
Verlässliche Prognosen und Transparenz im Tunnelbau

RELIABLE PROGNOSSES AND TRANSPARENCY IN THE TUNNEL CONSTRUCTION

ULRICH BAUMGÄRTNER, MATTEO BIANCHI, SIMON GATTI

Wie viel wird ein Bauwerk kosten? Besonders schwierig ist diese Frage im Tunnelbau zu beantworten. Denn trotz umfangreicher Sondierungen und allen unseren technischen Möglichkeiten erlangt man die genaue Kenntnis über das anstehende Gebirge erst während des Bauens. Während langer Realisierungszeiträume entstehen auch neue Erkenntnisse, und es werden technische Neuerungen entwickelt, die in das Projekt einfließen sollen.

Beim Bau des längsten Eisenbahntunnels der Welt, dem Gotthard-Basistunnel, müssen Milliardenbeträge finanziert werden. Die Projektgesellschaft AlpTransit Gotthard AG muss das Projekt im Rahmen dieser Kosten verwirklichen und steht im Rampenlicht des Schweizer Steuerzahlers. In dieser sensiblen Lage haben die beauftragten Projektingenieure zusammen mit der AlpTransit Gotthard AG bekannte Methoden verfeinert und neue Verfahren entwickelt, um projektbegleitend die Prognosen täglich zu verbessern und etwaige Mehrkosten frühzeitig transparent zu machen.

How much will a construction cost? This is one of the most difficult issues in tunnelling. Despite of extensive probes and all of our technical possibilities, detailed information about the relevant quality of the rock remains uncertain till the construction is in progress. While realizing the project, advanced knowledge emerges and technical innovations are developed which both need consideration in the progress of the project.

While building the longest railway tunnel of the world, the "Gotthard Base Tunnel", moneys amounting billions have to be financed. The project management entity "AlpTransit Gotthard AG" has the task to realize this project within a given cost bracket and consequently is in the spotlight of the Swiss tax payer. Under those sensitive circumstances the AlpTransit Gotthard AG has teamed-up with assigned project engineers in order to improve the applied methods and operations and develop advanced procedures. The aim is to advance the prognosis on a daily basis. Eventual additional construction costs can be made transparent at an early stage.

1. Das Projekt

AlpTransit steht für die Neuen Eisenbahn Alpen-transversalen Gotthard und Lötschberg.

Auf der Achse Gotthard, der Strecke von Zürich nach Lugano, wird das Jahrhundertprojekt Gotthard-Basistunnel gebaut, das durch die Basistunnel am Zimmerberg und am Ceneri in nördlicher und

südlicher Richtung zu einer Flachbahn durch die Alpen ergänzt werden soll.

Das alte Sprichwort der Bergleute "vor der Hacke ist es dunkel" stellt die Verlässlichkeit von Prognosen im Tunnelbau an sich schon in Frage. Mit zunehmender Länge des Tunnelbauwerks (hier 57 km) und zunehmender Gebirgsüberlagerung (hier bis zu 2000 m) nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass der geologische Befund von der Prognose abweicht, stark zu. Das Bauvolumen liegt weit über dem anderer Projekte, und das absolute Risikopotential ist entsprechend hoch.

Die Ungewissheit über den finanziellen Ausgang ist beträchtlich. Das Schweizer Volk als Besteller bzw. die Schweizerische Eidgenossenschaft braucht eine klare Aussage zu den Kosten, damit die Finanzierung abgesichert werden kann. Aber wie können verlässliche Prognosen erstellt werden?

Großprojekte werden nicht dadurch beherrschbar, dass man die Kapazitäten eines Projekts üblicher Größe entsprechend dem Projektvolumen vervielfacht. Die Herausforderung liegt in der Systematik, mit der die Abwicklung eines solchen komplexen Projektes koordiniert und transparent gemacht wird. Die AlpTransit Gotthard AG stützt sich auf eine Systematik, die auf einheitlichen Regeln und durchgängigen Strukturen aufbaut. Dabei werden alle Projektphasen vom Vorprojekt bis zur Inbetriebnahme und die gesamte Spanne der Detaillierung vom Vortrieb bis zur globalen Betrachtung des Gesamtprojekts abgedeckt.

Die internetgestützte Plattform SISO für die Baustellenkommunikation und -kontrolle sowie das integrierte Controllingsystem GRANID unterstützen die Systematik und die Strukturen. Sie erlauben eine tagesaktuelle Kostenprognose auf dem neuesten Kenntnisstand.

2. Die Prognose

Die Prognose ist eine Voraussage, die im Gegensatz zu einer Weissagung oder einer Prophezeiung wissenschaftlich fundiert ist. Sie beruht auf Methoden und Algorithmen, die einer Logik folgen und prüfbar sind.

2.1 Verlässlichkeit der Prognose

Die Entwicklung der Kostenprognose (Bild 1) beim Werk AlpTransit Gotthard über die letzten Jahre zeigt eine stetige Kostensteigerung.

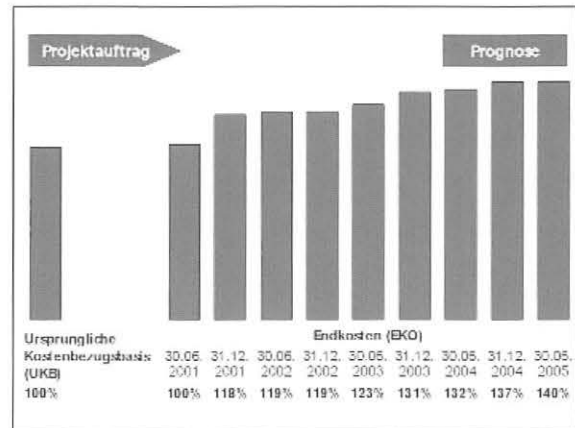


Bild 1: Entwicklung der Kosten über die Zeit

Es mag daher dem konstruktiven Ingenieur im ersten Augenblick scheinen, als sei die Prognosequalität doch nicht so gut.

In den konstruktiven Disziplinen setzen wir "Verlässlichkeit" mit Zuverlässigkeit gegenüber Bruch, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit gleich. Um diese Verlässlichkeit nicht durch Abweichungen zwischen Modellen und Wirklichkeit, Ungenauigkeiten in den Lastannahmen, Streuungen bei den Materialeigenschaften und Ausführungstoleranzen zu gefährden, bedienen wir uns bei der Bemessung des Bauteils eines Sicherheitsbeiwerts, der üblicherweise bei einer Größenordnung um 2 liegt.

Bei der Kostenprognose errechnen wir die Endkosten. Diese spiegeln den aktuellen Kenntnisstand aber keine obere Kostengrenze wider. Die "Verlässlichkeit" drückt sich in

- der zeitnahen Berücksichtigung der aktuellsten Erkenntnisse und
- der nötigen Feinheit der Basisdaten aus.

Sind die Grundlagen wenig veränderlich oder gelten diese als relativ stabile Annahmen, genügt eine gröbere Betrachtung. Je mehr die Basiswerte möglichen Schwankungen oder Unschärfen unterliegen, umso differenzierter sollten diese in die Prognose eingehen.

Wenn die Kostenprognose nach dieser Ansicht verlässlich ist, wo bleibt dann die Sicherheit gegen Kostenüberschreitungen?

2.2 "Verlässlichkeit" der Finanzierung

Letztendlich müssen die tatsächlichen Kosten durch die Finanzierung gedeckt sein. Die "Sicherheit" ist somit der Finanzierung zuzuordnen und muss durch ein Budget für Projektänderungen und Reserven gewährleistet werden (Bild 2).

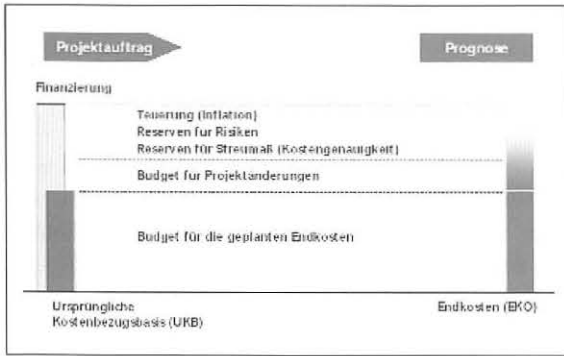


Bild 2: Finanzierung mit Reserven

Der Mehrkostenzuwachs steht nicht nur mit der Geologie im Zusammenhang, sondern mit der Bestellung von Mehrleistungen. Entgegen unserer ingenieurmäßigen Prägung ist eine Kostensteigerung nicht zwangsläufig negativ. Es wäre nämlich unverantwortlich bei einem Realisierungszeitraum von über zwei Jahrzehnten neuere Erkenntnisse oder technische Entwicklungen nicht zu berücksichtigen.

Es erwächst die Forderung, nicht nur die Kosten zu prognostizieren, sondern auch die Mehr- oder Minderkosten differenziert erklären und das Budget für Änderungen und Reserven bewirtschaften zu können. (Bild 3) Darum beinhaltet die Systematik ein komplexes Change-Mangement-System, das jedoch in diesem Rahmen nicht erläutert werden soll.

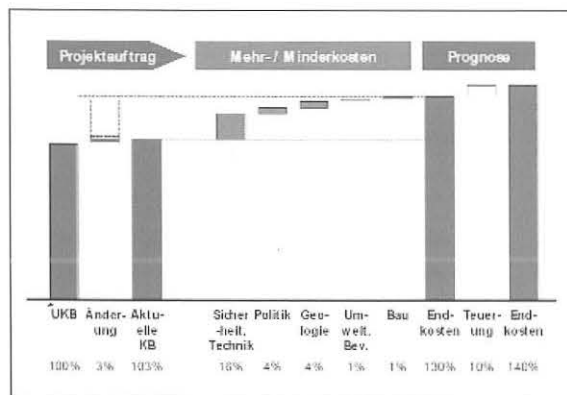


Bild 3: Erklärung der Mehrkosten

3. Allgemeine Methoden der Kostenprognose

3.1 Zweidimensionale Prognosesicht

Das Projekt wird in der zeitlichen Dimension in aufeinander folgende Phasen gegliedert. Von Phase zu Phase wird immer genauer geplant, und die Ergebnisse bilden immer detaillierter und exakter das endgültige Projekt ab. Am Ende einer Phase werden die Erkenntnisse in Dokumenten zusammengestellt.

Als Kostendokumente stehen

- Kostenschätzung gemäß Vorprojekt
- Kostenschätzung gemäß Auflageprojekt
- Kostenvoranschlag gemäß Bauprojekt
- Abrechnung, Kreditfreigabe zum Bauende zur Verfügung

Für die Kostenprognose geht man davon aus, dass sich die Endkosten in der Höhe des aktuellsten Kostendokuments einstellen werden.

Großprojekte werden in der räumlichen Dimension in überschaubare und gegeneinander abgrenzbare Projektteile zerlegt, um die Komplexität zu entzerren. Diese Elemente der Projektstruktur werden einzeln bearbeitet und können sich deshalb auch in unterschiedlichen Phasen befinden.

In der Kostenprognose werden die Elemente jeweils mit ihrem aktuellsten Kostendokument zum Gesamtprojekt kombiniert. Die Endkosten setzen sich dann aus unterschiedlichen Planungs- und Ausführungsständen zusammen. (Bild 4)

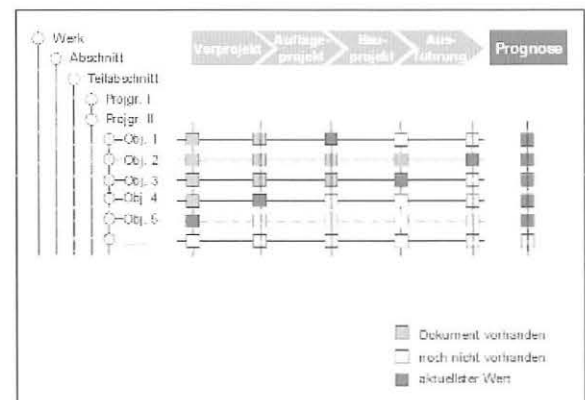


Bild 4: Zweidimensionale Prognosesicht

3.2 Ausführungsphase

Es ist offensichtlich, dass die Prognose für die Ausführungsphase verbessert werden muss. Im ersten Schritt wird die Phase in Baulose bzw. Verträge aufgelöst.

Den strukturellen Übergang zwischen dem Kostenvoranschlag Bauprojekt auf der Ebene Projektstruktur und dem Vertrag wird durch die Neuordnung der KV-Positionen in Vergaben bewältigt, die den Leistungsumfang des Vertrags definieren (Bild 5).

Mit dem Abschluss des Vertrags wächst die Erkenntnis der Kosten um die Einflüsse des freien Marktes. Bei der Kostenprognose ersetzt die Vertragssumme nun den Wert der in der Vergabe gebündelten KV-Positionen.

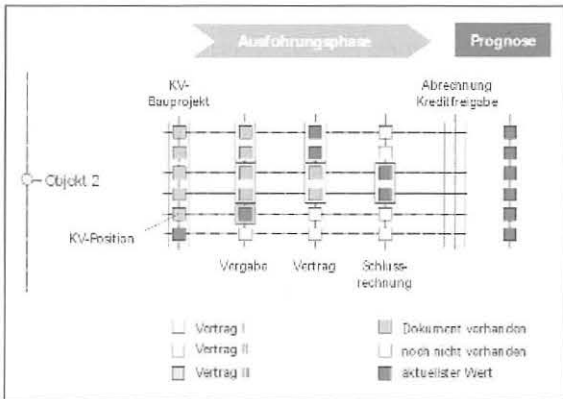


Bild 5: Verträge in der Ausführungsphase

Jede Vertragsänderung schreibt die aktuelle Vertragssumme fort und geht so zeitnah in die Endkosten ein.

Als letzte Erkenntnis löst die Schlussrechnung den Vertrag in der Kostenprognose ab.

Die sehr vereinfacht dargestellten Methoden werden bei Baumgärtner, Hagedorn, Büchler [1] genauer beschrieben.

4. Systematik für den Tunnelbau

4.1 Werkvertrag

Die Unsicherheiten der geologischen Prognose, die mehrjährigen Vertragszeiträume, als auch die Grö-

ße einzelner Werkverträge von mehreren hundert Millionen bis über eine Milliarde Schweizer Franken erfordern die genaue Betrachtung der großen Bau-lose.

Um durchgängige Strukturen sicherzustellen, wird der Vertrag vorgängig in Baubjekte (z.B. Tunnel Süd, Tunnel Nord, Nebenbauwerke, ...) unterteilt, die zugleich den einzelnen Elementen der Projektstruktur entsprechen.

Das Leistungsverzeichnis des Werkvertrages regelt die Kostengrundlagen über Vorausmaße und Einheitspreise in einer unübersichtlichen Anzahl von Positionen. Der Aufbau orientiert sich nach Gesichtspunkten der Kostenplanung und Abrechnung.

Um einen Tunnelbauvertrag baubegleitend verfolgen zu können, muss er in eine prozessorientierte Sicht überführt werden, die den Vertrag nach baulogischen Abläufen als auch nach geologischen Bereichen abbildet.

4.2 Prozessorientierte Sicht

Spricht man von Bauabläufen denkt man in Vorgängen. Die Kostengrundlagen aus dem Leistungsverzeichnis werden in mehreren Schritten in die Vorgänge übernommen.

Im ersten Schritt werden Positionen des Leistungsverzeichnisses zu sog. SISO-Positionen verdichtet (Bild 6).

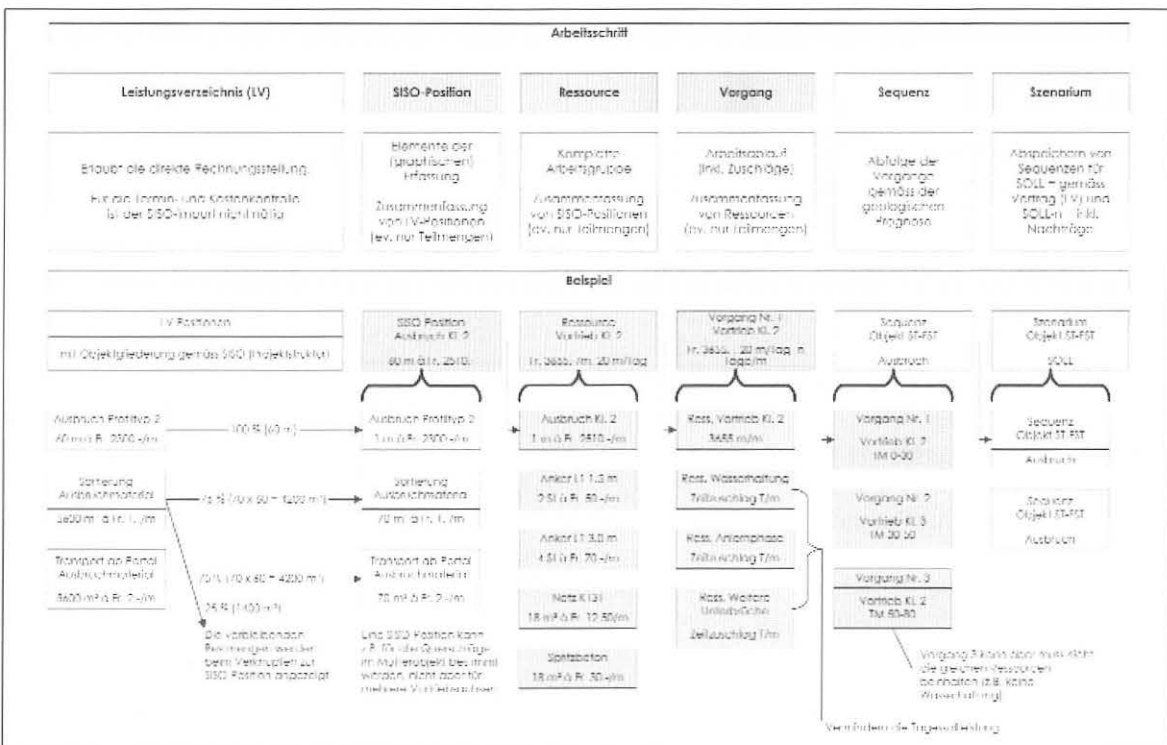


Bild 6: Prinzip Kosten + Termine

Die SISO-Position repräsentiert ein Bauelement (z. B. Anker L1 1,5 m in Stück) oder einen Arbeitsschritt (z.B. Ausbruch Kl. 2 in m).

Im nächsten Schritt werden Ressourcen definiert, die inhaltlich einer kompletten Arbeitsgruppe entsprechen (z. B. Vortrieb Kl. 2 in m). Ihr werden alle zur Ausführung notwendigen SISO-Positionen in der erforderlichen Menge zugeordnet, z. B. Ausbruch, Anker, Netz und Spritzbeton (Bild 6). Mit dieser Methode kann der Werkvertrag mit einer übersichtlichen Anzahl von Elementen verwaltet werden.

Es werden lineare Ressourcen gebildet, deren Kosten entsprechend dem Baufortschritt des Tunnels entstehen (Kosten/m Tunnel). Zeitgebundene Kosten (z.B. das Vorhalten der Baustelleninstallation) werden in zeitabhängigen Ressourcen zusammengefasst (Kosten/d Bauzeit). Die einmaligen Kosten der Baustelleninstallation oder Kosten der Nebenuerwerke werden in fixen Ressourcen übernommen. Darüber hinaus werden variable Ressourcen gebildet, welche denjenigen Kosten entsprechen, die unmittelbar mit der angetroffenen Geologie verbunden sind (z.B. Wasserhaltung, Bohrungen und Injektionen, Arbeitsunterbrüche).

Schließlich hinterlegt man in einem Vorgang mehrere Ressourcen. Es gehen dabei nicht nur Arbeits-

gruppen sondern auch Erschwernisse ein (Bild 6). So könnte z. B. für die Phase des Vortriebs jeweils ein Vorgang je Ausbruchklasse gebildet werden.

4.3 Berücksichtigung der Geologie

Die geologischen Verhältnisse werden als Tunnelband mit einer Abfolge von Ausbruchsklassen dargestellt (Bild 7).

Entsprechend der Verteilung der Ausbruchsklassen werden die Vorgänge zu einer "Sequenz" zusammengestellt (Bild 6).

4.4 Tägliche Aktualisierung der IST-Daten

Die SISO-Positionen, die Vortriebsdaten und die geologischen Aufnahmen werden täglich für das Baujournal und die Bauwerksdokumentation erfasst. Sie stehen damit tagesaktuell für die Prognose der Endkosten und Endtermine zur Verfügung.

4.5 Kosten- und Terminprognose

Der gesamte Werkvertrag wird wie beschrieben in prozessorientierter Sicht mit SISO-Positionen, Ressourcen, Vorgängen und Sequenzen zunächst als sog. "SOLL" abgebildet.

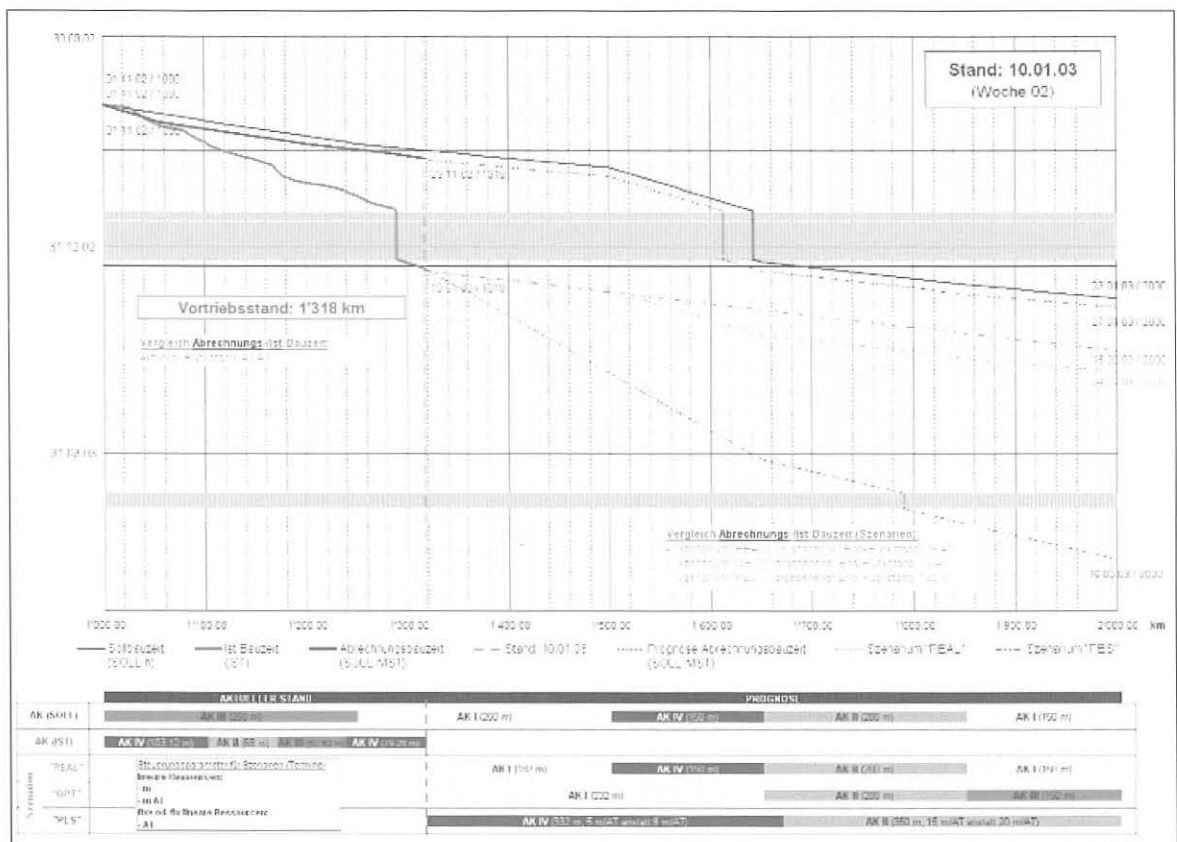


Bild 7: Termincontrolling (SOLL/IST-Vergleich), inklusive Szenarien-Analyse

Mit fortschreitendem Vortriebsstand ergänzen die IST-Werte das ursprünglich geplante SOLL und liefern tagesaktuelle Endkosten des Vertrags.

Bei der Prognose können aber auch Szenarien (Kosten und Termine) mit einer Variation der Parameter

- Ausbruchsklassenverteilung
- Vortriebsleistung (m/d)
- Einheitspreis der Ressourcen

gebildet werden. Üblicherweise erstellt man die drei Szenarien "realistisch" oder wahrscheinlich (REAL), "optimistisch" (OPT) und "pessimistisch" (PES) (Bild 7). Nachdem die linearen Ressourcen mit dem Baufortschritt laufend nachgerechnet werden, können die so ermittelten Kennwerte als aktualisierte Grundlage für all drei Szenarien beigezogen werden.

Mit Hilfe der Szenarien verbessern sich die Beurteilung der bereits ausgeführten Bauarbeiten und deren zukünftige voraussichtliche Abwicklung sowie Einschätzung des Streumaßes für Kosten und Termine. Damit verfügen die Bauherrschaft und die jeweiligen Bauleitungen über das notwendige Hilfsmittel, um während des Vortriebs vertragliche Divergenzen aufdecken zu können und sie können nötigenfalls Detailabklärungen durchführen, um die

Ursachen zu ermitteln und Verbesserungsvorschläge unverzüglich auszuarbeiten.

5. Resümée

Die AlpTransit Gotthard AG hat zusammen mit ihren Projektingenieuren einen sehr hohen Qualitätsstandard in Bezug auf Transparenz und Prognosequalität erreicht. Das zur Verfügung stehende Instrumentarium liefert die notwendigen Informationen um Veränderungen rechtzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

6. Literatur

- [1] Baumgärtner U.; Hagedorn T., Büchler T.: Baubegleitende Kostenprognose bei Mega-projekten - am Beispiel Tunnelbau. Der Bauingenieur, Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, S. 68 - 75, Düsseldorf, Band 79, Februar 2004.
- [2] Stempfel B.; Bianchi M.: EDV-gestützte Dokumentation zur verbesserten Entscheidungsfindung während des Vortriebs. Baublatt, Schück Söhne AG Verlag, CH-Rüschlikon, Auflage vom 27. September 2005.