

# QUALITÄTSMANAGEMENT – MASSNAHMEN ZUR SICHERSTELLUNG DER VEREINBARTEN QUALITÄT<sup>1</sup>

Heinz Ehrbar  
Peter Zbinden  
Luzi R. Gruber

## 1 GRUNDSÄTZE DES QUALITÄTSMANAGEMENTS BEI LANG DAUERNDEN PROJEKTEN

Die neue Alpentransversale am Gotthard stellte in Anbetracht der Grösse, der politischen Bedeutung und des aussergewöhnlich langen Basistunnels für alle Beteiligten eine nicht alltägliche Herausforderung dar. Dabei war den Projektverantwortlichen von Anfang an klar, dass das Grossprojekt AlpTransit Gotthard kein Abenteuer werden durfte. Der Bund als Auftraggeber musste sich darauf verlassen können, dass das Projekt so ausgeführt wird, wie es von Parlament und Volk beschlossen wurde: in der verlangten Qualität, im vorgegebenen Zeitraum und im vereinbarten Kostenrahmen [1].

Es war deshalb selbstverständlich, dass sich die Verantwortlichen schon ab den frühesten Projektphasen intensiv Gedanken darüber machten, wie dieses im Brennpunkt des nationalen und internationalen Interesses stehende Bauvorhaben bestmöglich und treffsicher realisiert werden konnte.

Basierend auf der damals gültigen Qualitätsmanagement-Norm SN EN ISO 8402 (1994) wurde unter Qualität allgemein die Gesamtheit von Merkmalen eines Projektes verstanden, welche geeignet waren, festgelegte oder vorausgesetzte Anforderungen zu erfüllen. Die damalige Projektleitung AlpTransit Gotthard der SBB<sup>2</sup> und später die AlpTransit Gotthard AG liessen sich bei der Festlegung der Qualitätsforderungen vom Grundgedanken leiten, dass die Qualitätskriterien nicht nur die bau- und bahntechnischen sowie betrieblichen Aspekte, sondern zusätzlich auch die zeit- und kostenbezogenen Grössen, aber auch die gesellschaftlichen Anliegen umfassen sollten. Dementsprechend wurde die Bauwerksqualität, wie in ► **Tabelle 1** beschrieben, definiert:

Alle Projektbeteiligten waren gefordert, alles Notwendige zu tun, um die mit den konkreten Projektanforderungen festgelegten Qualitätsziele auch zu erreichen. Der Bauherr verpflichtete deshalb alle seine Auftragnehmer mittels vertraglicher Vereinbarungen zu einem systematischen, wirkungsvollen Qualitätsmanagement (QM).

1 Dieser Beitrag basiert auf der Publikation «AlpTransit Qualitätsmanagement», Schweizer Baublatt, Nr. 82/1996; er wurde in grossen Teilen wörtlich übernommen und durch die Autoren aktualisiert.  
2 Bis Ende 1997 war die Bauherrenfunktion in einer Projektorganisation der Schweizerischen Bundesbahnen angesiedelt, Projektleitung AlpTransit SBB. Ab 1998 ging diese Organisation in die neue Erstellerorganisation «AlpTransit Gotthard AG» über. Im Rahmen dieses Beitrags wird für beide Organisationen der Begriff «Bauherr» verwendet.

### Definition der Bauwerksqualität

Bauwerksqualität ist die technisch und wirtschaftlich optimale Erfüllung aller festgelegten, vereinbarten und vorausgesetzten Anforderungen des Bestellers an ein Bauwerk in Bezug auf das fertige Produkt, das heisst:

- » Bauwerke oder Anlagen (Funktion, Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Ästhetik),
- » Kosten (Investitions-, Betriebs-, Unterhalts-, Folgekosten)
- » und Termine (Planungs- und Bauzeit, Nutzungsdauer),

unter angemessener Berücksichtigung der Anliegen der Gesellschaft (Immissionen, Ressourcen, Ökologie).

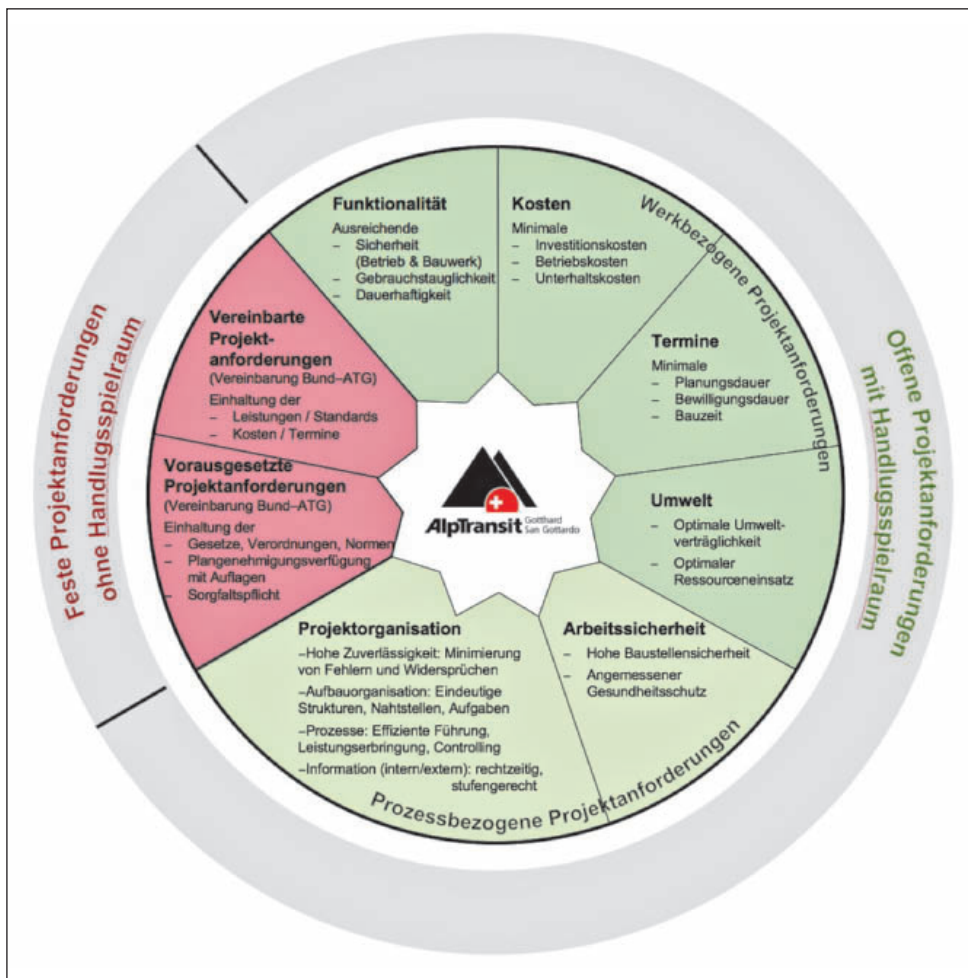
► **Tabelle 1** Definition der Bauwerksqualität [2]

Die Projektverantwortlichen waren sich ab dem Projektstart stets bewusst, dass die Erreichung der Qualitätsziele in jedem Prozessschritt gefährdet sein konnte. Nur wenn man die möglichen Gefahren frühzeitig erkannte, konnte man diese rechtzeitig und verantwortungsbewusst angehen, weshalb das Risikomanagement ein wesentlicher Bestandteil des QM war (siehe XVI 5 «Projektrisikomanagement – wichtigstes Instrument zur erfolgreichen Projektsteuerung»). Dabei war es das Ziel, die Projektrisiken zu minimieren und optimale Nahtstellen zwischen allen Projektbeteiligten sicherzustellen.



Quelle: IG GBT Süd

► **Bild 1** Das Bahntechnikgebäude in Faido als Musterbeispiel für die Umsetzung der Qualitätsanforderungen



Quelle: ATG

► Bild 2 Gesamtheit der Projektanforderungen

Vier Augen sehen mehr als zwei; darum überprüfte ein Team von Fachleuten mit internationaler Erfahrung unabhängig von den projektierenden Ingenieuren, ob die Risiken richtig erkannt waren. So wurde zum Beispiel geprüft, ob die Erkenntnisse über den Baugrund in zweckmässige Baumethoden umgesetzt wurden. Das Vier-Augen-Prinzip war ein unverzichtbarer Teil des QM.

Das QM-System wurde, auch in Anbetracht der langen Projektdauer, nicht als starres Regelwerk, sondern als ein sich stets weiterentwickelndes Führungsinstrument verstanden. Das QM-System erlaubte Initiative und Freiheit, das heisst, es förderte eine lernende Organisation mit klaren Aufgaben und Verantwortlichkeiten für einen geordneten und nachvollziehbaren Projektablauf.

## 2 PROJEKTANFORDERUNGEN ALS GRUNDLAGE DER QUALITÄTSZIELE

Innerhalb des in Abschnitt 1 grob abgesteckten Rahmens identifizierte der Bauherr in einem ersten Schritt die relevanten Projektanforderungen. Dabei wurde zwischen festen (das heisst zwingenden Anforderungen ohne Definitionsspielraum für die Projektorganisation) und offenen Projektanforderungen (mit Definitionsspielräumen) unterschieden (siehe ► Bild 2).

### 2.1 Feste Projektanforderungen

Feste Projektanforderungen waren als Mussziele festgelegte Rahmenbedingungen und Grenzwerte, wie beispielsweise das Einhalten von Gesetzen und Normen, die Berücksichtigung der Trassierungsparameter, das Sicherstellen der Netzkapazitäten, die Einhaltung von Sicherheitsstandards, Eckterminen und Kreditrahmen. Die festen Projektanforderungen wurden in Form (nicht öffentlicher) technischer Standards zwischen dem Bund als Besteller, der AlpTransit Gotthard AG als Erstellerin und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) als Betreiberin vertraglich vereinbart [5]. Als Nutzungsdauer wurden für den Tunnelrohbau (exklusive Fahrbahn) 100 Jahre vereinbart. Während dieser Dauer dürfen keine erheblichen Betriebseinschränkungen (bezüglich Umfang und Dauer) auftreten und es darf kein wesentlicher baulicher Unterhalt notwendig werden.

### 2.2 Offene Projektanforderungen

2.2.1 Offene bauwerkbezogene Projektanforderungen  
Der Bauherr hatte die bauwerkbezogenen offenen Projektanforderungen gemäss ► Tabelle 2 festgelegt. Dabei galten diese ergebnisbezogenen Anforderungen sowohl für das fertige, in Betrieb genommene Bauwerk als auch für die verschiedenen Projektierungs- und Bauzustände.



Quelle: ATG

► Bild 3 Umsetzung der geforderten Nutzungsdauer von 100 Jahren in ein bauliches Konzept – zweischaliger Ausbau mit Abdichtungssystem

Zielbereiche	Hauptziele
Funktionale Aspekte:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» hohe Sicherheit</li> <li>» hohe Zuverlässigkeit</li> <li>» hohe Gebrauchstauglichkeit</li> <li>» hohe Dauerhaftigkeit</li> </ul>
Finanzielle Aspekte:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» niedrige Investitionskosten</li> <li>» niedrige Betriebskosten</li> <li>» niedrige Unterhaltskosten</li> </ul>
Zeitliche Aspekte:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» kurze Planungsdauer</li> <li>» kurze Bewilligungsdauer</li> <li>» kurze Bauzeit</li> </ul>
Gesellschaftliche Aspekte:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» geringe Umweltbeeinträchtigung</li> <li>» sparsamer Ressourceneinsatz</li> </ul>

► **Tabelle 2** Offene bauwerkbezogene Projektanforderungen [2]

Zielbereiche	Hauptziele
Aufbauorganisation:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» prozessbezogene Aufgaben/Funktionen</li> <li>» klare Kompetenzen/Verantwortlichkeiten</li> <li>» flache Organisationsstruktur</li> <li>» grosse Flexibilität</li> </ul>
Ablauforganisation:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» kurze und zeitgerechte Entscheidungsprozesse</li> <li>» rasches und fehlerfreies Informationswesen</li> <li>» stufengerechtes Projektcontrolling</li> <li>» offene und umfassende Öffentlichkeitsarbeit</li> </ul>
Mittel:	<ul style="list-style-type: none"> <li>» minimaler Ressourceneinsatz</li> <li>» weitgehende Digitalisierung</li> </ul>

► **Tabelle 3** Offene bauprozessbezogene Projektanforderungen [2]

### 2.2.2 Offene bauprozessbezogene Projektanforderungen

Für die Leistungserbringung, das heisst für die Planung, Projektierung und Ausführung, hatte der Bauherr die bauprozessbezogenen offenen Projektanforderungen gemäss ► **Tabelle 3** definiert.

Diese bauprozessbezogenen Anforderungen galten sowohl für den Bauherrn als Auftraggeber als auch für sämtliche Auftragnehmer.

## 3 PROJEKTBEZOGENES QUALITÄTSMANAGEMENT (PQM)

Der Bauherr wollte mit der konsequenten Durchsetzung eines systematischen PQM sicherstellen, dass:

- a) alle wesentlichen Anforderungen des Bestellers und der öffentlichen Meinung an das Projekt AlpTransit-Achse Gotthard rechtzeitig erkannt und während des Baus und der Nutzung insgesamt optimal erfüllt werden,

- b) die Wahrscheinlichkeit von mangelhaften Projektgrundlagen und -annahmen sowie von Fehlentscheidungen minimal ist,
- c) die zielrelevanten Projektrisiken erkannt, eliminiert oder wenigstens möglichst gering gehalten und unter Kontrolle gebracht werden können und
- d) allfällig notwendige Präventiv- und Korrekturmassnahmen rechtzeitig eingeleitet werden.

Das PQM ist in der Hand des Erstellers ein bedeutendes und sehr wirkungsvolles Führungsinstrument auf dem Weg zum angestrebten Projekterfolg. Das PQM sollte dabei weder als allgemeines «Schmiermittel» flächendeckend eingesetzt werden, noch durfte es die Beteiligten von ihrer Selbstkontrolle und Eigenverantwortung entbinden. Der Bauherr vertrat dementsprechend die Grundhaltung, dass sich das PQM primär auf die wesentlichen phasenbezogenen Projektrisiken konzentrieren sollte. Als Projektrisiken wurden die besonders gefährdeten Projektanforderungen betrachtet. Die wesentlichen Projektrisiken wurden aufgrund einer umfassenden Risikoanalyse für jede Projektphase identifiziert. Für die Phase Bauprojekt des Gotthard-Basistunnels (GBT) ergaben sich die folgenden bedeutenden Projektrisiken als Qualitätsschwerpunkte (Q-Schwerpunkte) [2]:

- » Investitionskosten,
- » Bauzeit,
- » Sicherheit (Bauwerkssicherheit, Arbeitssicherheit, betriebliche Sicherheit),
- » Dauerhaftigkeit,
- » Gebrauchstauglichkeit,
- » Unterhaltskosten.

Die Rangfolge der Projektrisiken war von der betrachteten Projektphase und vom konkreten Bauvorhaben bzw. Bauwerksabschnitt abhängig. So stellte zum Beispiel die Dauer des Bewilligungs- und Genehmigungsverfahrens vor allem in den Phasen Vor- und Auflageprojekt ein grosses zeitliches Risiko dar, während dies in den nachfolgenden Phasen Bau- und Ausführungsprojekt praktisch bedeutungslos wurde.

Die Instrumente des PQM (siehe ► **Bild 4**) sollten gemäss der Grundhaltung der ATG schwergewichtig bei den grossen bauwerk- und bauprozessbezogenen Risiken ansetzen. Die Einhaltung der festen Projektanforderungen wurde von der Projektorganisation als bekannt vorausgesetzt. Schulungen, ein geeignetes Sitzungswesen und Kontrollaudits unterstützten deren Umsetzung.

## 4 UQM UND PQM – DAS ZUSAMMENSPIEL VON UNTERNEHMENSBEZOGENEM UND PROJEKTBEZOGENEM QUALITÄTSMANAGEMENT

Der Bauherr (ATG) beauftragte praktisch ausschliesslich nach der Qualitätsmanagement-Norm EN ISO 9001 zertifizierte Auftragnehmer, welche somit über ihr eigenes unternehmensbezogenes Qualitätsmanagementsystem (UQM-System) ver-

fügen. Über Vorgaben und die vertragliche Verpflichtung der Auftragnehmer, diese Vorgaben einzuhalten, stellte der Bauherr sicher, dass ein in sich geschlossenes PQM entstand.

Das vom Bauherrn definierte PQM umfasste die nachstehend beschriebenen Qualitäts-(Q-)Instrumente (siehe ► Bild 5).

**4.1 Q-Planung**

Für jede Projektphase wurden die QM-Vorgaben durch den Bauherrn in seiner Rolle als Auftraggeber festgelegt. Der Q-Lenkungsplan beinhaltete die bauherrnseitige Festlegung der Q-Schwerpunkte und die Definition der generellen QM-Anforderungen an die Auftragnehmer. Als Q-Schwerpunkte galten jene Qualitätsforderungen bzw. Projektelemente, die für den Projekterfolg von hoher Bedeutung waren und auf die sich dementsprechend die QM-Massnahmen der Projektbeteiligten in der jeweiligen Projektphase zu konzentrieren hatten. Q-Schwerpunkte wurden vor allem mit Bezug auf grosse Projektrisiken, das heisst besonders gefährdete, bedeutungsvolle Projektanforderungen, gesetzt. Bei fehlenden grossen Projektrisiken wurde der Einsatz eines PQM als nicht gerechtfertigt betrachtet. Die QM-Anforderungen wiederum legten sämtliche PQM-relevanten Forderungen des Auftraggebers an den Auftragnehmer fest. Die QM-Anforderungen wurden dem Auftragnehmer bereits mit den Ausschreibungsunterlagen bekanntgegeben, damit dieser im Zuge seiner Angebotsabgabe sein QM-Konzept ausarbeiten konnte. Mit seiner Erklärung zur

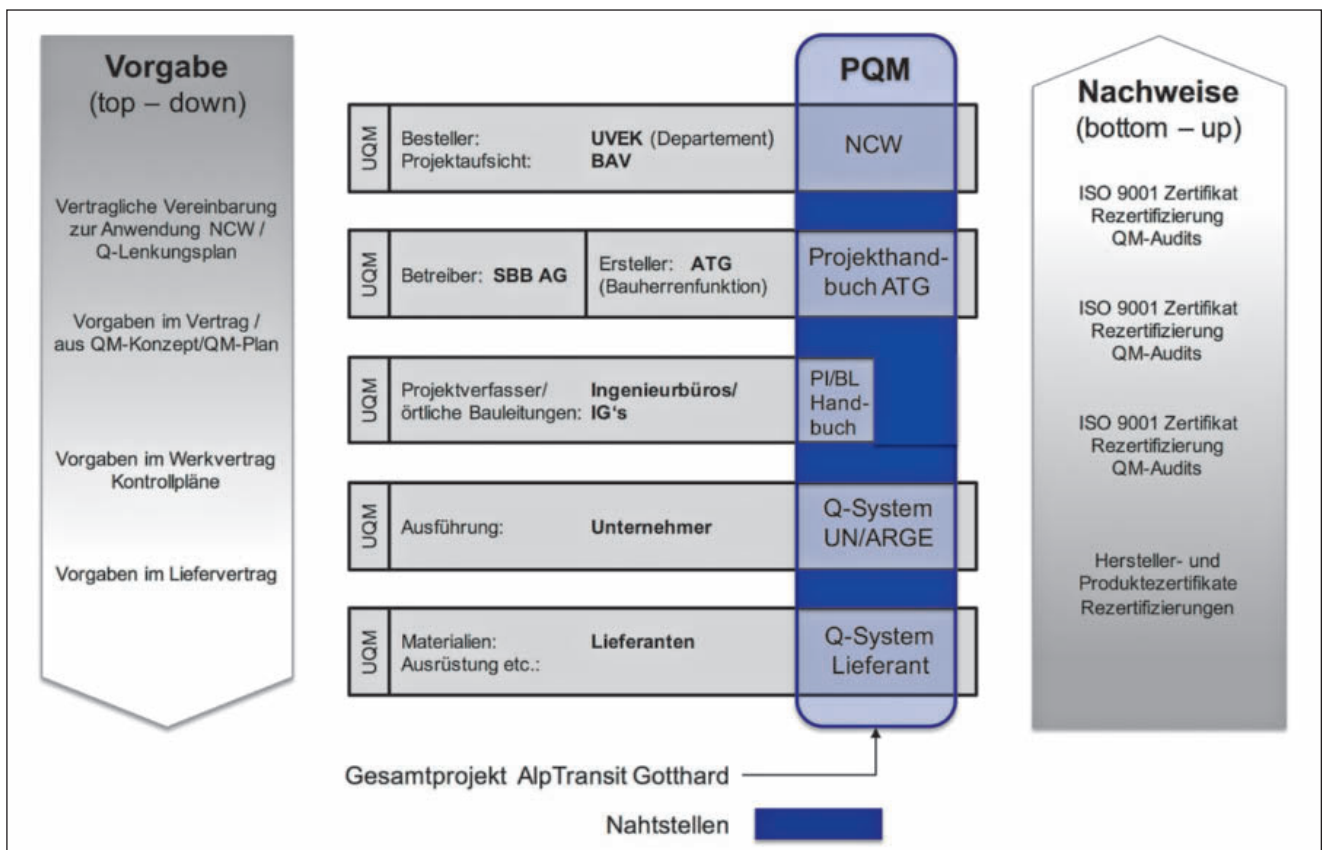
Annahme eines Angebotes und des darin enthaltenen Q-Konzepts des Unternehmers (UN) übertrug der Auftraggeber im Rahmen des Auftragsverhältnisses wesentliche Teile der Qualitätsverantwortung an den Auftragnehmer [2].

**4.2 Die QM-Vereinbarung – das vertragliche Bindeglied zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer**

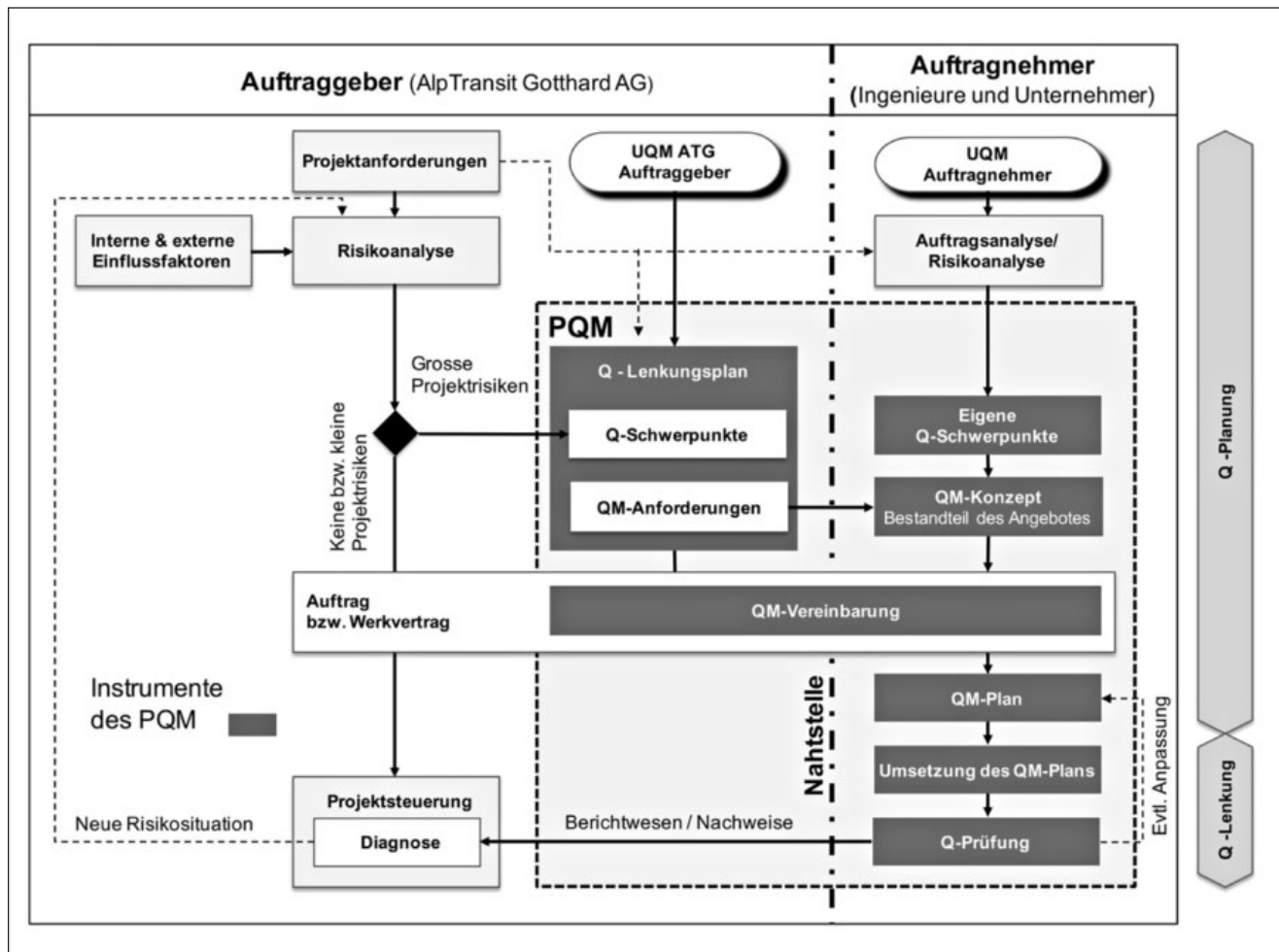
Die QM-Vereinbarung bildete das vertragliche Bindeglied zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer bezüglich aller PQM-relevanten Anforderungen. Sie war ein integrierter Bestandteil des Auftrags bzw. des Werkvertrags. Zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses basierte die QM-Vereinbarung auf den QM-Vorgaben des Bauherrn und dem mit seiner Erklärung zur Annahme des Angebotes genehmigten QM-Konzept des Auftragnehmers. Der nach der Auftragserteilung entwickelte QM-Plan des Auftragnehmers bildete nach seiner Genehmigung den nachgeführten Bestandteil der QM-Vereinbarung. Später erforderliche Anpassungen der QM-Anforderungen und des QM-Planes wurden ebenfalls Bestandteil der QM-Vereinbarung.

**4.3 Q-Lenkung**

In der Ausführungsphase war die Q-Lenkung schliesslich Sache des Auftragnehmers. Sie beinhaltete die konsequente Umsetzung seines QM-Planes, die Q-Prüfungen gemäss Prüfplan und das Führen der entsprechenden Nachweise zuhanden des Bauherrn bzw. seiner Vertreter auf der Baustelle.



► Bild 4 Das PQM bildet die projektbezogene Klammer um die verschiedenen unternehmensbezogenen Qualitätsmanagement-systeme (UQM-Systeme)



Quelle: [2]

► Bild 5 Zyklus und Instrumente des projektbezogenen Qualitätsmanagements (PQM)

Ungenügende Ergebnisse der Q-Prüfung konnten eine Anpassung des QM-Planes oder neue QM-Anforderungen zur Folge haben [2].

#### 4.3.1 Der QM-Plan der Auftragnehmer als zentrales Steuerungselement

Die Auftragnehmer legten in ihren QM-Plänen jeweils die spezifischen qualitätsbezogenen Arbeitsweisen, Abläufe und Hilfsmittel sowie die entsprechenden Verantwortlichkeiten im Hinblick auf den Vertragsinhalt und ganz besonders in Bezug auf die Q-Schwerpunkte fest. Zusätzlich zu den schwerpunktbezogenen Regelungen sollte der QM-Plan auch die Umsetzung der übrigen QM-Anforderungen des Auftraggebers (zum Beispiel Systemanforderungen) darlegen. Dabei konnte auf bereits bestehende Instrumente (zum Beispiel UQM-System des Auftragnehmers, Nutzungs- und Sicherheitsplan) verwiesen werden.

Der QM-Plan wurde in der Regel schrittweise entwickelt. Mit der Angebotsabgabe verlangte der Bauherr von den Anbietern ein auftragsbezogenes generelles QM-Konzept, welches den Einsatz des UQM-Systems (Einzelunternehmung oder ARGE) in Bezug auf den konkreten Vertrag, das generelle Eingehen auf die QM-Anforderungen des Auftraggebers sowie die Folgerun-

gen aus den Risikobetrachtungen des Anbieters (zum Beispiel eigene, fachbezogene Q-Schwerpunkte) aufzeigte.

Im Rahmen des Offertvergleichs wurden die Aussagen des Unternehmers zum PQM in der Regel mit einem doch beachtlichen Gewicht von 10 % des technischen Wertes der Zuschlagskriterien für die Vergabe der Arbeiten berücksichtigt. Dadurch wurde den Anbietern schon in der Ausschreibungsphase signalisiert, dass den Instrumenten des QM seitens des Bauherrn eine hohe Bedeutung zukommt. Der detaillierte QM-Plan wurde erst nach Vertragsabschluss ausgearbeitet und später dem Projektverlauf entsprechend angepasst oder ergänzt. [2]

## 5 KONSEQUENTES VIER-AUGEN-PRINZIP – DIE SICHERHEITSORIENTIERTE PRÜFUNG IM TUNNELBAU

Im Rahmen der eigenen technischen Aufsichtspflicht, welche vom Bund rechtlich bindend vorgeschrieben war [4], wurde beim Projekt AlpTransit Gotthard in jeder Projektphase das Instrument der sicherheitsorientierten Prüfung (SIOP) eingesetzt. Der Einsatz eines SIOP-Teams, bestehend aus projektunabhängigen, für die einzelnen Fachgebiete hoch qualifizierten Fachleuten, bildete einen festen Bestandteil des UQM des

Bauherrn und konzentrierte sich primär auf die Aspekte der Bauwerkssicherheit in der Bau- und Nutzungsphase. Dabei wurden die spezifisch mit dem Tunnelbau verbundenen Risiken ausgelotet und die Zweckmässigkeit des Projekts aus einer unabhängigen Optik heraus beurteilt. Für den Bauherrn waren die mit dem Tunnelbau verbundenen baulichen Risiken bis zum Tag des Durchschlags einer der grossen Risikoschwerpunkte. Es war für ihn deshalb wichtig, dass nicht nur mit den als wahrscheinlich angesehenen Kosten und Terminprognosen operiert wurde, sondern ebenso wichtig war die Angabe ihrer Streumasse (siehe XVI 5 «Projektrisikomanagement – wichtigstes Instrument zur erfolgreichen Projektsteuerung»).

Von den im Abschnitt 3 aufgelisteten Q-Schwerpunkten wurden durch das SIOP-Team diejenigen Bereiche, welche das Erreichen der gesteckten Ziele am nachhaltigsten stören konnten, besonders hinterfragt. In den Phasen Vorprojekt, Auflage- und Bauprojekt sowie in der Ausschreibungsphase waren folgende Bereiche schwergewichtig [3]:

- » geologische und hydrogeologische Prognose,
- » Linienführung, Baukonzept mit Zwischenangriffen,
- » Baumethoden,
- » Vortriebsleistungen und Bauprogramme,
- » Ermittlung der Baukosten.

### 5.1 Geologische und hydrogeologische Prognose

Das SIOP-Team hatte aus einer unabhängigen «Zweitposition» auch zu überprüfen, ob die Prognose der beauftragten Projektgeologen die vorliegenden Erkenntnisse aus der Literatur berücksichtigte, Aufschlüsse aus ausgeführten Untertagbauten mit einbezogen und durch ergänzende Feldaufnahmen vervollständigt wurden. Bestandteil der Prüfung war auch die Beurteilung der Notwendigkeit und des Umfangs von geologisch-hydrogeologischen Sondierprogrammen, um bautechnisch kritische Zonen angemessen zu erkunden. So führte beispielsweise die Prüfung durch die SIOP bei den Sondierbohrungen für die Galleria di Bellinzona (zweite NEAT-Etappe) zur Empfehlung, das Sondierprogramm zu reduzieren, da der Nutzen an zusätzlichen Erkenntnissen in einem ungünstigen Verhältnis zu den Kosten gestanden hätte. Für den Südrand des Aar-Massivs beim GBT hingegen wurden zusätzliche Feldaufnahmen verlangt, um die tektonische Modellbildung zu erweitern und dadurch das Spektrum der geologischen Prognose besser zu erkennen [3].

### 5.2 Linienführung, Baukonzept und Baumethoden

Die Umsetzung der geologisch-hydrogeologischen Prognosen in bautechnische Massnahmen und Konzepte war der wichtigste Planungsschritt. Bei der SIOP ging es darum, sich aus unabhängiger Sicht, entsprechend vorerwählter Risikoanalyse, ein Urteil über folgende Aspekte zu bilden:

- » Wurde das Baukonzept mit den Zwischenangriffen optimal gewählt?
- » Waren bei der Wahl der Linienführung alle massgebenden Einflüsse berücksichtigt worden?
- » Entsprachen die vorgeschlagenen Baumethoden und das Konzept des Tunnelausbaus den Erfahrungen des Prüfteams?

Beim GBT wurden die Linienführung und das Konzept der Zwischenangriffe in der Vorprojektphase intensiv hinterfragt, bearbeitet und geprüft. Die unabhängige Beurteilung ergab keine Einwände gegen das vom Projektingenieur vorgelegte Projekt. Der Bauherr konnte davon ausgehen, dass in diesem wichtigen Bereich eine optimale Lösung gefunden war. Bei der Prüfung der Baumethoden und des Konzeptes des Tunnelausbaus wurden die von den Projektingenieuren erarbeiteten Projektdaten, wie Normalprofile, Ausbruchsicherungstypen, Ausbruchklassen, Konzepte zur Überwindung von kritischen Stellen wie beispielsweise Störzonen mit kakiritisiertem Gestein, im Detail analysiert [3].

### 5.3 Vortriebsleistungen und Bauprogramme

Die Prognose der Gesamtbauzeit und damit auch der Gesamtkosten war direkt abhängig von den prognostizierten Vortriebsleistungen. Die unabhängige Überprüfung der angenommenen Leistungen war deshalb ein wichtiger Bestandteil des SIOP-Mandates. Beim GBT galt es beispielsweise, losbezogen abzuwägen, ob der an sich raschere TBM-Vortrieb wegen der Gefahr des Einklemmens in Strecken mit Gebirgsverformungen schlussendlich nicht doch eine längere Bauzeit ergeben würde als der flexiblere konventionelle Vortrieb. Welche der beiden Methoden in welchem Baulos zum Zug kommen sollte, hing von den Risikobetrachtungen des Bauherrn und des Unternehmers sowie von den Kosten ab. Folgerichtig wurden dann auch in den Teilabschnitten Amsteg und Faido beide Vortriebsmethoden ausgeschrieben.

### 5.4 Baukosten

Bei jedem Bauvorhaben sind die Baukosten für den Bauherrn ein äusserst sensibler Bereich und bilden insbesondere im Tunnelbau einen Risikoschwerpunkt. Die Baukostenprognosen wurden deshalb bei jedem Objekt bereits nach abgeschlossenem Vorprojekt einer Prüfung unterzogen, wobei es weniger um eine detaillierte Nachrechnung ging als vielmehr um eine Vergleichsbetrachtung mit ausgeführten grossen Tunnelprojekten. Für die Phase des Bauprojekts wurde dann eine vom Projektingenieur unabhängige Kostenberechnung durchgeführt [4].

### 5.5 Einbindung der SIOP in den Projektablauf

Das SIOP-Team war der Geschäftsleitung ATG unterstellt und handelte in deren Auftrag. Die Durchsetzung der aus den Prüfungen hervorgehenden Massnahmen oblag den Abschnittsleitungen, welche die Projektingenieure innehatten. Im SIOP-Team mussten entsprechend der umfassenden Aufgabenstellung vielfältige Kompetenzen in den Fachgebieten Geologie/Hydrogeologie und Tunnelbauplanung/Felsmechanik/Baumethoden vorhanden sein. Für Spezialfragen wurden weitere Experten beigezogen, wie zum Beispiel für die Vertikalschächte in Sedrun, Aspekte der Arbeitssicherheit und Fragen zur Gefährdung durch Erdgas.

Aus ► **Bild 6** geht hervor, wie die sicherheitsorientierte Prüfung in den Projektablauf eingebunden war. Zum grösstmöglichen Nutzen für das Projekt wurde dieses Instrument projektbeglei-

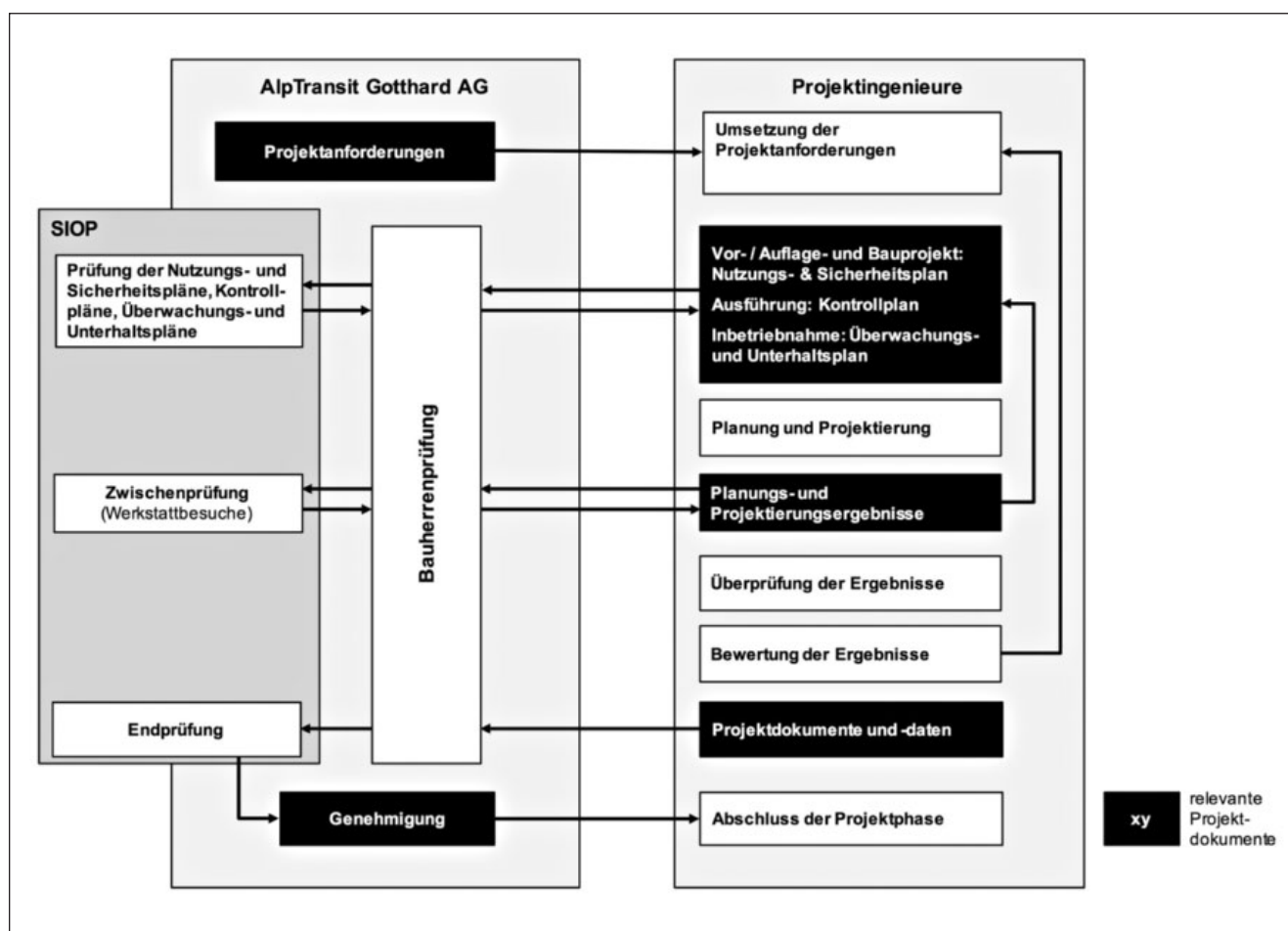
tend eingesetzt. Das heisst, dass die Projektierungsergebnisse nicht erst am Schluss einer Projektphase mit Vorliegen sämtlicher Projektdokumente und -daten geprüft wurden. Vielmehr wurde der Projektierungsprozess kontinuierlich begleitet. Dem SIOP-Team standen sämtliche massgebenden Zwischenresultate zur Verfügung. Ergebnisse von Zwischenprüfungen wurden in Form von Stellungnahmen festgehalten. Am Schluss jeder Projektphase fand eine Endprüfung statt. In einem Bericht wurde auf nachvollziehbare Weise festgehalten, was Gegenstand der Prüfung war und wie das Prüfergebn zustande kam. Es sollte dadurch auch Aussenstehenden möglich sein, die Prüfung nachzuvollziehen. Im Weiteren bildeten die Empfehlungen für die nächste Projektphase einen integrierenden Bestandteil des Berichtes [3].

### 5.6 Direkte Werkstattgespräche

Dem gewählten Vorgehen eines projektbegleitenden Prozesses entsprechend wurden die Fragestellungen des SIOP-Teams an sogenannten Werkstattbesuchen bearbeitet. Das direkte Gespräch mit den Projektingenieuren gewährleistete, dass der neueste Projektstand beurteilt wurde und nicht bereits überholte Projektunterlagen der Prüfung unterzogen wurden. Der Tunnelbau ist generell ein Gebiet, bei dem die Erfahrung eine grosse Rolle spielt und die Baumethoden sich in einer steten

Weiterentwicklung befinden. Bei einem so aussergewöhnlichen Tunnelbauvorhaben mit neuartigen Anforderungen wie beim GBT waren bereits im Vorfeld entsprechende Entwicklungen in der Industrie, bei Tunnelbauunternehmungen wie auch in Hochschulen und Forschungslabors auszulösen. Solch spezielle Projekte können deshalb nicht alleine auf der Basis bisheriger Erfahrungen beurteilt werden.

Auch hier erwies es sich als wertvoll, dass die Grundannahmen und Hintergründe des Projekts in den Werkstattbesuchen gemeinsam erörtert wurden. Damit die projektbegleitende SIOP ihre maximale Wirkung zugunsten des Projekts erzielen konnte, war es wichtig, dass dieses Vorgehen bei den beauftragten Projektingenieuren und -geologen auf eine hohe Akzeptanz stiess. Die Projektingenieure mussten ohne Vorbehalte zur Zusammenarbeit bereit sein. Die Erfahrung zeigte, dass fruchtbare Fachgespräche stattfinden konnten und das Projekt im Verlaufe des Bearbeitungsprozesses im gegenseitigen Einvernehmen durchaus positive Veränderungen erfuhr. Durch den Bauherrn oder das SIOP-Team wurde mit der Durchführung der SIOP keine technische oder juristische Verantwortung übernommen. Der Projektingenieur blieb dem Bauherrn gegenüber alleine verantwortlich; er durfte sich nicht darauf verlassen, dass seine Projektierungs-



Quelle: [4]

► Bild 6 Konsequente Umsetzung des Vier-Augen-Prinzips durch Einbindung der sicherheitsorientierten Prüfung in den Projekt-ablauf



► **Bild 7** Analysen vor Ort zwischen Unternehmer, Projektgenieur, örtlicher Bauleitung, Geologe, SIOP-Experten und Bauherrenvertretern im Teilabschnitt Faido

ergebnisse lückenlos und vertieft überprüft wurden. Sein eigenes UQM wurde vorausgesetzt.

Konflikte entstanden dann, wenn die Beurteilung des SIOP-Teams von derjenigen der Projektgenieure abwich. Falls es bei den gemeinsamen Fachgesprächen in den Werkstattbesuchen nicht gelang, eine Einigung zu erzielen, waren beide Seiten aufgefordert, ihre Argumente der Bauherrschaft (ATG) zu unterbreiten und ihr die Angelegenheit zum Entscheid vorzulegen. Im Falle von Entscheidungen des Bauherrn zugunsten des SIOP-Organs und gegen den Projektgenieur hatte der Bauherr die entsprechenden Risiken zu übernehmen. Solche Fälle waren sehr selten.

### 5.7 Erfahrungen

Der Einsatz des Instrumentes SIOP im Rahmen des UQM war für den Bauherrn am GBT neu. Ebenso neu war die damit verbundene Beauftragung externer Fachleute. Rückblickend werden die Erfahrungen mit dem gewählten Konstrukt aus Bauherrnsicht als positiv beurteilt. Durch den Einsatz eines Teams von unabhängigen Fachleuten wurde die Gewissheit vergrößert, die richtigen Entscheidungen in Relation zu den Risikoschwerpunkten getroffen zu haben und damit ein Projekt von hoher Qualität zu erhalten. Dank phasenbezogenen Schlussberichten der SIOP ist dieser Aspekt der Qualitätssicherung auch für einen Aussenstehenden nachvollziehbar dokumentiert. Durch das offene Gespräch zwischen den Fachleuten, den Projektgenieuren und -geologen zu kritischen Fragestellungen wurden Synergien genutzt, womit für das Projekt ein sehr hoher Qualitätsstand gesichert wurde.

## 6 UMSETZUNG IM PROJEKT UND AUF DER BAUSTELLE DURCH DIE PROJEKTGENIEURE

### 6.1 Umsetzung der Projektvorgaben

Die Anforderungen an das Projekt waren phasenbezogen in spezifischen Vorgaben des Bauherrn festgehalten. Zusätzlich galten die einschlägigen Normen und die SBB-Weisungen. Die Projektgenieure setzten diese Vorgaben in den Nutzungs- und Sicherheitsplänen gemäss der SIA-Norm 160 um (ab 2003: Nutzungsvereinbarung und Projektbasis gemäss SIA-Norm 260) und lieferten damit dem Bauherrn in einer Art «Zielquittung» eine nachprüfbare Antwort darauf, ob Konflikte oder Widersprüche vorhanden waren. Die Nutzungs- und Sicherheitspläne erwiesen sich als wichtiges Kommunikationsmittel zwischen dem Bauherrn und dem Projektverfasser und wurden von der Geschäftsleitung der ATG genehmigt. Nach Abschluss jeder Projektphase wurde überprüft, ob das Projekt den genehmigten Nutzungs- und Sicherheitsplänen entsprach [3]. Aus diesen Plänen, die laufend verfeinert wurden, konnten die erforderlichen Materialeigenschaften hergeleitet werden, welche für die korrekte Umsetzung der Projektvorgaben notwendig waren.

### 6.2 Materialeigenschaften und Kontrollplan

In der Submission wurde eine Materialisierung der Anforderungen vorgenommen. Sie basierte vor allem auf den einschlägigen Normen und den Ansprüchen aus dem Nutzungs- und Sicherheitsplan. Materialspezifikationen wurden im Leistungsverzeichnis und in den «Besonderen Bestimmungen» festgelegt. Die geforderten Qualitätsprüfungen gingen zulasten des





Quelle: ATG

► **Bild 8** Einbau eines Abdichtungssystems, das zusammen mit der Industrie für die NEAT-Basistunnel am Lötschberg und am Gotthard entwickelt wurde.

Bauherrn. Bei Nichterreichen der geforderten Werte hatte der Unternehmer die Prüfkosten, die Entnahme neuer Prüfkörper am Bauteil und allfällige Massnahmen zur Qualitätsverbesserung zu übernehmen. Die einzelnen Prüfgegenstände bzw. Kontrollpunkte wurden in ausführlichen Listen mit den Qualitätsanforderungen und den zu kontrollierenden bzw. zu prüfenden Eigenschaften festgehalten.

Die mehrseitigen Tabellen wurden aufgeteilt in verschiedene Arbeitsgattungen bzw. Prüfgegenstände und in die folgenden Hauptkapitel gegliedert (alle Beispiele Teilabschnitt Faïdo, Bauilos 452):

- » Ausbruch (unter anderem Profil, Vermessung/Absteckung, Vortrieb, felsmechanische Messungen, Wasser, Vorauserkundung),
- » Ausbruchsicherung (Anker, Stahleinbau, Netzbewehrung),
- » Ortbetonsohle (Oberfläche, Betonqualität),
- » Abdichtung/Gewölbedrainage (Vorabdichtung, Profil, Abdichtung),
- » Innengewölbe (unter anderem Bewehrung, Schalungen, Betonieren, Ausschalen, Profil),
- » Bankette/Drainageleitungen (Bankette/Rohrleitungen, Beton),
- » Betonarbeiten (unter anderem Vorversuche, Transport, Ortbeton-Frischbetonkontrolle, Einbringen, Verarbeiten),
- » Bewehrung (Eignungs- und Zulassungsprüfung, Überwachung während Einbau, Prüfung am Einbauort),
- » Bauhilfsmassnahmen.

Zu jedem der oben genannten Themen wurden die folgenden Festlegungen durch den Bauherrn bzw. dessen Projektgenieur getroffen:

- » Grundlagen/Normen,
- » Art/Name der Prüfung bzw. des Qualitätsnachweises,
- » Prüfkörper/Umfang der Probe,
- » Prüfungszeitpunkt,
- » Prüfungshäufigkeit,

- » Anzahl Prüfungen,
- » Veranlassung der Prüfung durch (zum Beispiel Unternehmer/Bauleitung),
- » Durchführung der Prüfung/Kontrolle durch (Prüfstelle),
- » Berichterstattung/Protokoll/Vollzugsmeldung,
- » Berichtsadressat,
- » Q-Anforderungen,
- » zulässige Abweichung vom Soll,
- » Freigabe bzw. Zulassungsentscheid durch (...),
- » Massnahmen bei ungenügendem Resultat,
- » Massnahmenanordnung durch (...),
- » Massnahmendurchführung durch (...).

Ein spezieller Kontrollplan wurde dem Ortbeton gewidmet, da dieser aus präqualifizierten Betonsorten, hergestellt aus gebrochenem Ausbruchmaterial, ausgewählt werden musste (siehe III 9 «Prüfungssystem für Betonmischungen»). Zusätzlich zu den systematischen Kontrollen gemäss Prüfplan wurden auch stichprobenartige Kontrollen auf Anordnung der Bauleitung durchgeführt. Die örtlichen Bauleitungen prüften die Umsetzung der Kontrollpläne und rapportierten halbjährlich der Bauherrschaft.

## 7 QUALITÄTSSICHERUNGSMASSNAHMEN DES UNTERNEHMERS

Der Unternehmer, oder für die Hauptlose jeweils eine Arbeitsgemeinschaft (ARGE), wurde vertraglich verpflichtet, ein systematisches, wirkungsvolles QM-System zu erarbeiten und zu beachten. Dabei oblag es den einzelnen ARGE zu entscheiden, ob sie ein ISO-zertifiziertes QM-System eines Partners (im Idealfall des Federführers) oder ein projektspezifisches System, wie im Falle TRANSCO Sedrun, einsetzen.

Nachstehend wird am Beispiel des Werkvertrags Sedrun das Vorgehen des Unternehmers ARGE TRANSCO erläutert. Alle anderen Teilabschnitte des GBT enthalten analoge Bestimmungen und ähnliche Vorgehensweisen.

Der Werkvertrag Sedrun regelt bereits in der Werkvertragsurkunde (das ist das ranghöchste Werkvertragsdokument, gut 20 Seiten stark, welches die Unterschriften der beiden Werkvertragspartner enthält), unter Ziffer 1, Vertragsgegenstand, im Absatz 1.3 die Q-Schwerpunkte:

- » Einhaltung der Bauzeit und der Termine,
- » Einhaltung der Investitionskosten,
- » Gewährleistung der Arbeitssicherheit,
- » Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit,
- » Umweltbeeinträchtigung,
- » Gewährleistung der Zuverlässigkeit.

Der Artikel 10, Besondere Vereinbarung, regelt in Absatz 10.2 die Modalitäten des QM. Dort steht wörtlich: «Die beiden Parteien verpflichten sich zur Beachtung der Regeln des Qualitätsmanagements (QM) gemäss Norm SN EN ISO 9000 ff. und deren Interpretation im Merkblatt SIA 2007.»



Im Weiteren verpflichtet sich der Unternehmer zur Erfüllung der QM-Anforderungen, namentlich derjenigen, welche im Q-Len- kungsplan und im PQM-Konzept der ATG aufgeführt sind. Dazu erstellt der Unternehmer einen QM-Plan (Details dazu sind in den «Besonderen Bestimmungen» geregelt), dessen Basis die vore- währten Q-Schwerpunkte bilden. Beide Parteien verpflichten sich darüber hinaus zur unmittelbaren Konsultierung des Vertragspart- ners und zur Vereinbarung von vorbeugenden und korrigierenden Massnahmen, sobald nach ihrer Auffassung Anlass zur Verände- rung der Risikobeurteilung in den Q-Schwerpunkte besteht.


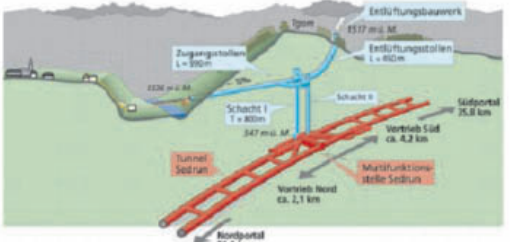
In der Folge erarbeitete der Unternehmer TRANSCO Sedrun vertragsgemäss den detaillierten Prüfplan. Dieses sehr umfang- reiche Dokument beschreibt ausführlich die Aktivitäten (Ge- genstand der Prüfung), die zu prüfenden Eigenschaften, die Prüfmethode, die Qualitätsanforderungen und deren Grenz- werte, die Zuständigkeit sowie die Massnahmen bei Nichter- füllung der Anforderungen. Zudem werden die Verfolgbarkeit der Dokumentation und die Aufzeichnung geregelt.

Die ARGE TRANSCO wählte, wie erwähnt, den Weg mit einem eigenen, projektbezogenen nach ISO 9001:2000 ff. zertifi-

zierten Führungssystem für das Projekt Sedrun. Darin waren einerseits die werkvertraglichen Anforderungen und anderer- seits die eigenen Bedürfnisse vollständig erfasst. Vorteil eines eigenen, projektbezogenen Führungssystems ist das massge- schneiderte Abbilden der Bedürfnisse beider Vertragspartner in einem System. Darin enthalten sind, nebst Massnahmen zur Sicherung der Q-Schwerpunkte des Bauherrn, naturgemäss die weiterführenden eigenen Risikoanalysen und das «interne» Qualitätssicherungskonzept. Die eigene Risikoanalyse listet nebst den Risikofaktoren des Bauherrn zum Beispiel folgende weitere Projektrisiken auf:

- » Ressourcen (Personal, Geräte etc.),
- » Spezialvortriebe TZM Nord (Machbarkeit, Leistungsrisiko etc.),
- » Mitarbeiterbelange (Rekrutierung, Personalbetreuung, Fluktuation etc.),
- » Sicherheit, Arbeitssicherheit (Grubenwehr, Ausbildung, Schulung etc.),
- » Logistik (Hochgebirge, Versorgung über «Flaschenhals- Schächte» etc.),
- » Liquidität/Ertrag (Finanzierung, Leistungsrisiko, Verrechnung etc.).

<b>TRANSCO - Sedrun</b> 	
Abschnitt <b>Basistunnel</b> <b>Tunnel Sedrun</b>	Sedrun Los 360 Werkvertrag
<b>VB II B4</b>	
<b>Unternehmensbezogenes QM</b> <b>Projektbezogenes QM</b>	
	
<b>TRANSCO - Sedrun</b> BATIGROUP AG Tunnelbau, Zürich Frutiger AG, Thun Bilfinger Berger AG NL Tunnelbau, D-München Pizzarotti S.p.a, I-Parma	
Zürich, 10. April, Ergänzungen Dezember 2002	

<b>TRANSCO - Sedrun</b> 	
Abschnitt <b>Basistunnel</b> <b>Tunnel Sedrun</b>	Sedrun Los 360
<b>Integrales Führungssystem</b>	
	
<b>TRANSCO - Sedrun</b> BATIGROUP AG Tunnelbau, Zürich Frutiger AG, Thun Bilfinger Berger AG NL Tunnelbau, D-München Pizzarotti S.p.a, I-Parma	
Stand 21.03.03	

Quelle: TRANSCO Sedrun

► **Bilder 9a und b** Aus dem angebotenen Q-Konzept des Unternehmers in Sedrun entstand ein integrales Führungssystem des Unternehmers mit Zertifizierung nach ISO 9001.



Quelle: ARGE TAT

► **Bild 10** Baustellenversuchsstand zum Nachweis des Verhaltens von HDPE-Entwässerungsrohren beim Einsatz verschiedener Reinigungstechniken

Das eigentliche «interne» Qualitätssicherungskonzept baut auf den klassischen Pfeilern auf: Leitbild, Strategie und Ziele. Im Leitbild wurden Erfolgsfaktoren angegeben, die Ziele wurden klar und stufengerecht in den Bereichen Kunde, Sicherheit, Finanzen, Prozessbeherrschung und Systemverbesserung formuliert. Resultat war auch eine klare, zweistufige

führungsstruktur mit einer eindeutigen Zuteilung der Verantwortlichkeiten.

Die Erfahrungen mit dem eigenen, projektbezogenen Führungssystem waren ausgezeichnet. Es fand hohe Akzeptanz und Wertschätzung. Insbesondere ist durch die Normanforderung, die internen Audits sowie die externen Erhaltungs- und Rezertifizierungsaudits jederzeit die Gewähr geboten, dass das System gelebt und unterhalten wird. Für Megaprojekte kann dieses Vorgehen nur zur Nachahmung empfohlen werden.

## 8 ERFAHRUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Der Bauherr hatte mit seinen Regelungen im Bereich des QM im Bauwesen Neuland betreten und die Auftragnehmer gingen diesen Weg mit hoher Professionalität mit. Rückblickend kann festgestellt werden, dass sich die konsequente Anwendung des gewählten Systems eindeutig bewährt hat. Sowohl bei den projektspezifisch definierten Betonrezepturen als auch bei den Abdichtungsfolien kam es dank frühzeitiger Abklärung und Vorarbeit, klaren Vorgaben und bauseitigen Kontrollen nie zu Qualitätsproblemen.

Handlungsbedarf ergibt sich künftig hingegen im Hinblick auf eine verstärkte bauherrnseitige Kontrolle bei Produkten, welche durch die Industriestandards qualitätsgesichert sind. Für




Quelle: IG GBT Süd

► **Bild 11** Der «Goldene Block» in Sedrun (letzter am GBT betonierter Innengewölbeblock) als Symbolbild für die hohe erreichte Qualität bei der Projektierung und Ausführung

ein Grossprojekt wie den GBT sind solche Standards eine notwendige Voraussetzung, aber zur Sicherung der geforderten hohen Qualität nicht hinreichend. Beim Bau des Innengewölbes mit Betonrezepturen unter Verwendung der vom Bauherrn zur Verfügung gestellten Zuschlagstoffe kam es nie zu einem Qualitätsproblem mit dem Beton. Das einzige Problem ergab sich beim Einsatz von Fremdbeton ab Werk in einer Tagbaustrecke. Ein weiteres Qualitätsproblem betraf die Lieferung von HDPE-Rohren, welche verschiedentlich die objektspezifisch definierten Qualitätskriterien trotz vorgelegter Lieferanten- und Produktezertifikate nicht voll erfüllten. Auch in diesem Fall sind die aus der zum Zeitpunkt der Projekterstellung genügenden, aus heutiger Sicht aber nicht mehr ausreichenden Qualitätserfordernisse und Prüfplananforderungen anzusprechen.

Aus diesen Erfahrungen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

1. Bei einem Megaprojekt wie dem GBT genügten die normgemässen Qualitätsprüfungen, insbesondere für systemrelevante Produkte, nicht. Der Bauherr muss aufgrund seiner spezifischen Risikoanalyse bewusst festlegen, welche zusätzlichen Prüfungen er anordnet.
2. Die mittel- und langfristige Dokumentation der Ergebnisse der Qualitätsprüfungen ist im Bauwesen generell nicht mehr zeitgemäss. Zur Beantwortung von Fragestellungen zur Qualität eines Bauelementes über das gesamte Objekt war am GBT das händische Befüllen von Vergleichstabel-

len das Standardwerkzeug (wie in vielen andern Projekten auch), was entsprechend hohen Aufwand verursachte. Es ist ein Gebot der Stunde, die Dokumentation der eingebauten Qualität durch den Einsatz neuester Technik wie Building Information Management (BIM) und künstlicher DNA konsequent und systematisch einen grossen Schritt vorwärts zu bringen. «Weg vom Papier – hin zur digitalen Dokumentation» muss das Motto sein. 

### Literatur

---

- [1] Zuber, P.; Sieber, A.: AlpTransit Qualitätsmanagement, Schweizer Baublatt, Nr. 82/1996
- [2] Schneebeli, W.; Schalcher, H. R.: Projektbezogenes Qualitätsmanagement in der Praxis, Schweizer Baublatt, Nr. 82/1996
- [3] Zbinden, P.; Kellenberger, J.: Sicherheitsorientierte Prüfung im Tunnelbau, Schweizer Baublatt, Nr. 82/1996
- [4] Bundesamt für Verkehr (BAV): Richtlinie zu Artikel 6 der Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen vom 23. November 1983 (EBV; SR 742.141.1), Sachverständigen-Richtlinie, 1. Mai 2000
- [5] Schweizerische Eidgenossenschaft: Vereinbarung zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft einerseits und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und der AlpTransit Gotthard AG (ATG) andererseits, 8. Oktober 2000