

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 21: S-Bahn Zürich

Artikel: Qualitätsanforderungen der Bauherrschaft
Autor: Hübner, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77441>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Qualitätsanforderungen der Bauherrschaft

Einleitung

Die Projektleitung eines Grossprojekts wie der Neubaustrecke der Zürcher S-Bahn ist gemäss ihrem Pflichtenheft

VON PETER HÜBNER,
ZÜRICH

verantwortlich, dass das Projekt zu den vereinbarten Kosten zeitgerecht und in guter Qualität ausgeführt wird. Der Projektleiter steht dabei in diesem Dreigestirn von Kosten/Terminen/Qualität oft vor Zielkonflikten, ist doch die billigste Ausführung nicht unbedingt jene von bester Qualität. (Fast ebenso oft ist es allerdings auch nicht die teuerste Ausführung!)

In diesem Rückblick soll gezeigt werden, wie der Bauherr in seinen Entscheiden oft zwischen *Investition im Bau* oder *Unterhalt während dem Betrieb* nach einem Optimum suchen muss. Dabei kommt dem Unterhalt und damit der Qualität der Bahntunnels angesichts der langen Nutzungsdauer (mindestens 100 Jahre) sowie in Würdigung des dichten S-Bahn-Verkehrs ein starkes Gewicht zu.

Der Qualitätsbegriff ist aber gerade bei einem Grossprojekt nicht mit der Bauwerksqualität allein erschöpft, vielmehr sind weitere Überlegungen anzu-

stellen über die Qualitätssicherung der Bauausführungen und besonders aber über die Betriebssicherheit. Die lange Nutzungsdauer, die hohen betrieblichen Anforderungen verlangen einen entsprechenden Qualitätsstandard für Bahntunnels. Bei der Erstellung der S-Bahn hat es sich einmal mehr bestätigt, dass Qualität aber nur dann erreicht werden kann, wenn Bauherr, Ingenieur und Unternehmer gemeinsam verantwortungsvoll zusammenarbeiten.

Allgemeine Überlegungen

Jeder Bauherr hat vor der Auslösung von Bauinvestitionen seine Anforderungen an die geplante Baute bezüglich *Nutzungsart* und *Nutzungsdauer* zu definieren und damit zusammenhängend Konzepte für den baulichen Unterhalt des künftigen Bauwerks vorzusehen. Dabei wird er anstreben, die Jahresfolgekosten, bestehend aus dem Aufwand für Amortisation, Verzinsung und laufenden Unterhalt, zu minimalisieren. Die mit der Nutzungsdauer eines Bauwerks zusammenhängenden finanziellen Bewegungen werden in Bild 1 schematisch dargestellt.

Diese Darstellung veranschaulicht, wie die Investitionstätigkeit der Bauzeit abgelöst wird durch die Verzinsung und

Amortisation während der Nutzungsdauer; mit steigendem Alter des Bauwerks kommen laufend höhere Ausgaben für den Unterhalt hinzu. Wenn die Unterhaltskosten unwirtschaftlich werden, ist der Bauwerkszustand genau zu überprüfen und es ist eine Totalsanierung oder ein Neubau auszulösen, worauf die Jahreskosten wieder auf die reine Verzinsung und Amortisation sinken. Der optimale Zeitpunkt der Erneuerung/Sanierung ergibt sich aus Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Die Bilder 2 und 3 illustrieren den gegenwärtigen jährlichen Unterhalts- und Totalsanierungsaufwand für die Tunnels im Kreis III der SBB.

Aus diesen Überlegungen lässt sich leicht folgern, dass ein Bauwerk qualitativ so beschaffen sein sollte, dass seine Nutzung mit möglichst kleinem Unterhaltsaufwand während der ganzen Nutzungsdauer uneingeschränkt möglich ist. Leider ist aber Qualitätsverbesserung oft auch mit Investitionssteigerung verbunden; somit stehen alle am Bau Beteiligten vor der Aufgabe, zwischen Investitionsaufwand und späterem Unterhaltsaufwand die gesamthaft optimale Lösung zu finden. Da der Bauherr den Investitionsaufwand durch seine Qualitäts- oder aber auch Komfortansprüche selber definiert, hat er vor allem die letzteren sehr sorgfältig auf ihre Unerlässlichkeit zu prüfen. Im Falle der Erstellung von Tunnels sind die Qualitätsansprüche noch auf das Umfeld auszudehnen, wird dieses doch z.B. durch die gewählte Baumethode und die damit eventuell verbundenen Setzungen stark tangiert. Dazu sind vor allem im städtischen Gebiet auch die Umwelteinflüsse zu beachten. Hier kann sich die Periode der Bauerstellung mit ihren Emissionen als massgebend erweisen. Im folgenden seien einige der Überlegungen zusammengestellt, die bei den Tunnelbauten der Zürcher S-Bahn gemacht werden.

Anforderungen an das Tunnelnormalprofil

Die Investitionskosten können grundsätzlich dann minimal gehalten werden, wenn der Tunnelquerschnitt möglichst klein gewählt wird. Doch für den späteren Betrieb des Tunnels ist eine allzu knappe Gestaltung des Querschnittes letztlich nicht wirtschaftlich. Aus Gründen der Unterhaltserleichterungen sind Vergrösserungen sinnvoll: In neuen SBB-Tunnels wird deshalb durch eine Erweiterung um 20 cm Platz

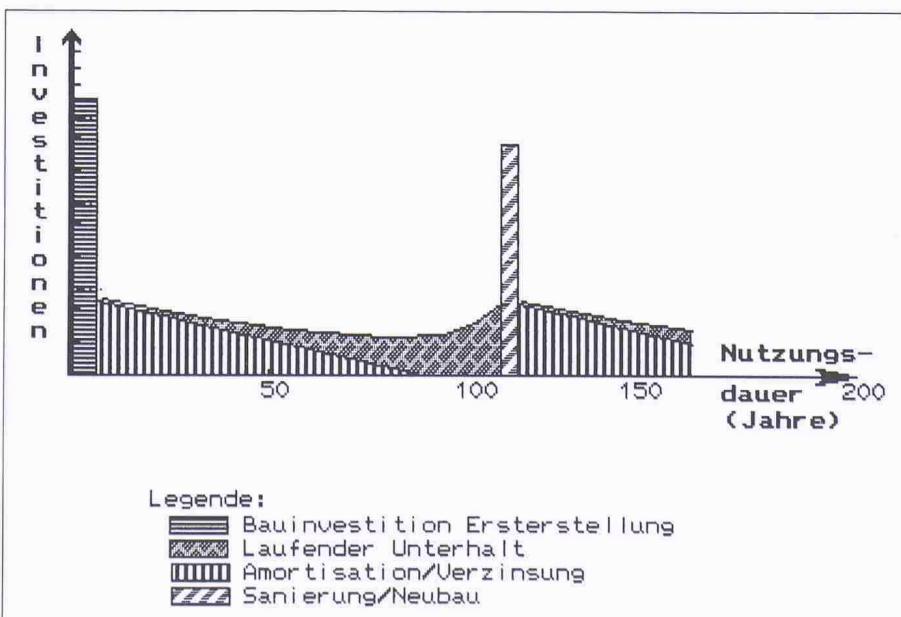


Bild 1. Schematischer Kostenverlauf/Nutzungsdauer

geschaffen für den sogenannten technischen Spielraum, eine Raumreserve, welche in der Lebensdauer des Tunnels vielfältig genutzt werden kann. Bereits während der Bauzeit können gewisse Bautoleranzen aufgenommen werden, wie etwa die Durchschlagsgenauigkeit, die bei den Tunneln der Zürcher S-Bahn mit einem mittleren Fehler von 2 bis 5 cm angesetzt ist. Ebenso war es möglich, die auf die schwierigen geotechnischen Verhältnisse zurückzuführenden Vortriebsungenauigkeiten des Schildes im Hirschengrabentunnel aufzufangen. Während der Nutzungsdauer des Tunnels erlaubt der technische Spielraum die Aufnahme von Deformationen ohne Nachteil für den Betrieb. Ebenso sind Sanierungen wie Sicherungen, Abdichtungen oder Wasserfassungen einfacher und kostengünstiger ausführbar und schränken den Betrieb weniger ein. Weiter ist in Notfällen die Erweiterung des Fluchtraums durch den technischen Spielraum erwünscht.

Anforderungen an die Tunnelabdichtungen

Die Anforderungen an die Dichtung eines Bahntunnels lassen sich wie folgt umschreiben: Der Tunnel darf durch eine wasserundurchlässige Stelle grundsätzlich keinen betrieblichen Nachteil erleiden, und es darf sich kein progressiv wirkender Folgeschaden ausbilden. Aus elektrischen wie auch betrieblichen Gründen muss deshalb der Tunnel auf Schwellenbreite dicht ausgebildet werden. Außerhalb dieses Bereichs sind aber lokal nasse Stellen akzeptierbar, falls nicht Eisbildung zu progressiven Schäden führen könnte. Dies ist der möglichen tiefen Innentemperaturen wegen vor allem im Portalbereich oder bei kurzen Tunneln zu beachten. Aus diesen Anforderungen wurde bei der S-Bahn eine Bauausführung mit einer wasserdichten Innenbetonschale ohne zusätzliche Abdichtung hergeleitet. Ausnahmen bilden der Bahnhof Museumstrasse sowie die Flussunterquerungen, wo es in Anbetracht des grossen Wasserüberdrucks nicht verantwortet werden konnte, die Isolation wegzulassen. Beim Hirschengrabentunnel war eine Ausführung mit Isolation und armierungsfreier Innenschale wirtschaftlicher.

Anforderungen an die Gleisbettung

Wirtschaftlichkeitsberechnungen ergaben, dass langfristig der schotterlose

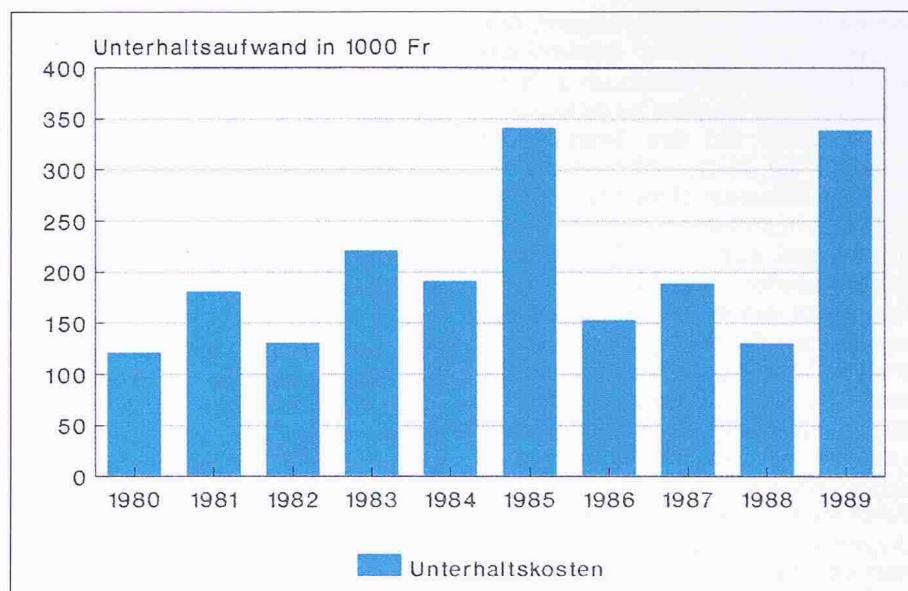


Bild 2. Jährlicher Aufwand für laufenden Unterhalt

Oberbau, dank geringerer Unterhaltskosten die günstigste Ausführungsart für die Tunnels der S-Bahn bildet. Ausser in gewissen Weichenbereichen kommen die Gleise deshalb in allen Tunnels generell auf eine Betontragplatte zu liegen.

In einem weiteren Optimierungsprozess wurde die Dimensionierung dieser Tragplatte in einer speziellen Studie überprüft. Dabei galt es abzuklären, wie weit der Armierungsgehalt reduziert werden darf, immer unter Beachtung, dass die Lebensdauer der Betontragplatte nicht unter der Nutzungsdauer des Tunnels, das heisst in der Grösseordnung von mindestens 100 Jahren, liegen sollte. Die Studie konnte auf Erfahrungen im Flugpistenbau und im Nationalstrassenbau zurückgreifen, und es konnten die dort erhaltenen Resultate auf die Anwendung für Bahntunnels umgerechnet werden. Die Er-

gebnisse der Untersuchung erlaubten der Bauherrschaft, auf die Armierung der Betontragplatte des schotterlosen Oberbaus zu verzichten. Neben der Kostenersparnis ergibt sich so weiter die willkommene Gelegenheit, einen Rohstoff zu sparen, dessen Herstellung sehr energieintensiv ist. Weiter zeigte sich im Bauablauf, dass die Betontragplatte ohne Armierung sehr viel rascher und in bester Betonqualität mit einem Fertiger erstellt werden konnte.

Wahl der Baumethode

Bei der Ausschreibung für einen Bahntunnel-Neubau wird die Bauherrschaft in der Regel eine Anzahl von Angeboten erhalten, die sich vielfach in der Baumethode unterscheiden und als Konsequenz natürlich auch zu verschiedenen Angebotssummen führen.

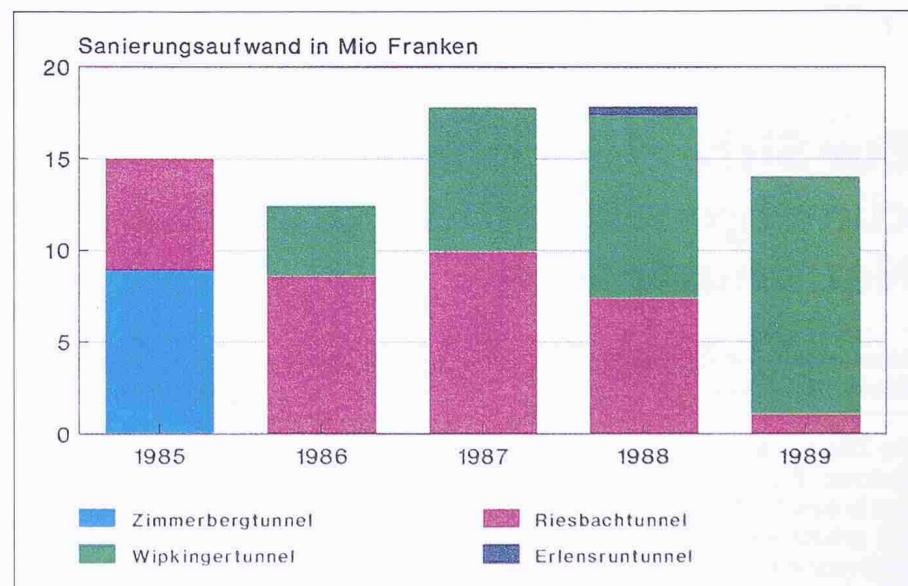


Bild 3. Jährliche Tunnelsanierungskosten

Der Bauherr hat nun die Aufgabe, den Investitionsaufwand zu minimieren. Dabei hat er zu prüfen, ob auch das preisgünstigste Angebot zu diesem Ziel führen kann. Bei den Tunnels der S-Bahn in der Zürcher Altstadt, die unter dicht bebautem Gebiet in geringer Tiefe und in geologisch heiklem Untergrund liegen, war die Wahl der Baumethode besonders sorgfältig abzuwägen. Zum einen galt es, die Sicherheit der angebotenen Baumethoden und insbesondere der vorgeschlagenen Bauhilfsmassnahmen grundsätzlich zu überprüfen und zu beurteilen. Zum andern wurden die verschiedenen prognostizierten Setzungen kritisch analysiert. Dabei waren insbesondere die Auswirkungen auf die Überbauung sowie das Strassen- und Werkleitungsnetz über den Tunnels bezüglich der zu erwartenen Setzungsschäden zu beziffern. Aufgrund dieser fiktiven Schadenprognosen waren die verschiedenen Baumethoden dann zu bewerten, und es ergab sich ein weiteres Auswahlkriterium für die Baumethode. Konkret führte dieses Auswahlverfahren zum Beispiel beim Hirschgraben-tunnel dazu, dass die billigste Baumethode ausgeschieden werden musste. Andrerseits zeigte dieses numerische Bewerten von Setzungsschäden auch, dass sich oft der Einsatz einer teureren Baumethode aus Sicherheitsüberlegungen wirtschaftlich nicht rechtfertigen liess.

Weitere Überlegungen bei der Wahl der Baumethoden galten der Umweltverträglichkeit. So begrüssten wir aus Gründen des Energieverbrauchs, dass z.B. bei den Einspurröhren des Zürcherberg-tunnels statt der energieintensiven Gefriermethode das Jettingverfahren erstmals in grösserem Umfange in der

Schweiz angeboten wurde, ein Verfahren das nicht zuletzt aus den erwähnten energetischen Gründen zukunftsträchtig sein dürfte. Im erwähnten Baulos konnten damit gegen 1 Mio kWh an elektrischer Energie eingespart werden.

Qualitätssicherung bei der Ausführung

Die Ausführungspläne von Bahnbau-ten sind gemäss den gesetzlichen Be-stimmungen von den Aufsichtsbehörden zu genehmigen. Im Falle der SBB ist diese Aufgabe vom Bundesamt für Verkehr an die Bahn zurückdelegiert. Allerdings übersteigt sie bei einem Grossprojekt wie der Neubaustrecke der Zürcher S-Bahn die Kapazität der SBB-internen Organisation. Für die Tunnels wie auch für kritische allge-meine Tiefbauten waren deshalb Prüfin-genieure zugezogen worden, deren Pflichtenheft die aufsichtsbehördliche Überprüfung der Konstruktionen wie auch deren Beurteilung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit umfasste. Im Vor-trieb erfolgten periodisch geologische Aufnahmen, die zusammen mit der messtechnischen Überwachung zum Ziele hatten, allfällige Problemab-schnitte zu erfassen, die während der Nutzungsdauer des Tunnels von Bedeu-tung sein könnten. Die Ergebnisse die-ser geologischen Aufnahmen sind in den Ausführungsplänen zu dokumentieren. Auf den Rat der Experten konn-te in kritischen Phasen im Verlaufe der Bauausführung zurückgegriffen wer-den. Besonders wertvoll war diese Zu-sammenarbeit z.B. im Hirschgraben-tunnel in den Phasen des Schildstill-stands. Einer besonderen Beachtung be-

darf der Aufbau eines Netzes von Über-wachungspunkten im Tunnel, welches erlauben soll, die während dem Bau er-fassten Tunneldeformationen auch während der Nutzungsdauer weiter zu verfolgen. Deshalb ist frühzeitig die Möglichkeit der Kontrollmessungen unter Berücksichtigung des Bahnbe-triebs abzuklären.

Sicherheit im Betrieb

Die Neubaustrecke der Zürcher S-Bahn zeichnet sich betrieblich dadurch aus, dass in den Spitzenzeiten stark besetzte Züge in sehr dichtem Fahrplan mit relati-v hoher Geschwindigkeit verkehren. Dies könnte zu einem grundsätz-lich höheren Unfallrisiko für die Be-nutzer dieses Verkehrsmittels führen. Mit gezielten Massnahmen war deshalb sicherzustellen, dass ein ausreichend hohes Sicherheitsniveau entsprechend dem übrigen SBB-Netz erreicht wird. In einer umfassenden Sicherheitsstudie zweier spezialisierter Ingenieurbüros sind alle vorgeschlagenen Sicherheits-massnahmen hinsichtlich ihres Kosten/Nutzen-Verhältnisses analysiert worden. Inbesondere waren die Ret-tungsmöglichkeiten bei Brandfällen in den Tunnels zu überprüfen. Diese Stu-dien zeigten wiederholt, dass betriebl-i-che Vorkehrungen sinnvoller sind als bauliche Investitionen. Die Sicherheits-studie wird deshalb mit ihren Ergebni-sen Eingang in das Pflichtenheft des S-Bahn-Betriebs finden.

Adresse des Verfassers: P. Hübner, dipl. Ing. ETH/SIA, Sektionschef Ingenieurbau SBB, Bauabteilung Kreis III, 8021 Zürich.

Zur Sicherheit des künftigen Bahnbetriebes auf der Neubaustrecke

Was ist denn gefährlich an der Neubaustrecke?

Die Zürcher S-Bahn ist eine normale, moderne Bahn, welche entsprechend dem hohen Leistungsbedürfnis geplant und gebaut wird. Als solche wird sie selbstverständlich mit der modernsten Sicherheitstechnik wie z.B. Zugüberwa-chung und Zugfunk ausgerüstet. Dank

der Automatisierung der Überwa-chungsanlage ist die S-Bahn in den letz-ten Jahrzehnten, trotz zunehmender Verkehrs-dichte noch sicherer gewor-den; Automaten sind zirka tausendmal sicherer als der Mensch. Das Todesfall-Risiko im Zug beträgt heute zirka 0,05 auf 100 Mio Personenkilometer. An-schaulicher ausgedrückt heisst das: wenn jemand jeden Tag statt zu arbei-

ten 8 Stunden Eisenbahn fahren würde, also z.B. nach Paris und zurück, müsst er das 10 000 Jahre lang machen, bis ihn nach statistischer Wahrscheinlichkeit der Unfalltod ereilen würde. (Auf der Strasse trate dieser schon nach wenigen 100 Jahren ein.) Das Risiko eines tödli-

VON PETER ZUBER,
BERN

chen Unfalls im Haushalt ist etwa gleich gross, damit ist das Bahnfahren etwa gleich gefährlich wie zu Hause bleiben.

Somit bestand eigentlich kein Grund, die Sicherheitsfrage von Grund auf neu