

Große Infrastrukturprojekte – Schlüsselfaktoren zum Erfolg

Heinz Ehrbar, Executive in Residence, ETH Zürich

Bauen, auch das Bauen von Infrastrukturanlagen ist kein Selbstzweck, sondern dient dazu die Bedürfnisse des Individuums und der Gesellschaft zu befriedigen. Infrastrukturanlagen dienen dazu die Grundbedürfnisse (z.B. mit Ver- und Entsorgungsinfrastruktur), das Bedürfnis nach Sicherheit (Schutzbauten) und nach sozialem Austausch (Verkehrsanlagen) zu befriedigen.

Seit den ersten Hochkulturen gehört deshalb das Bauen generell und das Bauen von Infrastrukturanlagen im speziellen zu den wesentlichen Merkmalen der menschlichen Entwicklung. Antike Straßen und Wasserversorgungssysteme sind heute noch Zeugen großer Projekterfolge vor zweitausend Jahren und mehr. Ab dem Mittelalter setzte dann der Bau von Verkehrswegen in Europa verstärkt ein. Die Kontrolle über die Alpenübergänge ist seit der Gründung der alten Eidgenossenschaft untrennbar mit der Entwicklung der Schweiz verbunden. Immer wieder wurden Weltrekordbauwerke erstellt (Gotthard-Eisenbahntunnel (1872), Simplontunnel (1906), Gotthard Straßentunnel (1980), Seelisberg Straßentunnel (1980), Gotthard-Basistunnel (2016)). Alle diese Projekte haben ihre individuelle Geschichte, aus welcher sich Vieles lernen lässt.

1 Was heißt Projekterfolg erzielen?

Ziel eines jeden Projektes muss es sein, die dem Projekt zugrunde liegenden Bedürfnisse (Projektanforderungen) vollumfänglich in allen Phasen des Projektes zu erfüllen. Üblicherweise werden die Projektanforderungen auf das magische Dreieck des Projektmanagements reduziert hat, das Einhalten der geforderten Qualität, der Termin- und Kostenziele. Dies mag dann zulässig sein, wenn der Qualitätsbegriff umfassend genug, im Sinne eines Total-Quality Ansatzes definiert wird. Die vielerorts, insbesondere auch in der Politik gelebte alleinige Fokussierung auf das Kostenziel ist wenig hilfreich. Die Qualität hat auch bei Infrastrukturbauten im Vordergrund zu stehen, auch wenn der Umgang mit den schwieriger messbaren Qualitätsanforderungen nicht ganz trivial ist.

Die Norm ISO 9000 definiert den Begriff Qualität als **«Grad, in dem ein Satz inhärenter¹ Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt»**. In der Baubranche ist die Meinung weit verbreitet, dass diese Definition nicht brauchbar wäre. Dabei wird übersehen, dass diese generische Formulierung stipuliert, dass es keine absolute Qualität gibt, sondern dass man sich projektspezifisch mit den «inhärenten Merkmalen» und den Anforderungen auseinandersetzen muss – was ja für jede Projektorganisation eine echte Chance ist.

Die «inhärenten Merkmale» des sachlichen Umfelds lassen sich mit dem Begriffen Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Erneuerbarkeit), Sicherheit, Ästhetik (nicht abschliessende Aufzählung) umschreiben.

Seit 2009 wird mit der damals aktualisierten Norm ISO 9004 «Qualitätsmanagement – Qualität einer Organisation» wird das sog. Total-Quality-Konzept stipuliert. Damit

¹ inhärent = einem Objekt innewohnend

werden nicht nur der die Erwartung an das Projekt (Objekt) formuliert, sondern auch diejenige an Organisationen. Die „Qualität einer Organisation“ ist dabei der Grad, in dem die inhärenten Merkmale der Organisation die Erfordernisse und **Erwartungen ihrer interessierten Parteien** erfüllt, um die Fähigkeit der Organisation, nachhaltigen Erfolg zu erzielen, zu steigern. Interessierte Parteien können die Kunden, die Gesellschaft, spezifische Anspruchsgruppen (Anrainer, Umweltverbände, Bürgerinitiativen, etc.) Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Partner, Auftragnehmer etc. sein. All diese Interessensgruppen (Stakeholder) haben spezifische Bedürfnisse, welche Sie erfüllt sehen wollen.

Das Projekt AlpTransit Gotthard hat schon 1996 den Total-Quality Ansatz verfolgt und deshalb frühzeitig die Qualität der zu erstellenden Bauwerke wie folgt definiert:

«Bauwerksqualität ist die technisch und wirtschaftlich optimale Erfüllung aller festgelegten, vereinbarten und vorausgesetzten Anforderungen des Bestellers an ein Bauwerk in Bezug auf das fertige Projekt, d.h.:

- **Bauwerke oder Anlagen**
(Funktion, Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Ästhetik usw.)
- **die Kosten** (Investitions-, Betriebs-, Unterhalts und Folgekosten usw.)
- **und die Termine** (Planungs- und Bauzeit, Inbetriebnahme, Nutzungsdauer usw.),

unter angemessener Berücksichtigung der Interessen der Gesellschaft
(Immissionen, Ressourcen, Arbeitssicherheit, Ökologie usw.)» [1].

Die genannte Definition müsste um das Kriterium der gesellschaftlichen Akzeptanz erweitert werden, um allgemein gültig zu sein. Bei den Bauwerken der Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen durch die Schweiz (NEAT) war diese durch die 1992 erfolgreich verlaufene Volksabstimmung über das Projekt aber bereits gegeben.

Die Qualitätsanforderungen werden mit den Methoden des Qualitätsmanagements gesteuert, die Kostenziele mit dem Kostenmanagement und die Terminziele mit dem Terminmanagement. Es ist zwingend notwendig die Unwägbarkeiten des sachlichen Umfeldes mit dem Risikomanagement unter Kontrolle zu halten und diejenigen des sozialen Umfelds mit den Methoden des Stakeholder-Managements (Abb. 1).

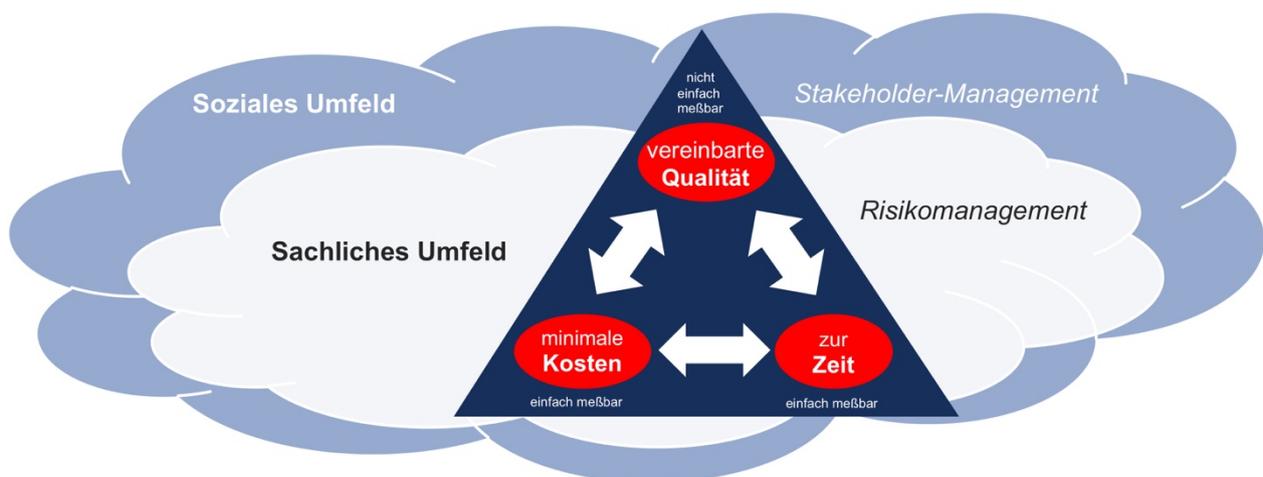


Abbildung 1: generelle Projektanforderungen und ihr Umfeld

Ein erfolgreiches Projekt erfüllt somit die Anforderungen an das Projekt und an die Organisation unter Berücksichtigung der Interessen der Gesellschaft möglichst optimal.

Nun ist allgemein bekannt, dass auf dem langen Weg der Formulierung der Anforderungen und dem Erreichen der Ziele Vieles geschehen kann. Die Prozesse zur Projektrealisierung können durch Gefahren behindert oder gar verunmöglicht werden, während Chancen die Prozessumsetzung erleichtern und beschleunigen.

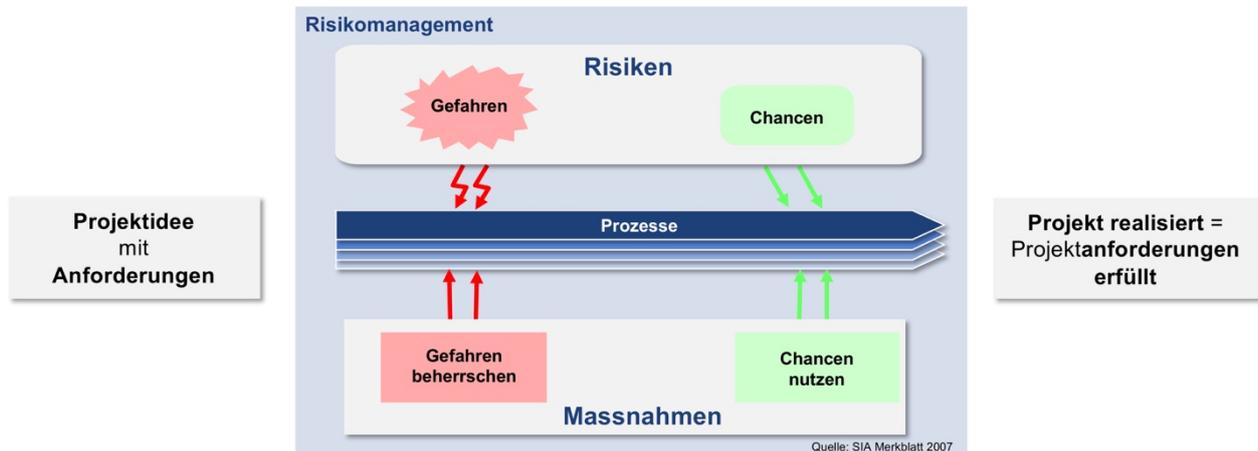


Abbildung 2: genereller Projekttablauf mit Chancen und Gefahren [2]

Verschiedene Studien, insbesondere die oft zitierte Studie von Flyvbjerg et. al. [3] zeigen, dass es im Infrastrukturbau in nicht unerheblichem Mass zu Zielverfehlungen kommt, seit Jahrzehnten und rund um den Globus. Flyvbjerg stellte in seiner Studie 2003 fest, dass kein Effekt des Lernens festzustellen wäre, eine Aussage, welche auch heute noch vielerorts nachvollziehbar ist.

Was wäre zu tun, um eine Trendwende zu erzielen?

Als erstes müsste allgemein eingestanden werden, dass sich Projekte gemäss dem in Abb. 2 dargestellten Ablauf entwickeln. So elementar die Zusammenhänge sind, es gibt oft kein gemeinsames Verständnis dazu. Führende Köpfe in UK waren sich aber zu gleicher Zeit wie der Schweiz, der in Abb. 2 dargestellten Zusammenhänge auch bewusst. Sir Michael Latham schrieb bereits 1994 in seinem Bericht «Constructing the Team» [4]: **«No construction project is risk free. Risk can be managed, minimised, shared, transferred or accepted. It cannot be ignored.»**

Ist dieser Konsens erst einmal geschaffen, gilt es **in einem zweiten Schritt** einen Katalog geeigneter Massnahmen zu definieren, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit den Projekterfolg gewährleisten – die **Definition der Erfolgsfaktoren**.

Im dritten Schritt ist dafür zu sorgen, dass **die Erfolgsfaktoren in der Projektorganisation auch zum Gemeingut werden und umgesetzt werden**. Erfolgsfaktoren ohne konsequente Umsetzung entfalten ihre Wirkung nicht.

2 Erfolgsfaktoren – hergeleitet aus Beispielen

„Wer die Geschichte nicht kennt ist gezwungen diese zu wiederholen.“

Diese verschiedensten Autoren zugewiesene Aussage gilt auch für den Bau von großen Infrastrukturprojekten, wenn man dem von Flyvbjerg erkannten fehlenden Lernen den Kampf ansagen will. In diesem Sinne ist es eine klare Anforderung die Erfolgsfaktoren aus historischen Beispielen herzuleiten, auch wenn dieser Ansatz als unwissenschaftlich in Zweifel gezogen wird [5]. Historische Beispiele unterliegen jedoch nicht mehr dem Spannungsfeld aktueller Projekte und lassen deshalb eine von politischen Einflüssen befreite Analyse zu. Die Ergebnisse lassen sich ohne weiteres in die heutige Welt transferieren, wie noch zu zeigen sein wird.

Eine besonders gute Stichprobe zur Herleitung der Erfolgsfaktoren stellen die langen Tunnelbauten beim Aufbau des Eisenbahnsystems in 19. und zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts in den Alpen und durch das Juragebirge in der Schweiz und deren Nachbarländern dar.

Die schweizerische Eidgenossenschaft war seit ihrer Gründung 1291 stets eng mit der Frage des Transitverkehrs über die Alpen verbunden. Während Jahrhunderten wurde die Gotthardpassstraße in verschiedenen Etappen ausgebaut, bis 1830 wurde eine qualitativ hochstehende Passstraße vorhanden war. Das schweizerische Straßennetz genoss zu jener Zeit europaweit einen ausgezeichneten Ruf.

Fast gleichzeitig mit dem Ausbau der Gotthard-Passstraße begann in England jedoch die Entwicklung der Eisenbahn zu einem kommerziell nutzbaren Verkehrssystem, welches vor allem von Vater und Sohn Stephenson vorangetrieben wurde. 1825 wurde die erste kommerzielle Eisenbahnstrecke Stockton – Darlington eröffnet. 1827 kam die Eisenbahn mit der ersten französischen Strecke auf den Kontinent und 1847 in die Schweiz.

Im gleichen Jahr löste das bündnerische Lukmanier-Komitee bereits eine Studie zur Überquerung des Lukmanierpasses mit einer Eisenbahn aus.

Der 1848 gegründete moderne schweizerischen Bundesstaat beschäftigte sich sofort mit dem neuen Verkehrssystem. Bereits 1849 erteilte der damalige Bundesrat einen Expertenbefehl an Robert Stephenson, den Sohn des Erfinders der Lokomotive, zum Aufbau eines schweizerischen Eisenbahnnetzes. 10 Monate später lag der ca. 650 Kilometer Eisenbahnlinien umfassende „Stephenson’sche Eisenbahnplan“ (Abb. 3) vor.

Für die Alpenüberquerung war auch in diesem Plan der Lukmanierpass vorgesehen. Die großen Höhendifferenzen sollten mit dem System der schiefen Ebenen überwunden werden. Das Stephenson’sche Gutachten sah in einem solchen Projekt sehr hohe Risiken, welche es als nicht wirtschaftlich erscheinen liess und es wurde betont, dass ein solches Projekt primär den Nachbarländern dienen würde.

So ist es denn auch nicht verwunderlich, dass in diesem Umfeld trotz vorhandener Konzession Finanzierungsfrage nicht rechtzeitig gelöst werden konnte. Das Lukmanierprojekt wurde damit gegenüber der späteren Gotthard-Variante in den Hintergrund gedrängt.

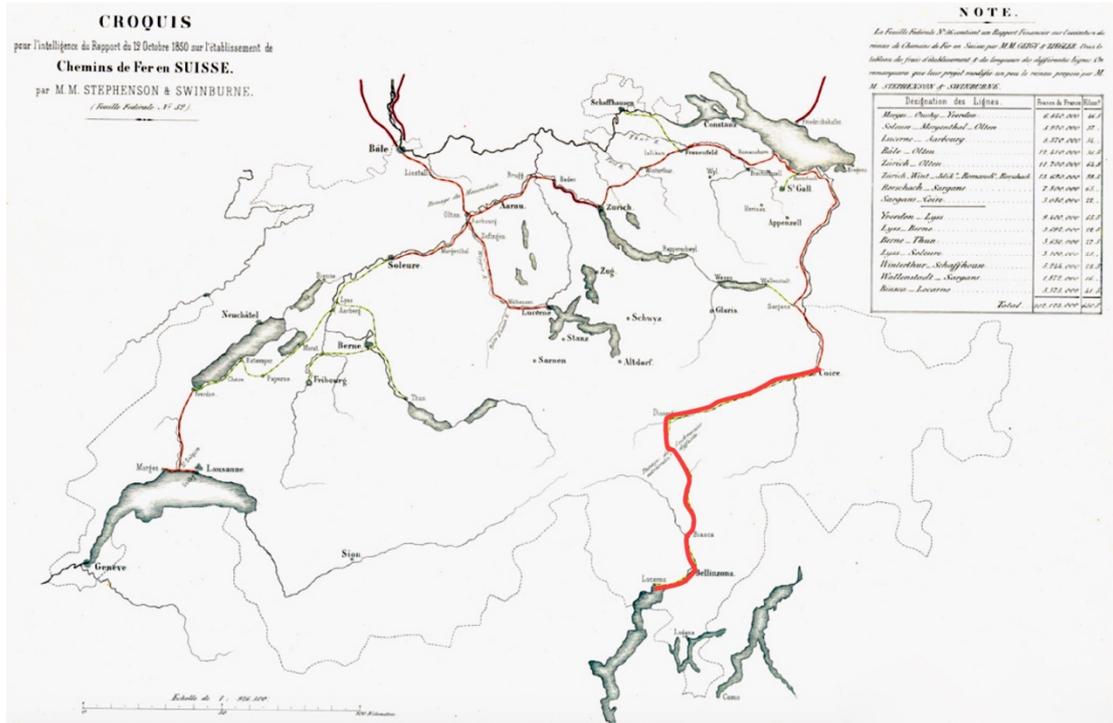


Abbildung 3 Stephensonplan (1850) für das schweizerische Eisenbahnnetz (rote Linie = Lumanierbahn) [6]

Lehre: Für eine erfolgreiche Projektrealisierung braucht es bereits in der Vorstudienphase nebst dem politischen Rückhalt (Akzeptanz) ein stabiles Finanzierungsmodell.

2.1 Der Bau des Mont Cenis Tunnels

Rund sechs Jahre nachdem die englischen Gutachter für das schweizerische Eisenbahnnetz einen langen Alpendurchstich als unwirtschaftlich betrachteten, wurde 1857 zwischen Frankreich und Italien mit dem Bau des 12,2 km langen Mont Cenis Tunnels begonnen. Zu Beginn wurde noch händisch gebohrt, was Vortriebsleistungen von rund 0.5 m/AT erlaubte und eine Bauzeit von 25 Jahren zur Folge gehabt hätte (Abb. 4).

Mit der Erfindung der mehrarmigen Bohrmaschine durch Sommeiller konnten die Leistungen ab 1862 verdoppelt werden. Ende 1864 waren aber immer noch 8 Kilometer Tunnel aufzufahren, was rund 4000 Arbeitstage oder nochmals 12 Jahre Vortriebszeit gebracht hätte.

Dementsprechend kamen die Herren Brassey und Fell auf die Idee eine Bahnlinie über den Pass zu bauen, eine Idee an der auch Napoleon III Gefallen fand. Die Bahn von 70 km Länge wurde dann auch innert kürzester Zeit mit einer Spurweite von 1'100 m gebaut und Mitte 1868 in Betrieb genommen [8].

Alleine die weitere Leistungssteigerung im Tunnelbau, auch dank einem angepassten Vertragsmodell mit einem Anreizsystem, brachten das Geschäftsmodell für die Fell-Bahn kippen. Der Tunneldurchschlag am Mont Cenis erfolgte am 25. Dezember 1870, dank einer Leistungssteigerung auf rund 2.0 m/AT unter dem Regime des neuen Vertrags, was einer nochmaligen Verdoppelung der Vortriebsleistung entsprach.

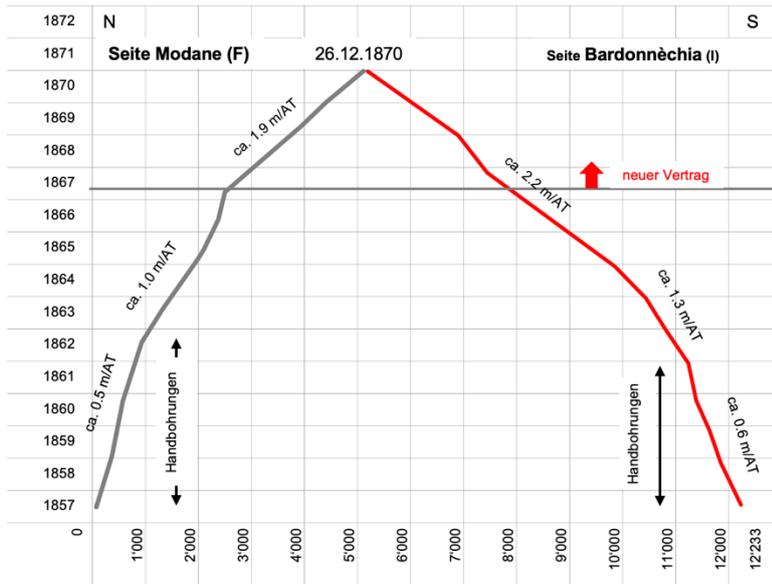


Abbildung 4 Vortriebe am Mont Cenis Tunnel, auf Basis der Angaben in [7]

2 Tage nach der Einweihung des Betriebs im Mont Cenis Tunnel am 17. September 1871 wurde der Betrieb der Fell-Bahn eingestellt, nachdem sie innert rund drei Jahren etwas mehr als 100'000 Passagiere transportiert hatte.

Lehre: Die Berücksichtigung des technischen Fortschritts, der **Einsatz des besten Standes der Technik** und **faire vertragliche Regelungen** zusammen mit einer **kooperativen Projektabwicklung** sind Schlüsselfaktoren für den Erfolg.

2.2 Der Bau des Gotthard Eisenbahntunnels

Kurz nach der Abgabe des Stephenson'schen Gutachtens wurde 1853 das Gotthard Komitee gegründet, eine Vereinigung von damals 9 Kantonen, mit dem Ziel einen Schienenweg über den Gotthard zu ermöglichen.

Unmittelbar nach seiner Gründung beauftragte das Gotthard Komitee noch im Jahr 1853, Gottlieb Koller, den ersten Leiter des neuen eidgenössischen Eisenbahnbüros mit einer Studie zur Überschneidung des Gotthards [9]. Die ersten Studien sahen analog dem Lumanierprojekt noch Spitzkehren vor.

Die vom großen Förderer der Gotthardbahngesellschaft, Alfred Escher, beigezogenen deutschen Ingenieure August Beckh und Robert Gerwig, reichten 1864 ein Bauprojekt samt Kostenvoranschlag ein, welches der heutigen Trassierung mit den Kehrtunneln auf der Nord- und der Südseite entspricht. Robert Gerwig hatte sich insbesondere mit dem Bau der badischen Schwarzwaldbahn von Offenburg nach Singen und den Kehrtunneln zwischen Hornberg und Triberg einen Namen gemacht. Der grosse Wurf war mit dem Projekt von 1864 geboren. Es brauchte aber noch einige Jahre, bis die Finanzierung des gigantischen Werks unter Einbezug des preussischen Königreichs, bzw. deutschen Kaiserreichs und des Königreichs Italien (beide in jenen Jahren neu gegründet) zustande kam.

Nach einem intensiv geführten Ausschreibungs- und Vergabeprozess, mit einer Kalkulationsfrist von nur 6 Wochen für Unternehmer, wurde am 7. August 1872 wurde dann aber das Vertragswerk zwischen der Gotthardbahn-Gesellschaft und dem Genfer Einzelunternehmer Louis Favre für den Bau des grossen Tunnels unterzeichnet (Abb. 5).

Die Bauzeit wurde vertraglich unabänderlich auf 8 Jahren ab Vertragsgenehmigung durch den schweizerischen Bundesrat festgelegt. Die Vertragssumme betrug CHF 47'804'300.-, und war damit wesentlich tiefer, als die vom Bauherrn vorgesehenen 60 Millionen. Louis Favre, der keine Erfahrung mit so grossen Tunnelbauten hatte, setzte sich mit seinem auf einem Preis von CHF 2'800 pro Tunnelmeter basierenden Angebot gegen den Unternehmer des Mont Cenis Tunnel durch, welches einen Preis von CHF 3'500 pro Tunnelmeter angeboten hatte und höchstens eine Kautions von 5 Mio. CHF akzeptierte gegenüber 8 Mio. CHF von Louis Favre [10].

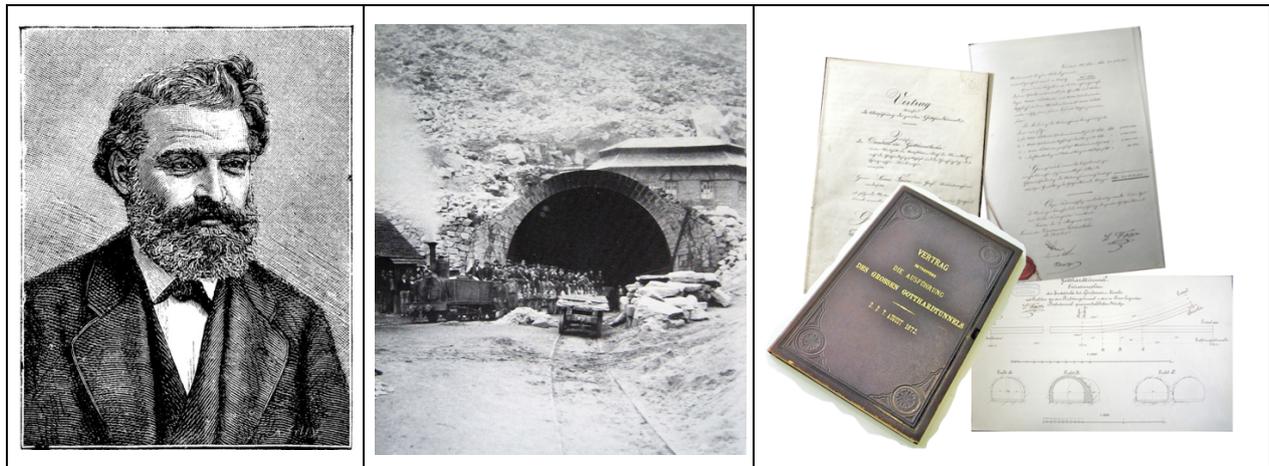


Abbildung 5 Der Unternehmer Louis Favre (links), das Nordportal während dem Bau (Mitte) und das Vertragswerk (rechts) (Bilder links und Mitte [10], Bild rechts ATG)

Um sich den Auftrag zu sichern, akzeptierte Louis Favre eine äußerst einseitige Erfüllungsklausel.

Der Unternehmer hatte *«auf seine Rechnung und Gefahr für alle unvorhersehbaren Schwierigkeiten einzustehen welche sich bei dem Vollzuge der Arbeiten infolge Beschaffenheit des Gesteins oder des Gebirges überhaupt, in Folge außergewöhnlich starken Wasserandrang, in Folge von Elementarschadenereignissen oder **aus ähnlichen Gründen irgendwelcher Art ergeben möchten**»*.

Nach dem Überwinden der Startschwierigkeiten wurde der Tunnel von Norden her mit rund 3.5 m/Tag und von Süden her mit rund 3.2 m/Tag aufgefahren, was gegenüber dem Mont Cenis Tunnel einer über 50%-igen Leistungssteigerung entsprach. Per 1. Januar 1882 ging der Eisenbahntunnel in Betrieb was 14½ Monaten Verspätung bedeutete. Die Schlussabrechnungssumme betrug 66.7 Mio. CHF, was einer Überschreitung von rund 40% der Vertragssumme bedeutete, aber nur 10 % des ursprünglichen Budgets des Bauherrn. Angesichts der äußerst schwierigen Umstände beim Bau darf diese Leistung aus heutiger Sicht als außerordentlich gut beurteilt werden.

Die heroische Geschichte des Baus des Gotthard Eisenbahntunnels ist nebst der technischen Meisterleistung aber auch von 177 Todesfällen, schlechten hygienischen Verhältnissen im Tunnel, Unruhe unter der Belegschaft, dem Dorfbrand von Airolo etc. geprägt. Für Louis Favre selbst endete das Projekt tragisch. Louis Favre (Abb. 5) starb 53-jährig im Juli 1879 rund 7 Monate vor dem Durchschlag im Tunnel.

Weil die Kosten des Projektes inkl. die Zufahrtslinie aus dem Ruder liefen, hatte die Gotthardbahn-Gesellschaft einen hohen Druck Kosten einzusparen, um die notwendige Nachfinanzierung durch die Kantone, den Bund und die Königreiche Preußen und Italien sicherzustellen. Einzelne Zufahrtsstrecken mussten redimensioniert oder ganz zurückgestellt werden. Dementsprechend hart positionierte sich die Bauherrenorganisation gegenüber dem Unternehmer, obwohl auch die Gotthardbahngesellschaft selbst nicht in der Lage war alle ihre Verpflichtungen zeitgerecht zu erfüllen. Immer wieder hielt der Bauherr Zahlungen zurück, was den Unternehmer in eine noch schwierigere Situation brachte. Der schweizerische Bundesrat, das Bundesgericht und Schiedsgerichte waren fast dauernd damit beschäftigt Streit zu schlichten [10].

Trotz hoffnungsvollen Einigungsversuchen während dem Bau kam es dann nach der Betriebsaufnahme zum jahrelangen Streit. Am 11. April 1885 verkündete das aus drei Bundesrichtern und vier Ingenieuren bestehende Schiedsgericht sein Urteil. Der Unternehmer kommt dabei eindeutig schlechter weg als der Bauherr. Das Schiedsgericht stützte sich bei seinem Urteil auf den Artikel 1 des Bedingnisheftes, mit welchem der Unternehmer den Bau des Tunnels auf eigene Rechnung und Gefahr mit praktisch unbegrenzten Risiken übernommen hatte. Etwas Unsittliches oder Rechtswidriges wurde in dieser Vereinbarung nicht erkannt, wurde doch festgehalten, dass sich beide Parteien der großen Risiken des Projektes bewusst gewesen wären. Louis Favre hatte ein unbeschränktes Risiko übernommen und schließlich verloren. 5 Millionen Franken Verlust war das Ergebnis seiner Kühnheit und seine Tochter verlor praktisch ihr gesamtes Vermögen. Durch eine freiwillige, lebenslange Rente ermöglichte die Gotthardbahn-Gesellschaft ihr schließlich ein „gutbürgerliches“ Leben [10].

Lehren: Führungspersönlichkeiten mit **Charakter und Weitblick** haben eine visionäre Lösung erst möglich gemacht.
Dank dem Beizug von hoher **Fachkompetenz** entstand eine langfristig nutzbare, großzügige Lösung.
Trotzdem wurde das Werk für den Unternehmer zum Misserfolg.
Dieser unterschätzte (**mangels Erfahrung und bei wenig Respekt** vor der Aufgabe) die Risiken und unterschrieb mutig einen Vertrag mit einer vollkommen einseitiger Risikozuteilung.
Beim Auftreten von Schwierigkeiten suchten Bauherr und Unternehmer nicht nach Lösungen, sondern beschuldigten sich immer wieder gegenseitig. Mehrfach mussten die Gerichte entscheiden.
Die **konfrontative Projektabwicklung** ruinierte den Unternehmer und sein Umfeld.

2.3 Der Hauenstein-Basistunnel

Zwischen 1912 und 1916 wurde der Hauenstein-Basistunnel auf der Strecke Basel-Olten gebaut. Die 1902 gegründeten Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) entschlossen sich im Herbst 1911 die erste Submission zum Bau des Tunnels zu sistieren, da ihr die Angebotsdifferenzen zu hoch waren. Es wurde ein zweites Mal ausgeschrieben. Dieses Mal war auch der Einbau des Oberbaus (Gleise und Schotterbett) im Angebot enthalten. Die SBB stellten - entgegen der ersten Offerte - die Bauleitung mit eigenen Leuten, welche unter anderem auch die Kompetenz hatte, das Tunnelprofil festzulegen [11].

Am 19. Dezember 1911 erhielt die Firma Julius Berger Tiefbau-Aktiengesellschaft Berlin auf Basis der preisgünstigsten Offerte den Zuschlag. Mitte Januar 1912 genehmigte der Verwaltungsrat der SBB den Bauvertrag mit deutscher Baufirma Julius Berger in Berlin mit einer Vertragssumme von CHF 19'817'734.-.

Das Bauprogramm sah vor (Abb.6), dass die Ausmauerung dem Ausbruch so rasch als möglich zu folgen zu lassen. Dem Vortrieb folgend war eine Rigole zur Trockenhaltung der Sohle einzuziehen.

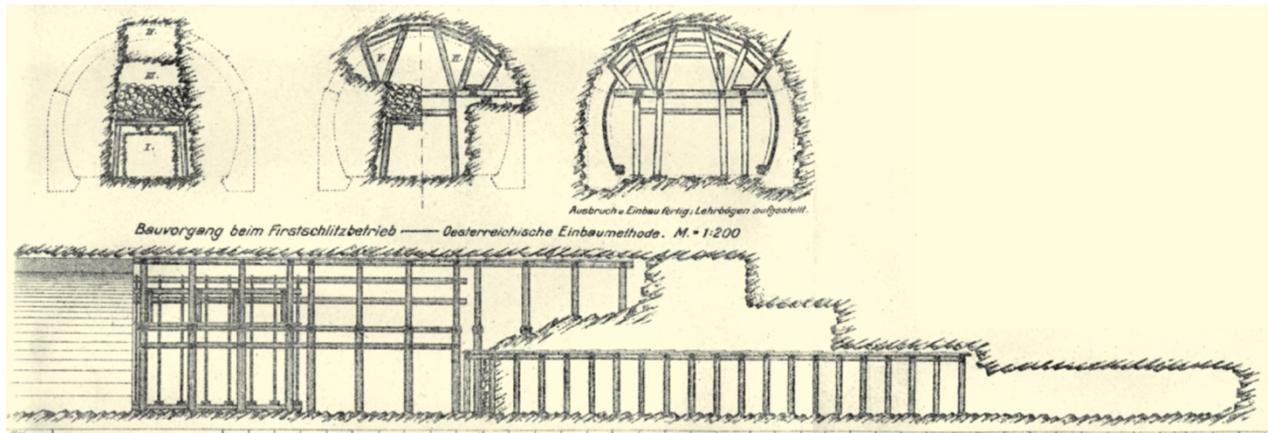


Abbildung 6 Geplanter Bauvorgang im Hauenstein Basistunnel (Bild [12])

Als Durchschlagstermin wurde der 13. Juni 1916 festgelegt und die Inbetriebnahme per am 13. Januar 1917. Sowohl der Durchschlagstermin als auch Inbetriebnahmetermine waren mit einer Pönale von CHF 500.- pro Tag Verspätung belegt, während pro Tag früheren Durchschlag und Inbetriebnahme ein Bonus von CHF 300.- pro Tag anfiel.

Am 1. Februar 1912 wurde mit dem Bau begonnen und bereits am 10. Juli 1914 erfolgte der Durchschlag also fast zwei Jahre vor dem geplanten Termin. Am 2. Mai 1915 war der Tunnel vollendet. Räumungsarbeiten, das nachträgliche Einziehen von Sohlgewölben und das Legen des Oberbaus dauerten bis am 30. November 1915. Am 8. Januar 1916 wurde die Hauenstein-Basislinie eröffnet. Damit wurden der vertraglich vereinbarten Inbetriebnahmetermine um ein Jahr unterschritten, wie sich bald einmal zeigte allerdings unter Umgehung von Bauvorschriften [11].

Schon vor der Betriebsaufnahme und erst recht danach wurden größere Partien gebrochener bzw. zum Teil total zerstörter Widerlager, Hohlräume hinter den Mauern sowie bedeutende Sohlehebungen festgestellt. Auch die Ausführung des Entwässerungsrigole war fehlerhaft [8]. Als Folge davon traten kurz nach der Inbetriebnahme im Tunnel erste gravierende Schäden auf, welche von 1919 bis 1923 mit einem Kostenaufwand von 5.012 Mio. CHF saniert werden mussten (was ca. einem Viertel der Anfangsinvestition entsprach).

Obwohl es während dem Vortrieb schon im Sohlstollen teilweise zu massiven Sohlhebungen kam, wurde auf den Einbau eines Sohlgewölbes verzichtet. Der Baubericht der Firma Berger stützt sich dabei auf einen 1889 in der Deutschen Bauzeitung erschienenen Aufsatz «Über die Ausführung von Tunneln in pressbaren und blähenden Gebirgsarten.» Darin wurde das Erstellen von Sohlgewölben verworfen, «weil es doch nicht widerstehe». Es wurde eine trockene Füllung (Polster) hinter dem Mauerwerk verlangt, «damit sich das Gebirge ausdehnen könne». Gemäss dem Vertrag hätte die SBB-Bauleitung den Einbau von Sohlgewölben anordnen können, hat dies aber unterlassen.

Der Bericht des von den SBB beigezogenen Ingenieurs F. Rothpletz wies auf erhebliche Ausführungsmängel hin. Die Generaldirektion der SBB ließ vom ehemaligen Bauleiter der Unternehmung auf der Südseite des Simplontunnels und Professur für Tunnelbau in München, Konrad Preßel, eine Expertise ausarbeiten. Diese legte unmissverständlich die gemachten Fehler und Mängel dar [11]:

- In Missachtung der SBB-Vorschriften war der Tunnelvortrieb dem fertigen Mauerwerk stets um 1000 bis 1100 m voraus, ohne dass die bei den SBB liegende Bauleitung einschritt.
- Mit dem Bau des Entwässerungskanals am Südportal wurde erst 14 Monate nach Baubeginn begonnen. In dieser gefährlichen Zone hätte der Bau der Rigole und die Sicherung der Sohle auf 20 bis 30 m der Gewölbemauerung folgen sollen. Der Unternehmer baute die Rigole erst 233 bis 273 Tage nach dem Vortrieb ein, wodurch die mindestens zum Teil quellfähige Sohle während langer Zeit richtiggehend bewässert wurde. Man rannte eindeutig dem Vortriebsbonus nach.
- Die sofortige Erstellung eines genügend stark bemessenen Sohlgewölbes wäre unerlässlich gewesen. Wörtlich fuhr der Bericht Preßel fort: «Es war ein großer Fehler der Bauleitung, dass sie die Erfahrungen, die man 50 Jahre rückschauend gemacht hatte, nicht berücksichtigte und glaubte, die Sohlgewölbe durch «Proben und Versuche» umgehen zu können.» Somit liege kein Versagen des Unternehmers vor, denn die Profilbestimmung lag in der Kompetenz der Bauleitung (SBB).
- Bei der Tunnelmauerung fanden sich viele und vor allem offene Fugen und das vorhandene Überprofil sei - allerdings von der Bauleitung toleriert - nicht ausgemauert, sondern nur trocken ausgepackt.

Die Expertise Preßel kam zum Schluss, dass die meisten Minderwerte des Bauwerks auf falsche, zum Teil nicht vorschriftsgemäße Zugeständnisse der Bauleitung zurückzuführen seien und deshalb der Bauunternehmung lediglich die Reparatur der Widerlager und die Zementinjektionen in den Steinhinterpackungen angelastet werden könnten. Das Einziehen der unverzichtbaren Sohlgewölbe müsse zulasten der SBB ausgeführt werden. Ein Teil der fehlenden Sohlgewölbe - 624 m - wurde in der Folge zulasten der Bahnen noch ausgeführt.

Die Schlussabrechnung über sämtliche Bauarbeiten wurde am 17. März 1917 bereinigt. Aus dieser geht hervor, dass unter den beiden Partnern ein Kompromiss bezüglich der Bonusprämien getroffen wurde. Danach wurde nur die Hälfte der Prämien, nämlich CHF 196'000.- ausbezahlt. Die Schlussabrechnungssumme wies einen Betrag von CHF 20'900'000.- aus.

Die aufgetretenen Schäden mussten in der Zeit von 1919 bis 1923 mit einem Kostenaufwand von 5.012 Mio. CHF saniert werden – d.h. rund ein Viertel der ursprünglichen Investition. Die damalige Kreisdirektion der SBB wiederholte den Fehler aus der Bauzeit und reduzierte den vom Ingenieur Ferdinand Rothpletz vorgeschlagenen Sohlgewölbeinbau aus Kostengründen massiv, was zu erheblich höheren Unterhaltskosten führte und in der Zeit von 1980 bis 1987 zu einer Totalsanierung. Die nächste Totalsanierung soll in den nächsten Jahren an die Hand genommen werden.

Lehren: Die alleinige Fokussierung auf das finanzielle Projektziel, ohne Sicherstellung der bestellten Qualität führt zu Misserfolg!

Erfahrungen, der laufende Erkenntnisgewinn und der aktuellste Stand des Wissens sind zu berücksichtigen.

Der Bauherr muss mit seinem Team in der Lage die ihm zustehenden Rechte durchzusetzen. Dazu gehören **Fachkompetenz und Durchsetzungsvermögen.**

2.4 Zusammenfassung der wichtigsten Erfolgsfaktoren

Wertet man die Lehren aus den beschriebenen Projekten aus, so lassen sich sie Erfolgsfaktoren wie in Abb. 7 dargestellt klassifizieren und umschreiben:

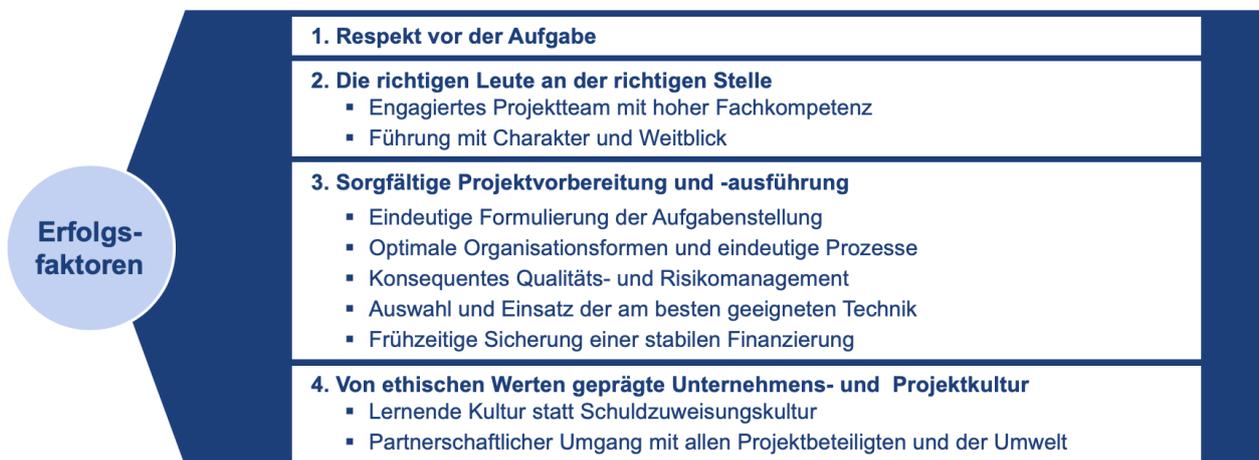


Abbildung 7 Erfolgsfaktoren

3 Anwendung der Erfolgsfaktoren

3.1 Respekt vor der Aufgabe oder „scio me nihil scire“

Es sollte eine Selbstverständlichkeit sein, dass die Projektverantwortlichen zu Beginn eines Großprojekts Respekt vor der übernommenen Aufgabe und dem betroffenen Umfeld haben. Mangelnder Respekt vor der Aufgabe führt zu Übermut und zu Überraschungen oft verbunden mit negativen Auswirkungen. Schon eine an sich geringe Ursache, kann wegen der großen Hebelwirkung aber ein Großprojekt in arge Schieflage oder gar zum Scheitern bringen.

Respekt vor der Aufgabe beginnt damit, dass sich die Verantwortlichen ihrer eigenen Unvollkommenheit bewusst sind. Der Spruch von Sokrates «scio me nihil scire» in der Deutung «ich weiss, dass ich nicht alles weiss» (Abb. 8) muss deshalb von jeder Organisation eines großen Infrastrukturprojektes verinnerlicht werden. Man hüte sich davor die Projektverantwortung für ein großes Infrastrukturprojekt an fachlich ignorante Personen mit übersteigertem Selbstwertgefühl zu übertragen. Das Scheitern ist vorprogrammiert.

Sind sich die Verantwortlichen aber ihrer Wissens- und Erfahrungslücken bewusst, lassen sich diese durch den Beizug von entsprechendem Expertenwissen und einem korrekt gelebten Vier-Augen-Prinzip rasch schließen.

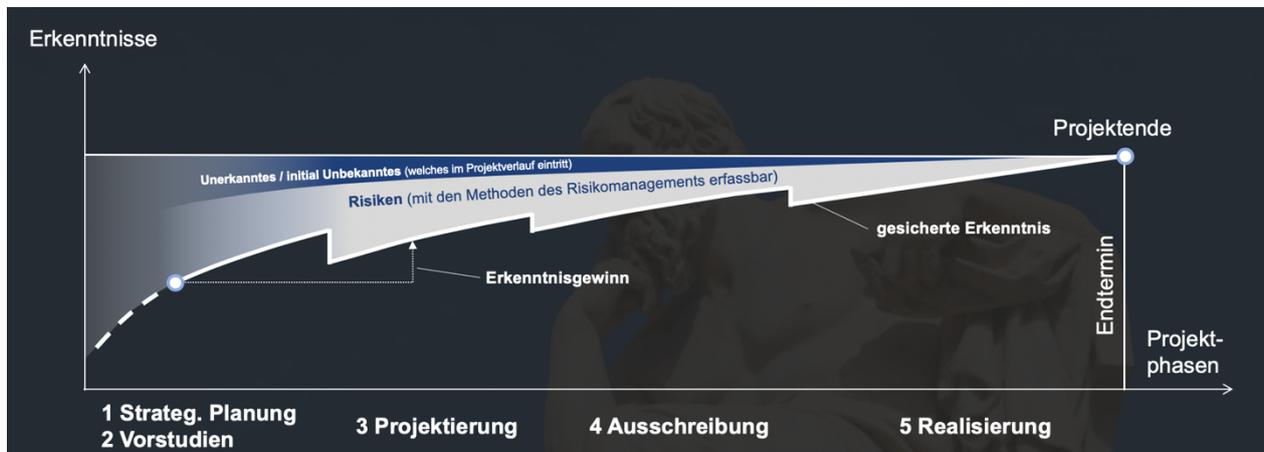


Abbildung 8 Erkenntnisgewinnkurve – oder „ich weiss, dass ich nicht alles weiss“
Hintergrundbild: https://www.planet-wissen.de/geschichte/antike/das_klassische_athen/pwiesokrates100.html

3.2 Die richtigen Leute an der richtigen Stelle

Trotz Digitalisierung und Automatisierung wird der Projekterfolg auch heute noch von den Menschen bestimmt. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung die richtigen Leute an der richtigen Stelle zu haben, sei es im Projektteam oder aber in den Führungspositionen.

3.2.1 Anforderungen an das Projektteam

Das Projektteam kann dann seine optimale Leistung erbringen, wenn es als echtes Team funktioniert, welches sich primär dem gemeinsamen Erfolg verpflichtet fühlt. Dazu müssen die Teammitglieder vom Charakter her zusammenpassen, den gemeinsamen Erfolg auch wollen, aber in der jeweiligen Rolle im Projekt auch fachlich genügend kompetent sein, die gestellten Aufgaben mit hoher Fachkompetenz zu meistern.

Nun gewährleistet ein optimal zusammengesetztes Team alleine noch nicht eine optimale Leistungserfüllung. Vielmehr müssen auch geeignete Mittel und Methoden zur Verfügung gestellt werden, Wissen und Ideen müssen vorhanden sein, es ist offen und umfassend zu informieren und zu kommunizieren und die Motivation des Teams muss laufend erhalten und gefördert werden.

Die Wirkungszusammenhänge der genannten Faktoren hat Dr. Ing. Hans Blaut in seinen Gedanken zum Sicherheitskonzept im Bauwesen [13] in der so genannten Blaut'schen Formel zusammengefasst:

$$L = m^1 \times g^2 \times i^3 \times w^x \quad (\text{Blaut'sche Formel})$$

m = Mittel

g = Wissen, Ideen

i = Information und Kommunikation

w = Motivation

x = beliebiger Exponent, kann auch negativ sein

Die Tatsache, dass ein Ingenieur die weichen Faktoren wie Wissen, Information, Kommunikation und Motivation höher gewichtet als die eingesetzten Mittel ist bemerkenswert, trifft den Nagel aber auf den Kopf.

3.2.2 Anforderungen an die Führungskräfte

Unter Berücksichtigung der Zusammenhänge aus der Blaut'schen Formel kommt den Führungskräften vor allem die Aufgabe zu, das Wollen, das Können und das Dürfen des Projektteams zur Projektabwicklung positiv zu beeinflussen. Dies gelingt mindestens in unserem Kulturkreis nur mit einer wertebasierten Führung. Die Führungskultur im Projekt AlpTransit Gotthard basierte zu Beginn auf folgenden Werten:

- **Vorbild sein**
(klar, fair, verlässlich, kompetent, keine Willkür)
- **Verantwortung übernehmen**
(vorausschauend handeln, konsequent zur Verantwortung stehen)
- **Vertrauen geben und bekommen**

Der respektvolle Umgang mit Personen und der Umwelt war damals eine Selbstverständlichkeit. Im heutigen Umfeld verdient dieser Punkt aber eine separate Erwähnung.

3.3 Sorgfältige Projektvorbereitung

3.3.1 Eindeutige Formulierung der Aufgabenstellung

Jedes Projekt beginnt mit einer Projektidee. Um diese realisieren zu können, braucht es entsprechend sorgfältige Vorbereitungsarbeiten. Oft treten hier schon erste Schwierigkeiten auf, weil hier schon Einiges an Geld für Vorabklärungen investiert werden muss.

Dieses ist oft schwierig zu beschaffen, ist zu diesem Zeitpunkt doch überhaupt noch nicht klar ist, ob das geplante Projekt je realisiert werden kann. Daraus können zu tiefe Budgets für die Vorstudien entstehen.

Ungenügende Vorarbeiten rächen sich aber bekanntermaßen und führen zu strategisch falschen Weichenstellungen führen. Die notwendigen personellen und materiellen Mittel sind deshalb in ausreichender Menge und Qualität bereit zu stellen, um die Fragen, wie die künftige Anlage gebaut und betrieben werden soll (Betriebskonzept), wie sie langfristig erhalten wird (Erhaltungskonzept) und wie die Sicherheit im Betrieb (Sicherheitskonzept) gewährleistet wird frühzeitig zu klären.

Auf diesen Abklärungen aufbauend muss der Projektnutzen klar dargestellt und kommuniziert werden, damit die betroffene Bevölkerung integriert werden kann. Betroffene zu Beteiligten machen heißt die Devise schon ab der Phase der strategischen Planung.

3.3.2 Optimale Organisationsform und eindeutige Prozesse

Die Organisationsform und optimale Prozesse sind ein entscheidender Erfolgsfaktor, auch wenn das gerne übersehen wird. Es lassen sich aber viele Beispiele aufzählen, welche diesen Faktor nicht ausreichend gepflegt haben, mit allen Konsequenzen, welche daraus entstehen.

Zielsetzung muss sein, dass Organisation und Prozesse sicherstellen, dass alle Entscheidungen rechtzeitig gefällt werden. Dazu braucht es klare Abläufe, aber auch klar zugewiesene Verantwortlichkeiten. Nicht von ungefähr wies Sir Alan Muir Wood 1997 an

einem Kolloquium an der ETH darauf hin, dass der wesentlichste Faktor der Kostenüberschreitung am Kanaltunnel die «Atomisierung der Verantwortlichkeiten» gewesen wäre, welche die rasche Entscheidungsfindung enorm erschwert habe und damit wesentliche Mehrkosten ausgelöst hätte.

Für eine erfolgreiche Organisation empfiehlt sich das Einhalten zweier wesentlicher Grundprinzipien:

1. Die **Einhaltung des Kongruenzprinzips**, nämlich der Schaffung von Organisationsformen mit ausgewogenen Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Entscheidungskompetenzen auf jeder Entscheidungsebene.
2. Die **Berücksichtigung des Subsidiaritätsprinzips**, welches besagt, dass die übergeordneten Gremien nur solche Aufgaben erfüllen, zu deren Wahrnehmung untergeordnete Organisationseinheiten nicht in der Lage sind.

3.3.3 Konsequentes Qualitäts- und Risikomanagement

Die Planungs- und Ausführungsorganisationen sind zu befähigen die komplexen Qualitätsanforderungen zu beherrschen. Dies gelingt nur mit dem systematischen Einsatz von Qualitäts- und Risikomanagement. Das Merkblatt SIA 2007 [2] ist eine ausgezeichnete Grundlage für die Einführung eines projektbezogenen und effizienten Risikomanagements.

Das Merkblatt SIA 2007 basiert auf dem Grundgedanken, dass der Bauherr (Auftraggeber) in einem ersten Schritt seine Projektanforderungen einer Risikoanalyse unterzieht (Abb.9). In einem nächsten Schritt definiert er seine eigenen Maßnahmen und teilt im Rahmen des Ausschreibungsprozesses den Auftragnehmern die Resultate seiner Analyse mit, nämlich die Projektanforderungen insgesamt, jedoch mit speziellem Fokus auf die am stärksten gefährdeten Anforderungen (Q-Schwerpunkte), die eigenen Maßnahmen und die vom Auftragnehmer erwartete Maßnahmen (QM-Anforderungen).

Der Auftragnehmer gibt mit seinem Angebot die von ihm aufgrund seiner Auftragsanalyse erarbeiteten Maßnahmen mit seinem QM-Konzept ab. Das QM-Konzept wird mit den qualitativen Kriterien im Angebotsvergleich bewertet. Bei richtiger Formulierung und Gewichtung der Zuschlagskriterien ist dieses Verfahren ein starkes Mittel zur Sicherstellung der Vergabe nicht an das billigste Angebot, sondern an eines mit hoher Qualität und einem entsprechend höheren Preis zu vergeben (wirtschaftlichstes Angebot).

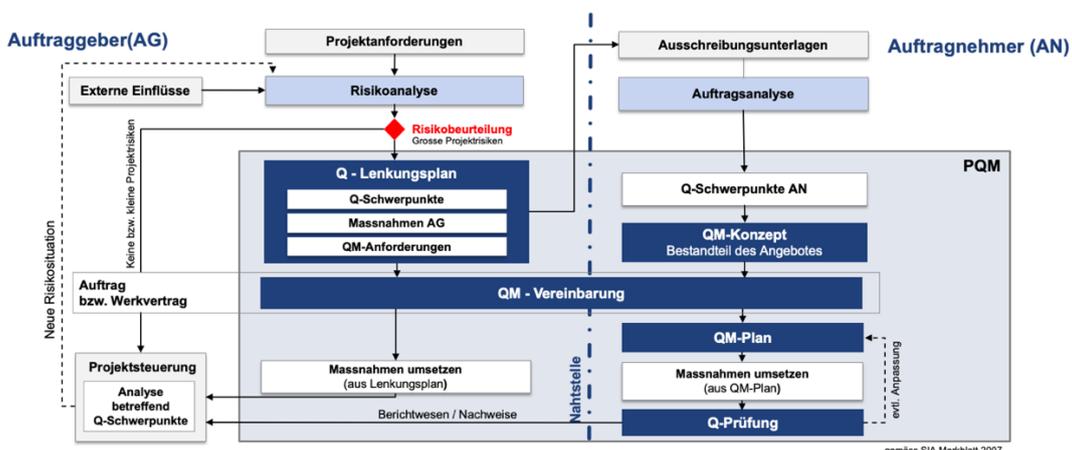


Abbildung 9 Zyklus und Instrumente des projektbezogenen Qualitätsmanagements [2]

Der Ansatz des SIA Merkblatts 2007 zeigt die notwendige Integration des Projektrisikomanagements in das Qualitätsmanagement auf. Vielerorts wird aber die Notwendigkeit der Durchführung eines integralen Projektrisikomanagements immer noch nicht verstanden. Das Projektrisikomanagement wird oft als Pflichtübung zur finanziellen Risikovor-sorge interpretiert.

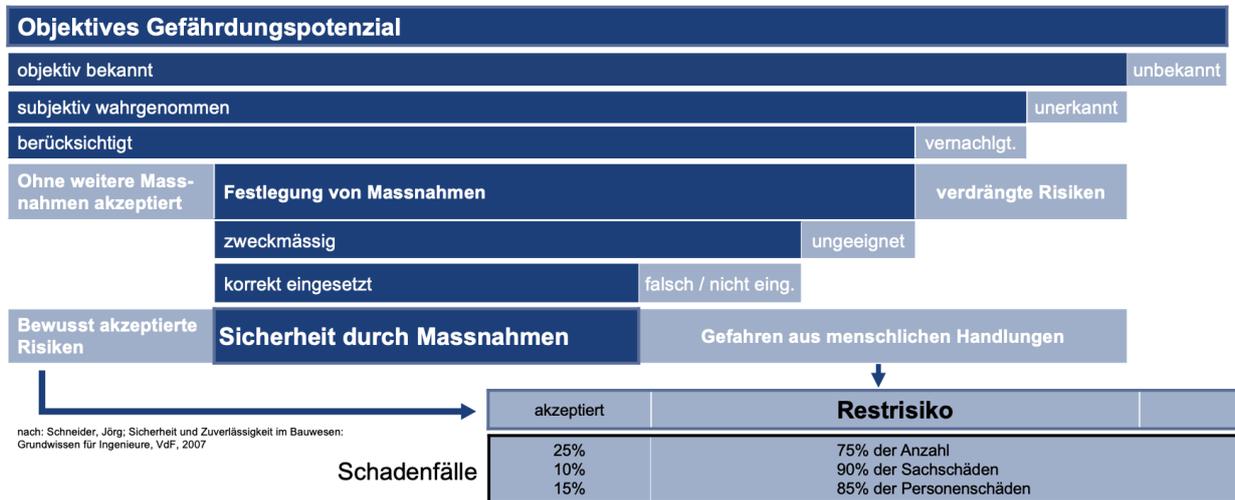


Abbildung 10 Sicherheit durch Maßnahmen

Dass es sich aber beim Projektrisikomanagement um einen einfachen, integralen Prozess zur systematischen Erfassung von Chancen und Gefahren handelt, um dann die entsprechenden Maßnahmen festzulegen und diese auch zeitgerecht umzusetzen, wird nicht verstanden. Dabei ist es die ureigene Pflicht des Ingenieurs Chancen zu nutzen und Gefahren abzuwehren. In seinem Buch «Sicherheit durch Zuverlässigkeit» [14], hat der ehemalige ETH-Professor für Baustatik Jörg Schneider den Handlungsbedarf systematisch hergeleitet und insbesondere auch auf die menschlichen Fehlleistungen hingewiesen, welche zum größten Teil für Sach- und Personenschäden verantwortlich sind (Abb. 10).

Die Prozesse des Risikomanagements (Basis ISO 31000) und die einzusetzenden Methoden sind auch für den Infrastrukturbau einfach und erprobt (Abb. 11).

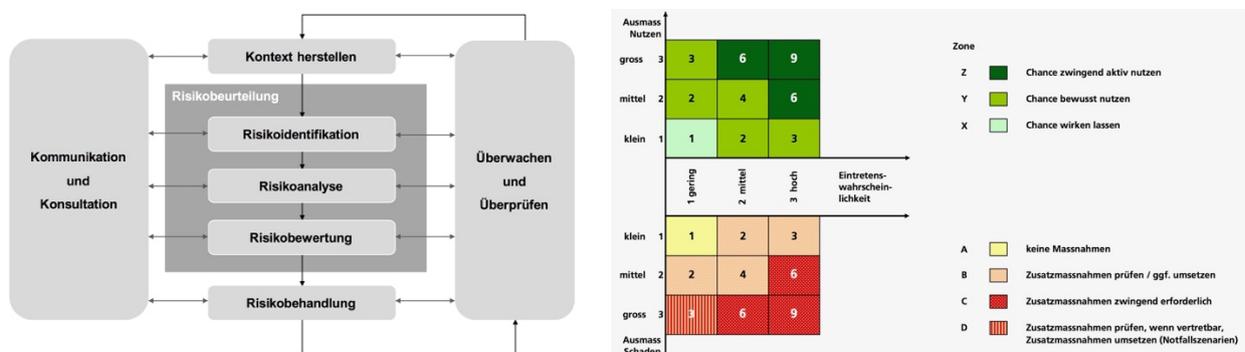


Abbildung 11 Risikomanagementprozess gemäss ISO 31'000 (links), semiquantitative Risikobewertung (rechts)

3.3.4 Auswahl der am besten geeigneten Technik

Mit Organisation und Prozessen alleine ist aber noch nichts erfolgreich gebaut. Die Bauwerke entstehen unter Anwendung von Technik. Infrastrukturprojekte sind üblicherweise im Fokus der Öffentlichkeit und haben dementsprechend eine Vorreiterfunktion zu erfüllen. Deshalb ist es angezeigt, die jeweils am besten geeignete Technik einzusetzen, welche auch dem aktuellsten Stand der Technik entspricht. Dies bedeutet aber nicht, dass Großprojekte zum Tummelfeld jeglicher technologischer Entwicklungen werden sollen. Im Gegenteil, es sollen nur Materialien, Geräte und Verfahren eingesetzt werden, deren Eigenschaften bekannt und erprobt sind oder aber aus bekannter Technik weiterentwickelt wurden. Kleinste Abweichungen vom geplanten Sollzustand können bei Großprojekten enorme Konsequenzen haben.

3.3.5 Frühzeitige Sicherung einer stabilen Finanzierung

Viele Beispiele zeigen, dass eine frühzeitig stabile Finanzierung für eine erfolgreiche Projektabwicklung essenziell ist. Dabei sind die folgenden zwei Punkte zu beachten:

1. **Korrekte Festlegung des Kostenrahmens** unter Berücksichtigung der Basiskosten Risikopotenziale und einer Vorsorge für Unbekanntes/Unerkanntes (Abb. 12).
2. **Langfristige Sicherung der Finanzierung**, z.B. durch überjährige Steuerung, (z.B. über eine Fondsfinanzierung).

Eine umfassende Berücksichtigung der Risikokosten bedeutet aber nicht, dass damit dem Projekt von Anfang an alles Geld zur Verfügung steht. Vielmehr empfiehlt es sich Freigabemechanismen und Anreizsysteme einzubauen, damit ein entsprechender finanzieller Anspannungsgrad dem Projekt gegenüber erhalten bleibt.

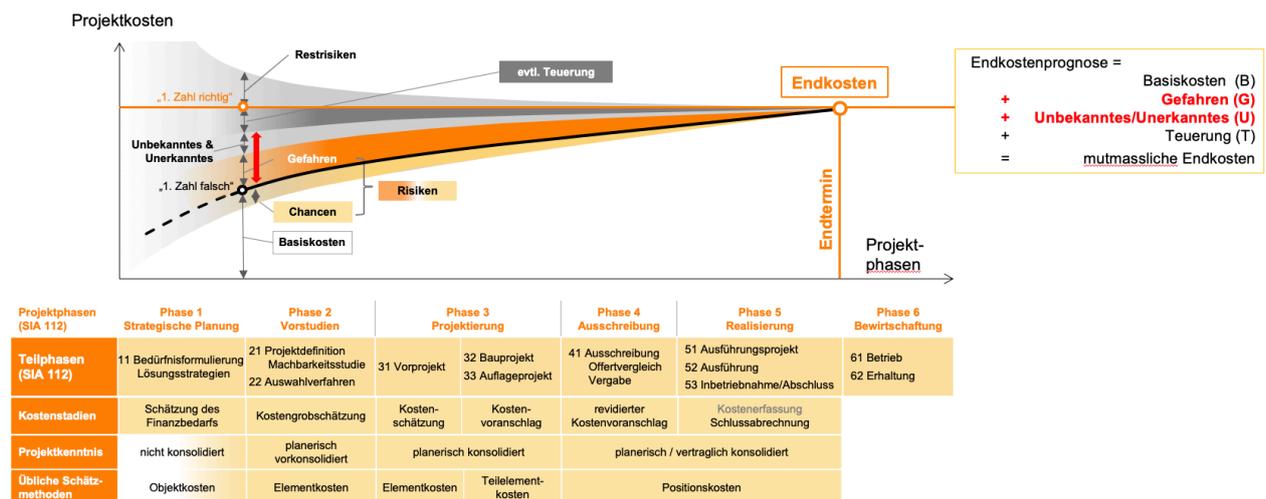


Abbildung 12 phasenspezifische Ermittlung der Projektkosten (SIA-Phasen) [eigene Darstellung]

Von ethischen Werten geprägte Unternehmens- und Projektkultur

3.3.6 Lernende Kultur statt Schuldzuweisungskultur

Der Projekterfolg hängt schließlich in entscheidendem Ausmaß davon ab, wie die verschiedenen Projektpartner miteinander umgehen. Dabei gilt es zwischen der konfrontativen Projektabwicklung (Gotthard-Eisenbahntunnel 1872-1882) und der kooperativen Projektabwicklung (Mont Cenis Tunnel 1854 - 1871) zu unterscheiden (Abb. 13).

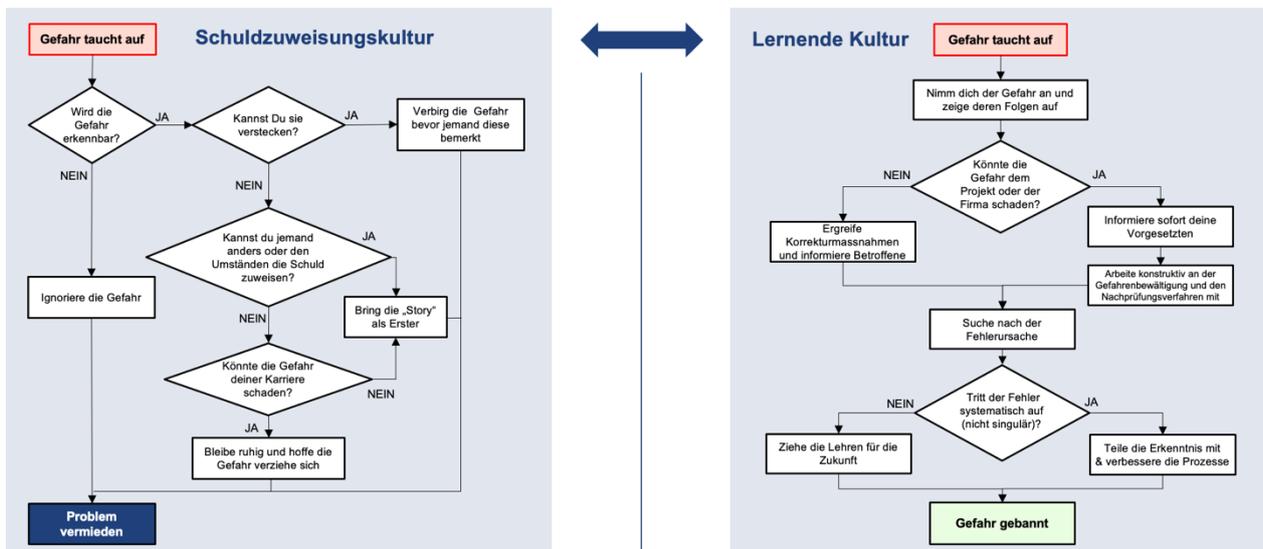


Abbildung 13 Typische Verhaltensweisen in unterschiedlichen Projektkulturen im vereinfachten Prozessschema

Die konfrontative Projektabwicklung ist von dauerndem Streit und Schuldzuweisungen in einzelnen Sachfrage geprägt. Demgegenüber orientiert sich die kooperative Projektabwicklung am übergeordneten Projektziel. Beim Auftreten von Problemen werden die Ursachen gesucht und gemeinsam Lösungen definiert, die notwendigen Schlüsse daraus gezogen und bei Bedarf werden Prozesse und Organisation angepasst.

3.3.7 Partnerschaftlicher Umgang mit allen Projektbeteiligten und der Umwelt

Partnerschaftlicher Umgang basiert auf zwei Pfeilern (Abb. 14):

- der Verhaltensweise
- und den kommerziellen Regelungen

Das partnerschaftliche Miteinander hängt stark von der Persönlichkeit der Beteiligten ab, deren Charakter, Wollen, Können und Dürfen. Dazu muss das Umfeld stimmen. Partnerschaft gedeiht nur in einer Kultur des Vertrauens. Versucht einer der Partner den andern über den Tisch zu ziehen, ist das Vertrauen weg. Die vom damaligen Reichskanzler Bismarck 1873 getätigte Aussage «Das Vertrauen ist eine zarte Pflanze; ist es zerstört, so kommt es sobald nicht wieder» gilt uneingeschränkt. Vertrauen setzt eine «no blame»-Kultur voraus, d.h. es verträgt keine Schuldzuweisungskultur.



Partnerschaftlicher Umgang hängt von der Persönlichkeit der Beteiligten ab deren

- Wollen
- Können
- Dürfen

Partnerschaft gedeiht nur in einer Kultur des Vertrauens.

Kommerzielle Regelungen



- Faire Risikoverteilung: „jeder trägt jene Last, welche er am besten beeinflussen kann“
- Stufengerechte Zuordnung von Aufgaben, Verantwortung und Entscheidungskompetenzen
- Vergabe an das wirtschaftlichste Angebot, durch klar formulierte Eignungskriterien und Zuschlagskriterien
 - sorgfältig formulierte qualitative Zuschlagskriterien basierend auf der Risikoanalyse
 - niedrige Gewichtung des Preises bei komplexen Aufgaben
- Keine Preisverhandlungen
- Vergütung der Auftragnehmer zu fairen Preisen
- Außergerichtliche Streitbeilegung

Abbildung 14 Grundregeln zur partnerschaftlichen Projektabwicklung (Quelle Bild links: SIA)

Partnerschaft bedeutet das Gegenteil von «Zwangsheirat». Die kommerziellen Regelungen müssen deshalb so gestaltet sein, dass es nicht zur Zwangsheirat kommt. Die Risiken müssen fair verteilt oder gemeinsam getragen werden, die Interessen und Verantwortlichkeiten eines jeden Vertragspartners sind zu respektieren, und die Vergabe muss an das wirtschaftlichste Angebot (unter Berücksichtigung von Qualität und Preis) erfolgen. Dabei sollen die Zuschlagskriterien so formuliert werden, dass Planer und Unternehmer zu fairen Preisen vergütet werden können.

Die Vergabe von Aufträgen an Angebote mit unrealistisch tiefen Preisen ist nämlich der Partnerschaft abträglich, langfristig volkswirtschaftlich nicht sinnvoll und ist schließlich hinderlich für die Weiterentwicklung der gesamten Planungs- und Baubranche. Sowohl den Planern als auch den Unternehmern muss (bei vertragskonformer Leistung) das Anrecht auf angemessenen Gewinn bauherrenseitig zugestanden werden. Wird dieses Prinzip hinterfragt, entzieht man einer ganzen volkswirtschaftlich bedeutungsvollen Branche ihre wirtschaftliche Grundlage.

4 Schlussbemerkung

Im Verlaufe der letzten Jahrzehnte sind in der Schweiz Regeln zur Planung und Ausführung von Infrastrukturprojekte entstanden, welche der Schweiz im europäischen Vergleich aktuell einen Spitzenplatz bei in der Umsetzungsqualität bei der Realisierung von Großprojekte beschert hat.

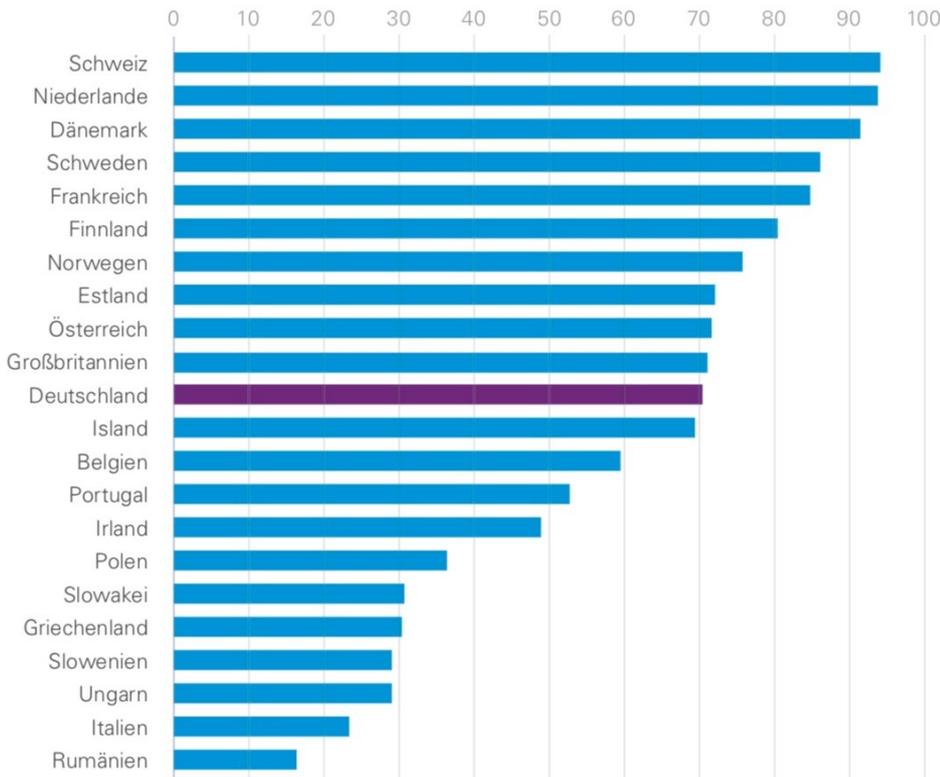


Abbildung 15 Gesamtindex Governance im europäischen Ländervergleich [15]

Zu dieser Beurteilung beigetragen hat sicher auch das NEAT-Projekt. Früher Einbezug der Betroffenen, ein stabiles Finanzierungsmodell, die Analyse von Chancen und Gefahren ab den frühesten Projektphasen, partnerschaftlicher Umgang mit Planern und Unternehmern, der Einsatz optimaler Technik und schließlich Leadership und das hohe persönliche Engagement bei allen Beteiligten waren Voraussetzungen für diesen Erfolg.

Diese Erfolgsfaktoren sind keine Selbstverständlichkeit, wie ein Blick in den nationalen und internationalen Infrastrukturbau zeigt. Wir wären gut beraten, diese Erfolgsfaktoren bewusst zu hegen und zu pflegen – auch in der Schweiz.

Literatur

- [1] AlpTransit Qualitätsmanagement, Sonderdruck zum Schweizer Baublatt 82/1996
- [2] SIA Merkblatt 2007, Qualität im Bauwesen, Zürich, 2001
- [3] Flyvbjerg, Bent; Bruzelius, Nils, Rothengatter, Werner: Megaprojects and Risks – An Anatomy of Ambition, Cambridge, 2003
- [4] Sir Michael Latham, Constructing the Team, London 1994
- [5] Flyvbjerg, Bent; Five Misunderstandings About Case-Study Research, Qualitative Inquiry, vol. 12, no. 2, April 2006
- [6] Stephenson, Robert; Bericht der Experten, Bundesblatt 1850
- [7] Cottet Dumoulin, Emilie: Les premiers chemins de fer en Savoie, Universität Grenoble, 2013
- [8] Wikipedia: Chemin de fer du Mont-Cenis, abgerufen am 26.08.2018, 15:21
- [9] Meister, Jürg; Die Geschichte des Gotthard-Komitees, Gotthard Komitee; 2017
- [10] Häsler, Alfred A.: Gotthard, Als Technik Weltgeschichte schrieb, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2000
- [11] von Niederhäusern, Fred: Die Geschichte des Hauenstein-Basistunnels, Oltener Neujahrsblätter 2008
- [12] Wiesmann, E.: Der Bau des Hauenstein-Basistunnels, Julius Berger Tiefbau Aktiengesellschaft, Berlin, 1917
- [13] Blaut, Hans: Gedanken zum Sicherheitskonzept im Bauwesen. Beton und Stahlbetonbau 9/1982
- [14] Schneider, Jörg: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, vdf, Zürich 1994
- [15] Hammerschmid et. al., Planung und Management öffentlicher Infrastruktur: auf dem Weg zu einer besseren Governance, Hertie School of Governance, 2016