode, die eigentlich nur für erste Kostenaussagen in frühen Projektphasen geeignet ist, auch in einer späteren Kostenplanungsstufe angewendet werden. Auf diese Weise könnte z.B. bei U-Bahn- oder Leitungstunneln in homogenen Böden, die maschinell vorgetrieben werden und wo mit einheitlichen Laufmeterkosten über die gesamte Tunnellänge gerechnet werden kann, auch in späteren Projektphasen verfahren werden.

Leistungsgruppenmethode und LV-Positionsmethode

In der zweiten Stufe der Kostenermittlung sollte das Projekt in Bauabschnitte oder Bauteile unterteilt werden. Für Tunnel wird eine Unterteilung in Vortriebsabschnitte (nach alter Diktion Homogenbereiche), das sind Abschnitte mit ähnlichem Gebirgsverhalten (bei zyklischem Vortrieb) oder ähnlichem Löseverhalten (bei kontinuierlichem Vortrieb), empfohlen. Für jeden Abschnitt sollten Regelstützmaßnahmen bzw. Regelausbaupläne vorliegen. Die Kostenermittlung kann relativ einfach gehalten werden, indem man sie auf Leistungsgruppen beschränkt. Diese Kennwerte werden als leistungsgruppenbezogene Baukostenkennwerte bezeichnet und können z.B. im Tunnelbau die Laufmeterkosten für Ausbruch und Stützung oder Innenschale bzw. Tübbinge beinhalten.

Es wird empfohlen, bereits in der zweiten Stufe, wo üblicherweise mit leistungsgruppenbezoge-

nen Baukostenkennwerten gearbeitet wird, die Gemeinkosten der Baustelle gesondert auszuweisen und nicht in die lfm-Kosten einzurechnen. Werden die Baustellengemeinkosten und die Gerätekosten nämlich auf die Kosten pro lfm oder eine andere Bezugsgröße umgelegt - was leider der gängigen Praxis entspricht -, entstehen Probleme bei dem im weiteren Verlauf der Kostenschätzung unvermeidlichen Systemwechsel von einem planungsorientierten zu einem leistungs- bzw. ausführungsorientierten System.

Wie weiter unten näher ausgeführt wird, ist die Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Bearbeitungsstufen oder zwischen verschiedenen Projekten bzw. Varianten nur bei Verwendung einer ausführungs- bzw. leistungsorientierten Gliederung mit der gewünschten Aussagekraft möglich.

LV-Positionsbezogene Baukostenkennwerte werden verwendet, wenn innerhalb einer Leistungsgruppe die Berechnungen weiter detailliert werden sollen. Bei den Hauptleistungsgruppen des Ingenieurtiefbaus und des Tunnelbaus kann es sich als zweckmäßig erweisen, in der Kostenplanung bis auf die LV-Positionsebene herunter zu gehen.

Elementmethode

Die Elementmethode stellt eine relativ komplexe Berechnungsart dar, mit deren Hilfe – unter korrekter und sinnvoller Elementgliederung eines Bauvorhabens – sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Sie setzt, ähnlich der Leistungsgruppenmethode, eine detaillierte Planung mit entsprechender Beschreibung der Qualitäten voraus, aus der sich die einzelnen Elementmengen ermitteln lassen.

Wenn die Berechnung über elementbezogene Baukostenkennwerte erfolgt, wird empfohlen, einen so genannten Elementkatalog als Grundlage für die Kostenplanung aufzubauen, in dem für jedes Element die Baukostenkennwerte vorgehalten werden. Dieser Elementkatalog kann bei der Berechnung zudem als eine Art Checkliste dienen, aus der man die für das jeweilige Projekt benötigten Elemente auswählt. Anhand dieser Auswahl werden im nächsten Schritt für jedes Element Mengen ermittelt, die als Grundlage für die eigentliche Berechnung dienen.

Um eine einfache und rasche Überführung der über die Elementmethode ermittelten Kosten in eine ausführungsorientierte Gliederung zu ermöglichen, empfiehlt es sich, so genannte „leistungsgruppenreine“ Elemente als Baukostenkennwerte vorzusehen [5]. Damit ist ein „Umschalten“ von der Elementgliederung in die ausführungsorientierte Leistungsgruppengliederung jederzeit möglich, da die einzelnen Leistungsgruppen durch Summierung der zugehörigen Elemente berechnet werden können.

Bild 4 zeigt ein Beispiel für ein Elementtypenblatt und veranschaulicht gleichzeitig den Aufbau eines Elementes. Der Berechnungsvorgang der Elementmethode ist in Bild 5 schematisch dargestellt.

Kalkulationsmethode

Die Anwendung dieser Methode wird empfohlen, wenn für ein Projekt bzw. für einen Bauteil keine oder nur ungenügende Erfahrungswerte vorliegen. Die Kalkulation kann dabei auf die Berechnung der Kosten für die Hauptpositionen der wichtigsten Leistungsgruppen beschränkt werden. Im Tunnelbau sind dies z.B. die Leistungsgruppen Ausbruch, Stützmittel und Innenschale. Eine Unterteilung in Vortriebsabschnitte und eine Angabe über die Vortriebsklassenverteilung innerhalb der einzelnen Abschnitte ist zu empfehlen. Für jeden Vortriebsabschnitt wird ein so genannter Basisvortrieb geplant, der die Mengenangaben für die Kalkulation liefert. Weniger bedeutende Leistungen bzw. Positionen können geschätzt (pauschal oder als prozentualer Zuschlag auf die Hauptpositionen) oder auch als leistungsgruppenbezogene Baukostenkennwerte angegeben werden. Zur Durchführung der Berechnung eignen sich sämtliche Tabellen-Kalkulationsprogramme. Der Einsatz von spezieller Kalkulations-Software, wie sie von den Unternehmern für die Angebotskalkulation verwendet wird, ist nicht zu empfehlen.

Bei konventionellen Vortrieben kann die Vortriebsgeschwindigkeit nach einem vereinfachten

Bild 4 Beispiel für ein Element im Tunnelbau

***Fig. 4** Example of a Construction Cost Element in Tunneling*

Herkunftsprojekt: 0123 Musterprojekt — Preisbasis: 07/2004 — Bearbeiter: NN

Elementtypenblatt

Elementnummer

KB	GE	.	EL	.	EA	ET-Nr.
2	F	.	04	.	A	001

Elementeinheit m²

Elementbezeichnung

Kurztext Innengewölbe (d=40cm), brandbeständig, bewehrt, für 2-spurigen Eisenbahntunnel

Langtext Innengewölbe (d=40cm) aus brandbeständigem Beton, mit selbsttragender Bewehrung, inkl. Schalung, für 2-spurigen Eisenbahntunnel

Elementpositionen

Fortl. Nr.	Positionsbezeichnung	Zuordnung ON B 1801-1	LB-T	DIN 276	Einheit	Einheitspreis [€/Einheit]	Mengenansatz	Kosten	
01	Beton Innengewölbe (d=40cm), C25/30	2K.07	26.02	340	m³	83,00	0,4000	33,20	€ / m²
02	Aufzahlung Brandbeständiger Beton	2K.07	26.02	340	m³	19,00	0,4000	7,60	€ / m²
03	Schalung (eben und gekrümmt)	2K.07	26.07	340	m²	78,00	1,0000	78,00	€ / m²
04	Bewehrung (Stabstahl und Matten)	2K.07	26.08	340	kg	0,82	200,0000	164,30	€ / m²
05	Tragbogen für selbsttragende Bewehrung inkl. Verbindungselemente	2K.07	26.05	340	m	9,00	0,2753	2,48	€ / m²
Elementkosten								**285,58**	**€ / m²**

Verfahren über die mittlere Abschlagslänge und die Anzahl der möglichen Abschläge pro Tag ermittelt werden. Eine detaillierte Berechnung über die Analyse eines Vortriebszyklus ist im Normalfall nicht erforderlich.

Bei maschinellen Vortrieben genügt es, für die unteren Stufen der Kostenermittlung die Vortriebsgeschwindigkeit von vergleichbaren Projekten abzuleiten. Eine genaue Berechnung, die von der Penetration ausgeht und den Ausnutzungsgrad berücksichtigt, ist erst in den oberen Stufen sinnvoll. Allerdings nur dann, wenn das Gebirgsverhalten ausreichend untersucht wurde, sowie entsprechende Gesteinskennwerte vorliegen und der Maschinentyp festgelegt ist.

Die Kalkulation der Baustellengemeinkosten (Baustelleneinrichtung, Bauführungskosten) und der Gerätekosten sollte wie für zeitgebundene Kosten üblich, d.h. ähnlich wie in einer Angebotskalkulation erfolgen. In einfacheren Fällen ist es möglich, die Baustellengemeinkosten in Prozenten der Hauptleistungen anzusetzen. Der Endzuschlag muss ohnehin in Prozenten angesetzt werden.

Die einzelnen Positionen müssen auf Basis der Kosten für Löhne und Gehälter, Geräte, Material und Fremdleistung berechnet werden. Dazu müssen unter Umständen Angaben von Unternehmern (Mittellohn), Geräteherstellern (Baumaschinen), Lieferanten (Baustoffe) und Subunternehmern eingeholt werden. Weil eine Vorkalkulation dieser Art nicht von allen Planern durchgeführt werden kann, ist vom Auftraggeber unter Umständen die Beauftragung eines spezialisierten Ingenieurbüros zu erwägen. In Österreich ist dabei im Falle eines öffentlichen Auftraggebers oder eines Sektorenauftraggebers, die dem Bundesvergabegesetz unterliegen, auf die Projektanten- bzw. Vorarbeitenproblematik (vgl. dazu §21, (3), Bundesvergabegesetz 2002 und §20, (5), Bundesvergabegesetz 2006) Rücksicht zu nehmen.

Hinweise zur Anwendung

Ausbruch und Stützmaßnahmen

Wenn die Elementkosten für eine Kostenermittlung aus den Angebotspreisen vergleichbarer Projekte übernommen werden, ist darauf zu achten, dass es sich wirklich um vergleichbare Projekte handelt. Eine Übernahme von Ausbruchpreisen für Zweispurtunnel (Ausbruchquerschnitt ca. 100 m² bis 120 m²) für Einspurtunnel (Ausbruchquerschnitt ca. 70 m²) bei Eisenbahntunneln ist z.B. nicht ohne weiteres möglich. Die Gerätekonfiguration in kleinen Querschnitten ist im Allgemeinen eine andere als in großen Querschnitten. Auch ist der Personaleinsatz im kleineren Profil beinahe gleich wie im großen, woraus im Allgemeinen höhere Aufwandswerte [h/m³ bzw. lfm] resultieren.

Randbedingungen wie die Zugänglichkeit und Lage der Angriffspunkte – Voreinschnitt, Fensterstollen, Vertikalschacht – sind jedenfalls zu berücksichtigen. Im Einzelfall ist abzuwägen, ob die Berücksichtigung der Randbedingungen in Form von (geschätzten) prozentualen Zuschlägen oder besser auf kalkulativem Weg erfolgen soll.

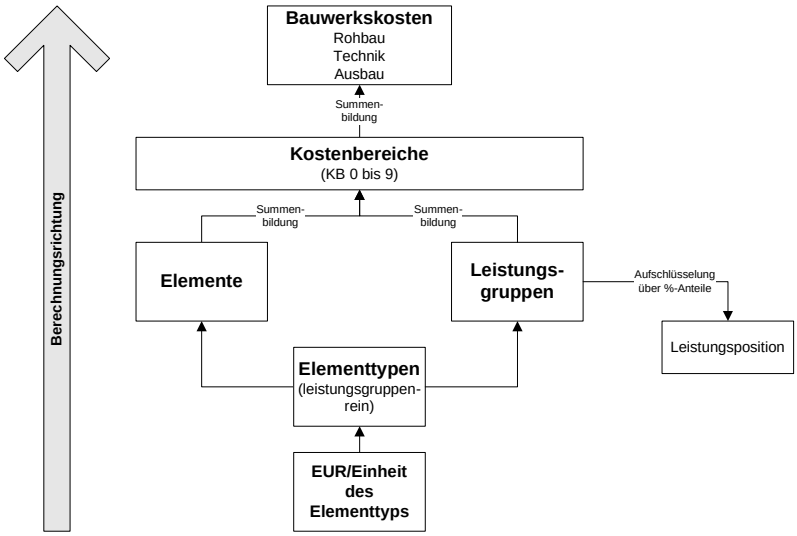

Bild 5 Berechnungsschema Elementmethode [5]

***Fig. 4** Calculation schema for Cost Planning with Construction Elements*

Innenschale

Die Kosten der Innenschale können für konventionelle Vortriebe im Allgemeinen mit ausreichender Genauigkeit von anderen Projekten abgeleitet werden. Zu beachten ist hierbei, dass für bewehrte Innenschalen eine Vorstatik zur Abschätzung des Bewehrungsgehaltes (z.B. kg/m³) erforderlich ist. Wenn, wie bei sehr langen Eisenbahntunneln beinahe unumgänglich, die mit TBM aufgefahrenen Einspurtunnel gleichzeitig – wenn auch nacheilend – mit dem Vortrieb ausgekleidet werden sollen, sind dafür sehr umfangreiche Einrichtungen erforderlich. Um die Vorarbeiten (Widerlager, Ulmendrainage, Abdichtungsarbeiten), die Betonierung mit zwei Schalwägen und die Nacharbeiten unter voller Aufrechterhaltung und möglichst geringer Behinderung des Schutter- und Nachschubverkehrs sowie Durchleitung sämtlicher Versorgungsleitungen durchführen zu können, sind Arbeitszüge von mehreren hundert Metern Länge erforderlich (Beispiele Vereina-Tunnel Nord und Gotthard-Tunnel Süd). Die Kosten einer solchen Einrichtung können mehrere Millionen € erreichen. Sie betragen somit ein Vielfaches der für einen konventionell vorgetriebenen Zweispurtunnel erforderlichen Installationskosten. Anzumerken ist, dass für die Herstellung der Betonauskleidung einer Tunnelröhre gleichzeitig mit dem Vortrieb, in der ein Streckenförderband betrieben wird, bisher noch keine Erfahrungen vorliegen.

Kostenvergleiche

Kostenermittlungen sollten so aufgebaut werden, dass aussagekräftige Vergleiche in mehreren Richtungen möglich sind. Innerhalb eines Projektes geht es dabei um die Vergleichbarkeit von Tun-

nelabschnitten, die nach unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden oder um die Vergleichbarkeit von Entwurfsvarianten. Es sollten aber auch transparente Vergleiche zwischen verschiedenen Projekten möglich sein.

Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn die jeweiligen Kostenermittlungen zumindest gleich strukturiert werden. Die Verwendung gleicher Methoden ist empfehlenswert aber nicht unbedingt notwendig. In jedem Fall ist es von Vorteil, wenn die Baustellengemeinkosten und die Gerätekosten gesondert ausgewiesen werden.

Berücksichtigung unscharfer Eingangswerte

Wie bereits eingangs erwähnt, ist es notwendig und richtig, bei sehr großen und komplexen Projekten und ab einem entsprechendem Detailierungsgrad der Kostenermittlung die Unschärfe der Eingangswerte in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Idealerweise werden dafür die geologisch-geotechnischen Parameter (Gebirgskennwerte) herangezogen. Aus baupraktischer Sicht ist es jedoch einfacher, die aus den Gebirgskennwerten abgeleiteten baubetrieblichen Parameter (beim konventionellen Vortrieb Abschlagslänge und/oder Zyklusdauer, beim maschinellen Vortrieb Penetration, tägliche Bohrzeit, Ausnutzungsgrad u.ä.) zu variieren.

Die Überlagerung der Einflüsse erfolgt üblicherweise durch eine Simulation (z.B. Monte Carlo-Verfahren). Vergleichende Untersuchungen am i3b - Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement der Universität Innsbruck- zeigen, dass für die Darstellung der Unschärfe nicht nur probabilistische Verteilungen wie Normalverteilung, Betaverteilung und ähnliches in Frage kommen, sondern dass mit Dreieckszahlen (Fuzzy-Sets) ebenfalls gute Ergebnisse erzielt werden. Die Überlagerung von unscharfen Zahlen ist mathematisch einfacher als die Überlagerung komplizierter Funktionen. Der wesentliche Vorteil von Fuzzy-Sets ist aber der, dass unscharfe Zahlen in Dreiecksverteilung der Vorstellungswelt des Baupraktikers wesentlich näher kommen als probabilistische Verteilungen. Im Allgemeinen ist es viel leichter, die drei erforderlichen Werte – niedrigster, höchster und wahrscheinlichster (als wahrscheinlichster Wert wird hier der Wert mit dem höchsten Möglichkeitsgrad bezeichnet) abzuschätzen als eine zutreffende Funktion auszuwählen und diese mit Medianwert und Varianz anzugeben.

Für TBM-Vortriebe lässt sich der Zusammenhang zwischen Gesteinskennwerten und den für die Kalkulation erforderlichen Basiswerten Penetration und Verschleiß über einigermaßen gesicherte Algorithmen (Gehring, CSM, Bruland und andere) ableiten. Für die darauf aufbauende Berechnung der Vortriebsgeschwindigkeit gibt es ebenfalls geeignete Modelle [6]. Unbedingt müssen dabei das Gebirgsverhalten und die Bergwasserverhältnisse berücksichtigt werden.

Nicht ganz so einfach ist es, beim zyklischen Vortrieb einen Zusammenhang zwischen Gebirgskennwerten und Abschlagslängen herzustellen. Die Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb [7] beschreibt das dafür erforderliche Prozedere. Ein einfacher, mathematisch zu beschreibender Zusammenhang besteht aber nicht. Aus diesem Grunde ist es kaum möglich, Variationen der Gebirgskennwerte direkt in die Kostenermittlung überzuführen. Es wäre daher sinnvoll, bei konventionellen Vortrieben, unabhängig davon, ob nach der Element- oder Kalkulationsmethode gearbeitet wird, nicht mit Vortriebsklassen sondern mit Regelvortrieben, die den einzelnen Vortriebsabschnitten zugeordnet sind, zu rechnen. Unter einem solchen Regelvortrieb sollten die Kosten für Ausbruch und Stützung zusammengefasst werden. Die Bandbreite von Kosten- und Bauzeit ließe sich dann sehr einfach durch Variation der Abschlagslängen und der Anzahl der Abschläge pro Tag (abhängig von der Zyklusdauer) eventuell ergänzt um Variation der Stützmittelmengen durchführen.

Zuschläge

Auf die Zuschläge für Unberücksichtigtes, Unbekanntes und Unvorhergesehenes wird hier nicht näher eingegangen. Auf einen Hinweis soll jedoch nicht verzichtet werden. Die vielfach verwendete Zusammenfassung dieser Faktoren unter dem Begriff „Unvorhergesehenes“ wird in [8] wie folgt kommentiert: *„Der weit verbreitete und früher vielfach verwendete Sammelbegriff „Unvorhergesehenes“ sollte hinkünftig für Kostenermittlungen in der Planungsphase nicht mehr verwendet werden. Seine Anwendung sollte auf die Ausführungsphase beschränkt werden, wo tatsächlich unvorhergesehene Ereignisse passieren können und auch immer wieder passieren.*“

In der Planungsphase sollte zwischen Unberücksichtigtem und Unbekanntem unterschieden werden. Der Ansatz für das Unberücksichtigte ist vom Planer anzugeben. Die Höhe des Unbekannten ist vom Errichter abzuschätzen.

Klare und konsistente Definitionen dieser Begriffe sind in [3] enthalten.

Zusammenfassung und Ausblick

Da Kostenermittlungen bei der Entwicklung von Bauprojekten eine wichtige Entscheidungsgrundlage darstellen, sollte insbesondere bei großen Projekten auf die Verwendung einheitlicher Begriffe und einen einheitlichen Sprachgebrauch geachtet werden, der sich an den aktuellen Normen und Regelwerken orientiert. Aufgrund der in Österreich geltenden gesetzlichen Vorgaben für ein Genehmigungsverfahren ist es notwendig, Kos-

tenermittlungen in mehreren Schritten (Stufen) zu erstellen. Um dennoch einen durchgängigen Vergleich von der ersten Stufe der Kostenermittlung bis zur Abrechnung zu ermöglichen, sind alle Schritte mit einer geeignet strukturierten Kostengliederung zu hinterlegen. Nur so ist eine effektive Kostenkontrolle möglich – die bereits die Planungsphasen begleiten sollte, wie in [5] angeregt.

Grundsätzlich ist bei Kostenermittlungen auch darauf zu achten, dass die angewendete Methode samt den zur Berechnung herangezogenen Baukostenkennwerten dem Informationsgehalt der Planung entspricht.

Eine besondere Bedeutung bei der Kostenermittlung für Projekte im Infrastruktur- und insbesondere im Tunnelbau kommt der Berücksichtigung unscharfer Eingangswerte und den Zuschlägen für Unberücksichtigtes, Unbekanntes und Unvorhergesehenes zu. Hierfür zeigt die vor kurzem erschienene ÖGG-Richtlinie [3] Möglichkeiten und Ansätze auf, die vor allem zur Berücksichtigung der Projektrisiken dienen.

Zum Abschluss sei noch darauf hingewiesen, dass die Kostenplanung als Bestandteil der Kostenermittlung nur einen – wenn auch entscheidenden – Teil im gesamten Kostenkreislauf darstellt. Der Kostenkreislauf wird erst über die ausführungsbegleitende Kostenkontrolle und die Kostenfeststellung am Ende eines Projektes geschlossen. Die Auswertung des abgerechneten Projektes zur Gewinnung neuer Baukostenkennwerte ist zwar ein aufwändiger, aber durchaus lohnender Arbeitsschritt. Die gewonnenen Baukostenkennwerte können in einer so genannten Baukostenkennwertdatenbank als Vergleichswerte für zukünftige Projekte gesammelt werden.

Literaturhinweise

[1] Lombardi, G.: „Kosten im Tunnelbau vom Voranschlag zum Endpreis“, Vortrag an der Generalversammlung der FGU (Fachgruppe für Untertagbau) in Zürich, 14.05.2004

[2] Ö-Norm B 1801-1, „Kosten im Hoch- und Tiefbau, Kostengliederung“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1995

[3] ÖGG-Richtlinie „Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung der Projektrisiken“, Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Salzburg, 2005

[4] Oberndorfer, W., Jodl, H.G., u.a.: „Handwörterbuch der Bauwirtschaft“, ON-V 208, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2001

[5] Mathoi, Th.: „Durchgängiges Baukostenmanagement – Ein Leitfaden für systematische Kostenplanung und -kontrolle bei Bauprojekten im Hochbau aus der Sicht des Planers bzw. Auftraggebers“, Schriftenreihe Bauwirtschaft und Projektmanagement, Heft Nr. 08, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2005

[6] Leitner, W.: „Baubetriebliche Modellierung der Prozesse maschineller Vortriebe im Festgestein – Von der Penetration zur Vortriebsgeschwindigkeit“, Schriftenreihe Bauwirtschaft und Projektmanagement, Heft Nr. 06, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2004

[7] ÖGG-Richtlinie „Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb“, Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Salzburg, 2001

[8] Vavrovsky, G.-M.: „Kostencontrolling im Verkehrswegebau“, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Oberndorfer, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien, 2003

Autoren

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Eckart Schneider
eMail: eckart.schneider@uibk.ac.at

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Thomas Mathoi
eMail: thomas.mathoi@uibk.ac.at

Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften
i3b – Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement
Technikerstraße 13
A 6020 Innsbruck