Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 29: S-Bahn Zürich

Artikel: S-Bahn Technik: Gleisoberbau und Körperschallschutzmassnahmen
Autor: Rubi, Hanspeter / Hejda, Georg / Rutishauser, Gerard
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85982

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: 11.02.2026

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

Die neue Anlage ersetzt das bald 130 Jahre alte und teilweise baufällige Lok-Depot im Bahnhof Winterthur, welches weitgehend abgebrochen wird.

Zum Bauablauf

Im August 1987 konnte mit den Bauarbeiten begonnen werden. Dabei war vorerst die rund 130 m lange Eindolung des Riedbaches auszuführen. Damit die umfangreichen Materialverschiebungen von rund 160 000 m³ Aushubmaterial bzw. Kiessand weitgehend per Bahn durchgeführt werden konnten, wurde ein Baugleis im Areal erstellt. Der Gleisunterbau musste derart konzipiert werden, dass das anfallende Meteorwasser in den Grundwasserträger versickern kann. Ebenso musste für das von den Dächern der Gebäude abfliessende Wasser eine neuartige Versickerunqsgalerie konstruiert und gebaut werden. Dabei bot insbesondere die Tatsache, dass der natürliche Grundwasserspiegel lediglich 1–2 m unter der Terrainoberfläche liegt, einige Probleme.

Die Erschliessung der Anlagen wird mit der neuen Flugplatzstrasse, welche die Gleisanlagen mit einer schiefen, fünffeldrigen Plattenbrücke (Länge rund 100 m) überspannt, sichergestellt. Zusammen mit der nördlich liegenden Rad- und Gehwegunterführung konnten damit auch drei unbewachte Bahnübergänge aufgehoben werden.

Insgesamt waren 50 Weichen und rund 10 000 m Gleise zu verlegen und mit Fahrleitungen zu überspannen. Für die Sicherungs-, Telekommunikations- und weiteren bahntechnischen Einrichtungen waren zudem rund 70 000 m Kabel zu verlegen.

Am markantesten treten die Hochbauten mit einem Bauvolumen nach SIA von 170 000 m³ in Erscheinung. Im Untergeschoss sind die technischen Installationsräume mit den dazugehörigen Verbindungsgängen angeordnet. Das Erdgeschoss wird mittels einer gelungenen Raumfachwerkkonstruktion, die gleichzeitig als Oberlicht ausgeführt ist, überspannt. Die Eingliederung des gesamten Baukörpers in die Landschaft verlangte von allen beteiligten Planern ein hohes Mass an Einfühlungsvermögen. Mit der Massstäblichkeit der formalen und farblichen Gestaltung der Fassaden und der Dachränder kann dies als gelungen bezeichnet werden.

Die 1. Etappe der neuen Anlage ist im Mai 1990, mit der Aufnahme des S-Bahn-Betriebes, in Betrieb genommen worden. Dabei musste der Unterhalt an den Fahrzeugen infolge der noch laufenden Bauarbeiten noch teilweise improvisiert werden, was zu aufwendigen internen Abläufen führte. Im Herbst 1990 erfolgte die Inbetriebnahme der 2. Etappe, womit auch ein geregelter Fahrzeugunterhalt sichergestellt werden konnte. Zu den Fertigstellungsarbeiten des laufenden Jahres gehört auch der Einbau einer Drehscheibe mit einem Durchmesser von 24 m.

Die Realisierung des Neubauprojektes konnte trotz verschiedenen unvorhergesehenen Überraschungen im Rahmen des bewilligten Kredites zuzüglich der aufgelaufenen Teuerung erfolgen.

Adresse der Verfasser: *Heini Gründler*, dipl. Ing. ETH, Chef Bausektion, und *Hans Peter Rutz*, Ing. HTL, Projektleiter Bausektion SBB Kreis III, 8021 Zürich.

S-Bahn-Technik

Gleisoberbau und Körperschallschutzmassnahmen

Bei der Festlegung des Konzeptes für die konstruktive Gestaltung der Gleisanlagen mussten von vornherein die spezifischen Bedingungen einer städtischen Eisenbahnanlage berücksichtigt werden. Es galt die stark belasteten und in schwierigen geometerischen Verhältnissen liegenden Gleise und Weichen funktionell, dh. betriebssicher, umweltfreundlich und unterhaltsarm, in einem gesamtwirtschaftlichen Rahmen möglichst optimal zu gestalten. Dabei wurde im Hinblick auf eine sinnvolle Materialbewirtschaftung auch darauf geachtet, soweit wie möglich die im übrigen SBB-Netz standardisierten bzw. bereits vorhandenen Gleis- und Weichenkomponenten einzusetzen.

Die Neubaustrecke der S-Bahn Zürich unterquert in geringer Tiefe die Altstadt sowie das Gebiet Hottingen/Riesbach. Aufgrund von Erfahrungen im Ausland (Wiener U-Bahn, RATP in Paris) musste der Übertragung von Körperschall und Erschütterung grosse Beachtung geschenkt werden. Diese Problematik hat die konstruktive Ausbildung des Oberbaus entscheidend beeinflusst.

VON HANSPETER RUBI, GEORG HEJDA, GERARD RUTISHAUSER UND PETER KLEINER, ZÜRICH

Fahrbahngestaltung

Linienführung

Die Linienführung ist ein gelungener Kompromiss (nach umfangreichen Optimierungen) zwischen den vorgegebenen topographischen Zwangspunkten und den fahrdynamischen, auf die Gleisbeanspruchung ausgelegten Trassierungsgrundregeln. In einigen Abschnitten konnten kleine Radien und grosse Steigungen (bis zu 40 Promille) nicht umgangen werden, was zu Sonderregelungen sowohl im Längenprofil wie auch im Grundriss führte.

Die Fahrgeschwindigkeit von 125 km/h wird zwischen Stadelhofen und Dietlikon erreicht. Angesichts des vorwiegend artreinen, homogenen Verkehrs konnte im Sinne einer Ausnahmeregelung die sog. «ideelle» Geschwindigkeit angewendet werden. Dies konnte für einen besseren Fahrkomfort durch Anordnung grösserer Gleisüberhöhungen erreicht werden.

Dank der guten Zusammenarbeit der beteiligten Fachdienste gelang es, die innere Geometrie von komplizierten Weichenanlagen, wie beispielsweise Bahnhof unter der Museumsstrasse, Stadelhofen oder Neugutviadukt, bereits in der Projektierungsphase auf die Verwendung der konstruktiven Normalbauteile auszurichten. Aufwendige Sonderkonstruktionen und damit auch eine umständliche Reserveteilhaltung konnten damit umgangen werden.

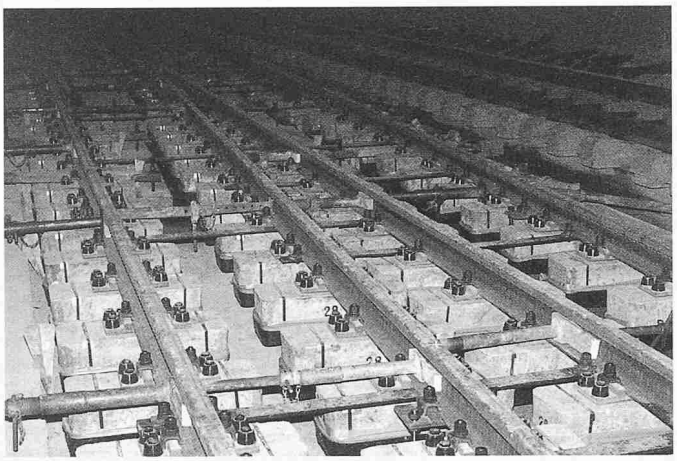


Bild 1. Weiche vorbereitet zum Einbetonieren

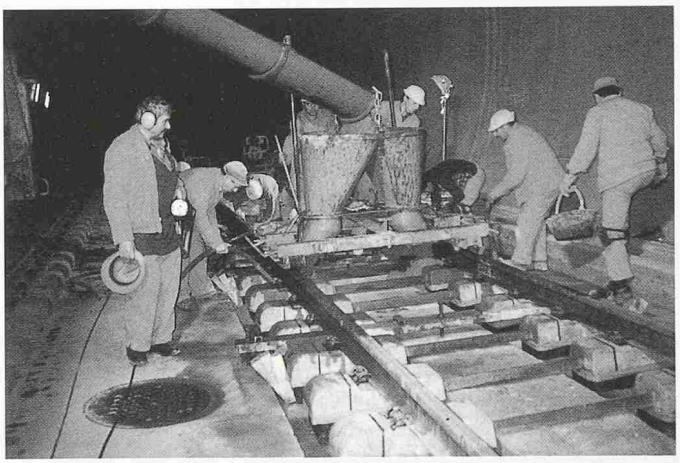


Bild 2. Einbetonieren eines schotterlosen Gleises

Gleisoberbau

Ob schotterlose Gleise, wie bereits 1974 im Heitersbergtunnel und 1978 im Flughafenbahnhof eingebaut, oder ein konventioneller Oberbau zu bauen sei, wurde unter der Berücksichtigung der Erfahrungen nochmals eingehend untersucht. Wirtschaftlichkeitsrechnungen ergaben, dass ein schotterloser Oberbau im Tunnel längerfristig unterhaltsfreundlicher ist und dadurch niedrigere Gesamtjahreskosten aufweist.

Anhand der guten Erfahrungen mit schotterloser Bauart im Heitersbergtunnel und im Flughafenbahnhof sowie Luftschallvergleichsmessungen in schon bestehenden Tunnels mit gleichem Querschnitt (Heitersberg mit schotterlosem Gleis, Borntunnel mit Schotterbett) wurde entschieden, die unterirdischen Abschnitte ebenfalls schotterlos zu verlegen. Hinsichtlich der nachstehend beschriebenen Körperschallmassnahmen erwies sich dieser Entscheid ebenfalls als richtig. Es bestand kein Grund, von der bewährten Bauart einer elastischen ummantelten, in eine Betontragplatte eingegossenen Zweiblockschwelle abzuweichen. Die gute Auswechselbarkeit des Gleisrahmens im Falle einer allfälligen Entgleisung und die durch Erfahrung nachgewiesene Dauerhaftigkeit sowie das problemlose Verhalten im betreffenden Geschwindigkeitsbereich sind dabei als wesentliche Eigenschaften in Betracht gezogen worden.

Im gesamten schotterlos verlegten Bereich kam die Schiene UIC 54 E zur Anwendung. Dieses Schienenprofil weist in derart verlegten Gleisen im vorgegebenen Geschwindigkeitsbereich eine ausreichende Tragfähigkeit auf. Als einzige Ausnahme ist der rund 200 m lange Versuchsabschnitt vor Stettbach zu erwähnen, in dem die Schiene UIC 60 verlegt wurde. Diese Anordnung wurde im Hinblick auf den für Geschwindigkeiten bis 200 km/h vorgesehenen und im Bau befindlichen Grauholztunnel gewählt, um die Auswirkungen des grösseren Schienenprofils auf das Eigenverhalten der Gleiskonstruktion testen zu können. Die entsprechenden Versuchsfahrten mit Geschwindigkeiten bis max. 180 km/h wurden im Januar 1990 durchgeführt, wobei ortsfest die Erschütterungen durch die dynamischen Gleiseinsenkungen gemessen wurden.

Für die verlegten Zweiblockschwellen kam der gleiche Typ wie im Flughafenbahnhof Zürich mit der elastischen Befestigung «Ws» zum Einsatz. Die notfalls erforderliche Auswechselbarkeit ist auf diese Weise bei allen bisher schotterlos verlegten Abschnitten im Raum Zürich gewährleistet.

Leichte Modifikationen gegenüber den bisherigen Ausführungen erfuhr die elastische Einlage im Gummischuh. Anhand der im Jahre 1986 durchgeführten Vergleichsmessungen mit drei Produkten unterschiedlicher Elastizität im Heitersbergtunnel wurde für den Bereich des Hauptbahnofs ein weiches Material mit Einsenkungen des Gleisrostes von rund 2,5 mm und für die übrigen Abschnitte mit höheren Geschwindigkeiten ein etwas härteres Material mit Einsenkungen von 1,5–2 mm gewählt. Bei diesem Versuch wurde mit der Auswahl auch der elastischen Elemente das optimale System hinsichtlich Körperschall gesucht und ohne Mehrkosten eine zusätzliche Dämmung von 6 bis 8 dB erreicht.

Im Bereich des Glattals mit den häufig wechselnden Unterbauverhältnissen (Brücken, Erdbau) kam der klassische Schotteroberbau mit vorgespannten Monoblockschwellen und der UIC 60 Schiene als wirtschaftlichste Art zur Anwendung.

Bezüglich der Schienenstahlqualität wurde im gesamten Neubauabschnitt von der üblichen SBB-Praxis leicht abgewichen, indem die sog. «Sondergüte» mit Zugfestigkeit von 1100 N/mm² bis zur Radiengrösse von rund 700 m im Sinne einer verschleissreduzierenden Massnahme eingesetzt wurde.

Weichen

Die im unterirdischen Bereich liegenden doppelten Gleisverbindungen mit den anschliessenden Weichen inkl. der Bogenweichen in Stadelhofen-West sind alle mit Schienenprofil UIC 54 E und im Schotter auf Holzschwellen verlegt. Die schotterlose Verlegung wurde aus statischen Gründen nur bei dem aufgelösten, doppelten Spurwechsel im Zürichbergtunnel angeordnet, welche für Geschwindigkeiten über Ablenkung von 95 km/h ausgelegt ist.

Obschon ursprünglich nicht speziell für die S-Bahn entwickelt, wurden die ersten Weichen im Schienenprofil UIC 60 (SBB VI) im SBB-Netz in der Abzweigung der Neubaustrecke bei Dübendorf eingebaut. Diese verstärkte und konstruktiv auf den neuesten Stand der Technik optimierte Bauart für stark belastete Gleise kam dann auch bei den übrigen im Freien liegenden Weichen zum Einsatz.

Dilatationsvorrichtungen

Die Brückenkonstruktionen des Neugut- und Wiedenholzviaduktes wurden mit grossen Dehnungslängen (bis 650 m) ausgelegt, so dass an den beweglichen Widerlagern Schienendilatationen eingelegt werden mussten. Insbesondere für die Mitte des Neugutviaduktes musste eine neue Konstruktion entwickelt werden, nachdem relative Bewegungen der Brückenkonstruktion in Grössenordnung von +/– 200 mm aufzunehmen waren. Diese Anordnung verlangte ebenfalls besondere Massnahmen bei der Schotterbett-Trennung, indem höhenmässig regulierbare Befestigungspunkte direkt auf die Brücke verlegt werden mussten. Die neue, gegenüber der damaligen Regelbauart verstärkte Schienendilatation basiert auf der Zungenvorrichtung einer Weiche im Schienenprofil UIC 60 und wird

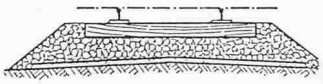
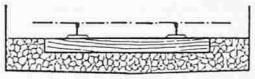
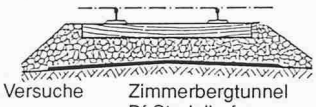
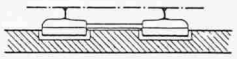
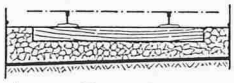
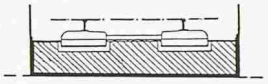
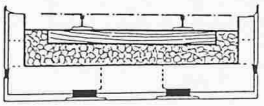
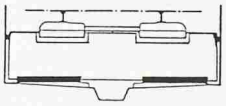
Stufe	Dämm-Leistung > 40 Hz	Schotter-Oberbau: Kiesplanum	Schotter-Oberbau: Betonsohle	Schotterlos
0	Vergleichs-Basis			
1	ca. 5 – 10 dB	Altpneumatte  Versuche Zimmerbergtunnel Bf Stadelhofen		optimierter Schwellenschuh 
2	ca. 10 – 15 dB	hochwertige USH  Versuche Zimmerbergtunnel Bf Stadelhofen	Altpneumatte Versuche Riesbachtunnel Bf Stadelhofen	
3	ca. 15 – 20 dB		hochwertige USH ZSB : Rampe, Limmat Basel : Gellertdreieck	leichtes MFS  ZSB : First Church
4	über 20 dB		MFS  ZSB : Rämistrasse	MFS  ZSB : Central

Tabelle 1. Oberbautypen und Körperschallschutzmassnahmen

Ψ Wei Maßn OB

seither ebenfalls für andere Anwendungsfälle in Hauptgleisen des SBB-Netzes eingesetzt.

Schotterlose Fahrbahnplatte

Bei der Überarbeitung der betonierten Fahrbahnplatte zeigte es sich ebenfalls als notwendig, einerseits möglichst langjährige Erfahrungen aus der Praxis und anderseits eingehende theoretische Berechnungen heranzuziehen, um denkbare Schadensmechanismen zu erkennen und auszuschliessen.

Der Hauptharst der Erfahrungen mit festen Fahrbahnen stammt nicht aus dem Bahnbau – wo in der Schweiz das sehr gute Verhalten des Heitersbergtunnel-Oberbaus bekannt war –, sondern aus dem Strassenbau, dessen Oberbauprobleme eng mit denjenigen der Bahn verwandt sind. Die Achslasten der Strasse liegen in der gleichen Grössenordung wie die vom Schienenauflager auf die Betonfahrbahn übertragenen Kräfte. Allerdings sind die möglichen Stosszuschläge im Bahnverkehr wegen der hohen nicht abgefederten Massen grösser als auf Strassenoberbauten; anderseits müssen aber bei festen Fahrbahnen in Bahntunnels grosse Temperaturschwankungen, Frostprobleme usw. nicht berücksichtigt werden.

Es ist bekannt, dass sich mit «starren» Oberbauten im Strassenbau sehr lange Lebensdauern erzielen lassen. Dies gilt einerseits bei voll zementstabilisierten Oberbauten, mit welchen das Tiefbauamt des Kantons Zürich – in Praxis und Versuchen auf Strassen und Flugpisten – jahrzehntelange Erfahrungen sammeln konnte.

Das Hauptproblem, das bei Betonfahrbahnen – für Strassen oder Schiene – zu beachten ist, besteht in der Vermeidung des sogenannten «Pumpens» von starren Oberbauten, dh. der Herausförderung (bei Lastwechseln) von Feinmaterial mit Wasser aus der Schicht unterhalb der starren Decke. Ein weiteres Problem stellt sich – diesmal allerdings nur bei der Bahn – im Bereich der Schwellenköpfe, wo relativ hohe Horizontallasten bzw. -schläge aufzunehmen sind.

Bemessung

Mit dem beschriebenen Erfahrungshintergrund und den daher bekannten Mechanismen möglicher Schäden war es möglich, eine zuverlässige und zielgerichtete Bemessung vorzunehmen. Folgende Stichworte charakterisieren sie:

- Bemessungsphilosophie wie bei Strassen-/Flugpisten-Oberbauten.
- Minimierung der Platteneinsenkungen und weitestgehende Eliminierung einer Wassersättigung im Unterbau. Erreicht wurde dies durch eine relativ dicke, aber unarmierte Betonplatte, eine gute vorsorgliche Entwässerung, einer hoch verdichtete Kiesunterlage und durch den Einbezug der 8 cm dicken Heissmischtragschicht aus der Bauphase. Mit diesen Massnahmen konnte das Pumpen, der Hauptfeind der Betonstrassen, praktisch ausgeschlossen werden.
- Verdichtung der Betonplatte in der Kurve, wo auf der Aussenschiene wesentlich höhere Lasten auftreten als in der Geraden.
- Eingehende statische Nachweise für alle denkbaren Bruchmechanismen, und zwar unter Annahme von Rissen nicht nur bei der Einkerbung alle 4.80 m (Schwinden), sondern auch unter oder neben jeder Schwelle im Sinne eines Extremfalles.
- Bestimmung der Lebensdauer (Ermüdungsverbrauch) in der unarmierten Platte.

Beobachtungen

Messungen an der ausgeführten unarmierten Betontragplatte haben ergeben, dass die Einsenkungen unter einer Lok Re 4/4 II nur 0,15 mm betragen. Die Dehnungen – und damit die Spannungen, bei den kleinen gemessenen Werten – waren in Querrichtung etwas über

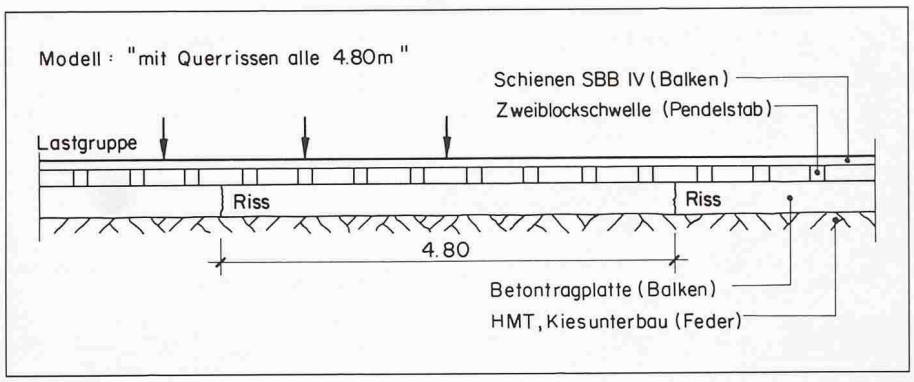


Bild 3. Rechenmodell im Längssinn (Balken auf elastischen Unterlagen)

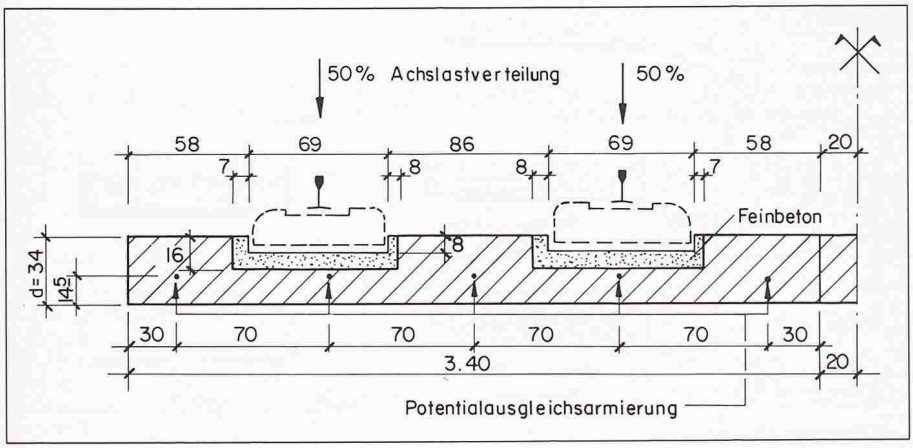


Bild 4. Normalquerschnitt im Zürichbergtunnel

den berechneten Werten und stimmten in Längsrichtung mit den Rechenwerten gut überein (Maximaldehnung $10 \cdot 10^{-6}$, Maximalspannung rund 0,3 N/mm²). Die Versuche unter fahrender Last zeigten bis 125 km/h keine Abweichung gegenüber statischer Last.

In der Bemessung wurde ein Stosszuschlag von 50% für die massgebende Lastgruppe berücksichtigt, woraus sich eine Lastwechselzahl bis zum Bruch von 10 Milliarden Lastgruppen ergab.

Es wird wegen der geringen Beanspruchung einerseits und dem Wegfall der Tragarmierung anderseits eine sehr lange Lebensdauer der Betontragplatte erwartet.

Konzept Körperschall

Das Umweltschutzgesetz schreibt vor, dass «unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung Emissionen im Rahmen der Vorsorge soweit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Die Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören.»

Bis heute liegt noch keine Vollzugsverordnung vor, welche den Problemkreis Körperschall regelt. Es war daher von besonderer Bedeutung, dass eine Arbeitsgruppe Oberbau und die kantonale Lärmbekämpfungskommission die notwendigen Rahmenbedingungen für die Risikobeurteilung und die Massnahmenplanung festlegten. Gestützt auf verschiedene in- und ausländische Normen, auf Analogien zu den gesetzlich vorgeschriebenen Luftschallgrenzwerten, auf wissenschaftliche Untersuchungen und auf ausländische Erfahrungen wurden für die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen Planungsrichtwerte festgelegt.

Um Anhaltspunkte über die Ausgangssituation und Vergleichsmöglichkeiten im Falle späterer Klagen zu haben, wurden vor Beginn der Bauarbeiten sogenannte Nullmessungen durchgeführt. Es wurden umfangreiche Erschütterungsmessungen im innerstädtischen S-Bahn-Abschnitt sowie vereinzelte Messungen im Glattal vorgenommen.

Auf die Frage «Wo können störende Immissionen auftreten?» wurde mit einem einfachen Prognoseverfahren eine Antwort zu geben versucht. Dabei galt es folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Rollmaterial, Art, Geschwindigkeit und Häufigkeit der Züge
- Gleisoberbau
- Tunnelkonstruktion
- Geologie und Hydrologie
- Bebauung, Art und Nutzung

Nach eingehender Untersuchung und Beurteilung unter Einbezug der kantonalen Lärmbekämpfungskommission gelangte die Arbeitsgruppe zum Schluss, dass auf folgenden Streckenabschnitten besondere Schutzmassnahmen unumgänglich seien:

1. Rampe Vorbahnhof; 2. Limmatquerung; 3. Unterquerung Central; 4. Unterquerung Rämistrasse; 5. Bahnhof Stadelhofen; 6. Verzweigungsbauwerk Kreuzbühlstrasse; 7. Abschnitt Merkurstrasse-Zeltweg; 8. Schacht Kirche St. Antonius

Planungsrichtwerte S-Bahn Zürich	*Erschütterung* V_{eff} in mm/s		*Abgestrahlter Körperschall, Mittelungspegel* L_{eff} in dB (A)	
	Tag	*Nacht*	*Tag*	*Nacht*
ruhige Wohngebiete, Kirchen, Konzertsäle	0,3	0,2	35	25
lärmvorbelastete Wohngebiete, ruhige Büros	0,4	0,3	40	30

V_{eff} = Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit am Immissionsort bei einer Zugsvorbeifahrt, welcher von 90% aller Züge nicht überschritten werden darf.

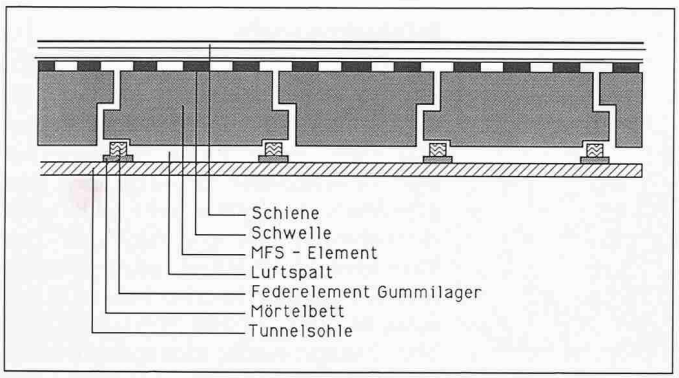
L_{eq} = durch Zugsverkehr über Körperschall erzeugter Luftschallpegel am Immissionsort, gemittelt über den ganzen Tag bzw. die ganze Nacht.

Tabelle 2. Richtwerte für Erschütterungs- und Körperschallimmissionen

Ausführung der Schutzmassnahmen

Beim fahrenden Zug erzeugen die unvermeidlichen Abweichungen vom absolut ruhigen Lauf ein Wechselspiel von Kräften in verschiedenen Richtungen. Diese dynamischen Kräfte werden von der Schiene über den Oberbau in den Untergrund oder in die Tunnelkonstruktion abgeleitet, wo sie sich in Form verschiedenartiger Wellentypen in die Umgebung ausbreiten.

Mit Hilfe eines sogenannten «Masse-Feder-Systems» kann es gelingen, er-



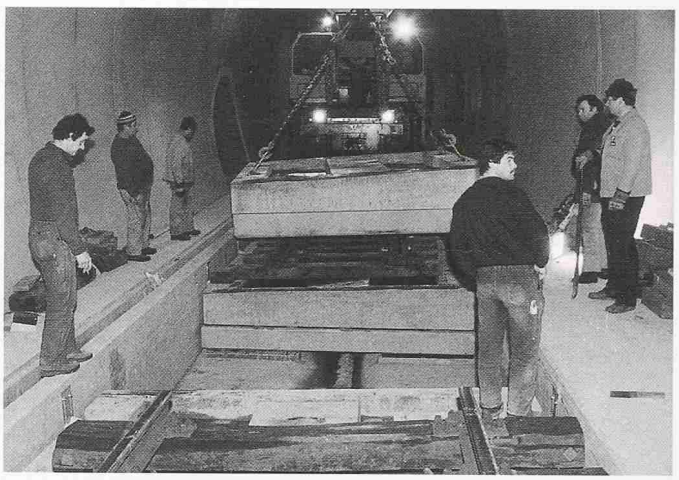


Bild 5. Masse-Feder-System Central, schematischer Längsschnitt

Bild 6. Einbau Masse-Feder-System Central

zwungene Schwingungen so umzuwandeln, dass sie nicht mehr störend wirken. Dabei werden die Federkräfte der elastischen Abstützung so zu den dynamischen Erregerkräften abgestimmt, dass nur noch ein kleiner Anteil an Reststörkräften übertragen wird. Die Dämmleistung eines Masse-Feder-Systems ist gross bei grosser abgefederter Masse und/oder weicher Abfederung. Beiden sind Grenzen gesetzt, innerhalb welcher ein Optimum zu suchen ist.

Eine erste Abschätzung der Dämmleistung (DL) kann nach folgender Formel gefunden werden:

$DL = 20 \log (1 - W/W_o)$ [in dB]

W = Erregerfrequenz

W_o = Eigenfrequenz des Systems

Zur Ermittlung der Eigenfrequenz müssen die dynamischen und nicht die statischen Kennwerte eingesetzt werden. Eigens zu diesem Zweck wurde bei der EMPA ein Prüfverfahren zur Ermittlung der dynamischen Steifigkeit von elastischen Lagern und Matten bei verschiedenen Vorlasten und Frequenzen entwickelt. Vor der Bestellung wurden verschiedene Lagerfabrikate diesem Test unterzogen. Nach der Serienproduktion und vor dem Einbau wurden die Tests im Sinne der Güteüberwachung an verschiedenen Stichproben wiederholt.

Grosse Massen, beispielsweise schwere elastisch gelagerte Betonplatten, brauchen Raum, wozu das Tunnelprofil unter Umständen mit erheblichen Mehrkosten auszuweiten ist. Eine weiche Federung bewirkt eine stark gekrümmte Biegelinie des Gleises unter statischer Last eines Zuges. Aus fahrdynamischen Gründen sind auch hier Grenzen gesetzt. Grundsätzlich können aber sehr steife Fahrbahnen etwa in Form durchgehender Betonplatten weicher gelagert werden als aufgelöste Systeme mit geringer Biegesteifigkeit. Diese Überlegungen haben je nach Bedingungen und Erfordernis zu abgestuften Systemen geführt:

- optimierter elastischer Schwellenschuh (schotterloses Gleis)
- Unterschottermatten
- Fahrbahnplatte auf Gummimatte betoniert
- schweres Masse-Feder-System in Elementbauweise
- schweres Masse-Feder-System mit durchgehend betoniertem Schottertrog

Unterschottermatte

Unterschottermatten weisen in der Regel eine Stärke zwischen 25 und 60 mm auf und werden – wie der Name sagt – unter dem Schotter verlegt. Wir unterscheiden folgende Arten:

- Vollgummi
- Gummigranulat oder -schnitzel
- Gummi, einseitig profiliert
- Gummi-Hohlprofile
- Schaumstoffe
- Fahrflächen von Altpneus

Die garantierte Dämmleistung der verschiedenen Matten liegt zwischen 10 dB und 18 dB (für den massgebenden Körperschalldämmbereich um 50–60 Hz). Die Wahl des Mattentypus erfolgte deshalb selektiv nach den örtlichen festgelegten Anforderungen sowie nach dem Preis-Leistungs-Verhältnis. Dies führte dazu, dass bei der S-Bahn sehr unterschiedliche Mattentypen eingesetzt wurden.

Masse-Feder-System

Masse-Feder-Systeme, wie diejenigen bei der Zürcher S-Bahn, sind Anfertigungen nach Mass. Sie erfordern einen hohen Aufwand in der Projektierung und Ausführung. Sie kommen deshalb nur unter extremen Verhältnissen in Frage.

Am Central

Aufgrund der Risikobeurteilung sind hier Massnahmen zu treffen, welche im Frequenzbereich über 50 Hz mindestens eine Schwingungsreduktion von 20 dB bewirken. Aus Gründen des Bauablaufes wurde ein System aus vorfabrizierten Betonfertigteilen gewählt. Es besteht aus Elementen von 3,12 m Länge, 3,12 m Breite und 0,76 m Höhe. Das Elementgewicht beträgt 19 t bzw. 6 t/m. Um dieses Gewicht zu erreichen, wurden alte Eisenbahnschienen einbetoniert, womit ein Eisengehalt von 730 kg je m³ Beton erzielt wurde. Wie aus dem Längsschnitt ersichtlich ist, liegt jedes zweite Element an seinen Enden auf querliegenden Gummi-Federelementen. Die Steifigkeit dieser Elemente ist so ausgelegt worden, dass die vertikale Translations-Eigenfrequenz rund 8 Hz beträgt.

Die Federelemente aus Naturgummi wurden auf Mörtelstreifen exakt auf die vorgegebene Höhe verlegt. Aufgrund der Berechnungen sollte die Dämmleistung bei 20 Hz bereits etwa 10 dB und oberhalb 50 Hz mehr als 20 dB betragen.

An der Rämistasse

Unter den Häusern an der Rämistrasse, welche der S-Bahn-Tunnel praktisch ohne Überdeckung unterquert, liegen die Weichenanlagen für den Bahnhof Stadelhofen. Die Situation ist demzufolge bezüglich der Schwingungsübertragung auf die Häuser als äusserst kritisch zu beurteilen. Nur mit maximal wirksamen Massnahmen gegen Erschütterungen kann das Wohnen und Arbeiten darin noch ermöglicht werden.

Weil Weichenanlagen am besten auf Schotter zu legen sind, wurde an dieser Stelle ein elastisch gelagerter Schottertrog ausgeführt. Er weist eine Länge von 125 m, eine maximale Breite von 12 m und eine mittlere Bodenstärke von 65 cm auf. Der ganze Gleistrog besteht aus einem Stück. Er wurde direkt auf die mit einem Wachsfilm versehene Tunnelsohle betoniert. Im Trog wurden

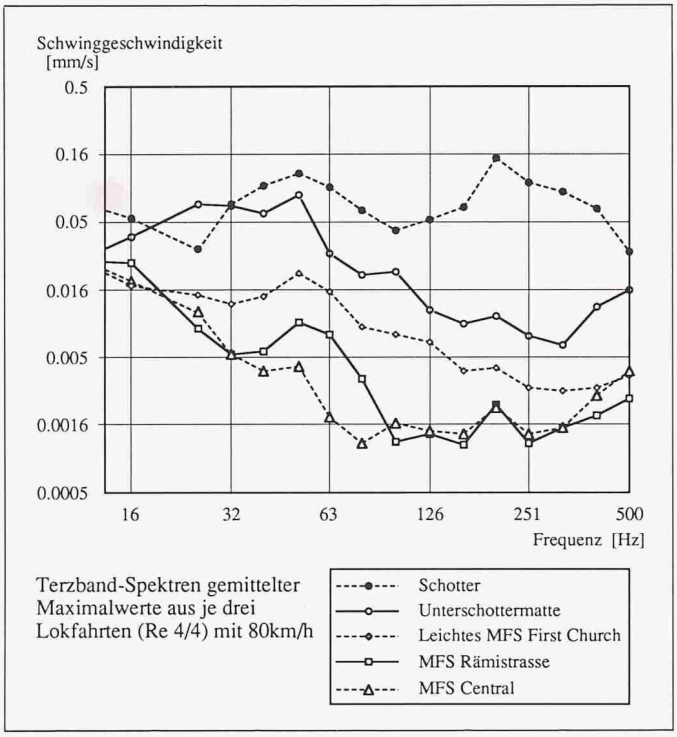


Bild 7. Ergebnis der Abnahmemessungen

Lagerschächte für das Versetzen der hydraulischen Pressen und der elastischen Lager ausgespart. Nachdem der Beton erhärtet war, wurde der ganze Trog, am einen Ende beginnend, hydraulisch angehoben. Zwischen Sohle und Trog verblieb ein Zwischenraum von rund 6 cm. Der ganze Hebevorgang wurde so gesteuert, dass jedes Lager gleich belastet wird. Dies ermöglicht eine optimale Abstimmung des Masse-Feder-Systems. Nach Beendigung der Lagermontage wurden die Lagerschächte mit schweren Abdeckungen geschlossen.

Die 140 Gummilager weisen je ein Gewicht von 25 kg auf. Aufgrund der Berechnungen sollte die Dämmleistung noch etwas höher sein als beim System am Central, nämlich rund 12 dB ab 20 Hz und mehr dB ab 50 Hz.

Bei der Merkurstrasse

Die beiden Einspurröhren des Zürichbergtunnels unterqueren unmittelbar nach dem Bahnhof Stadelhofen die Kirche des First Church of Christian Scientist. Die minimale Überdeckung zwischen Tunnelscheitel und Gebäudefundamenten beträgt lediglich sechs Meter. Hier wurde die Tunnelsohle mit einer weichen Matte aus Polyurethan-Schaumstoff ausgelegt und darauf direkt eine leichte armierte, fugenlose Gleistragplatte von 40 bis 60 cm Stärke betoniert. Auf dieser Gleistragplatte konnte auf übliche Art das schotterlose Gleis einbetoniert werden. Das System besitzt eine Masse von rund vier Tonnen je Gleismeter, und seine erste Eigenfrequenz liegt bei 18 Hz. Im massgebenden Frequenzbereich oberhalb 50 Hz beträgt die rechnerische Dämmleistung mindestens 18 dB. Das gleiche System wurde bei der St.-Antonius-Kirche im Bereich des Zwischenangriff-Schachtes ausgeführt.

Zusammenfassung der Massnahmen

Gesamthaft wurden auf eine Streckenlänge von rund 1,3 km Immissionsschutzmassnahmen getroffen. Das sind etwa 12% der Neubaustrecke oder 40% der innerstädtischen Strecke zwischen Hauptbahnhof und Schacht St.-Antonius-Kirche. Einen Überblick über die getroffenen Massnahmen gegen Körperschall und Erschütterungen vermittelt folgende Auflistung:

Abschnitte		*Massnahmen*
Rampe	260 m	Unterschottermatte
Limmat	140 m	hochwertige Unterschottermatte
Central	150 m	Masse-Feder-System, schotterlos, Elementbauweise
Rämistrasse	30 m	Masse-Feder-System, Schottertrog
Stadelhofen	300 m	Unterschottermatten, verschiedene Typen
Kreuzbühlstrasse	140 m	hochwertige Unterschottermatte
Merkurstrasse	150 m	leichtes Masse-Feder-System, schotterlos
St. Antonius	70 m	leichtes Masse-Feder-System, schotterlos

Erfolgskontrolle

An den wesentlichsten Orten konnten die Immissionen so weit reduziert werden, dass bisher keine Beschwerden über unzumutbare Belästigungen eingegangen sind. Eine schwer erklärliche Ausnahme bildet ein Abschnitt des Hirschengrabentunnels ohne Schutzmassnahmen, wo in erheblicher Entfernung aus der Altstadt Reklamationen über Zugsgeräusche eingegangen sind. Auch dort liegen aber die Messwerte unter den einschlägigen Richtwerten.

An verschiedenen kritischen Stellen wurden Immissionsmessungen vorgenommen, so namentlich in der Tiefgarage des Publicitas-Gebäudes am Neumühlequai, im untersten Kellergeschoss des Tagblattgebäudes am Central, im Keller der Liegenschaft Rämistrasse 29 und in der First Church. Die Schallmessungen führten zum Ergebnis, dass bei Zugsvorbeifahrten der Grundgeräuschpegel kaum überschritten wurde. Im Haus Rämistrasse 29 wurden bei Lokfahrten Luftschall-Spitzenwerte von lediglich 29 dB (A) gemessen.

Im Tunnel selbst wurden bei den verschiedenen Massnahmen auf dem Bankett und an der Tunnelwand die Erschütterungen gemessen, welche bei der Vorbeifahrt einer Testlokomotive Re 4/4 auftraten. Dies ermöglicht einen objektiven Quervergleich über die Wirkung der getroffen Massnahmen. Die Diagramme zeigen den Frequenzgang bei verschiedenen Vorbeifahrten am Bankett im Bereich einer Strecke ohne Massnahmen, mit Unterschottermatten und Masse-Feder-System. Im Vergleich ist die Wirksamkeit deutlich erkennbar.

Gesammthaft darf man die getroffenen Massnahmen nach einem Jahr S-Bahn-Betrieb als Erfolg bezeichnen. Dies äussert sich vor allem in der Zufriedenheit der am stärksten betroffenen Anwohner. Es ist gelungen, in einem schwierigen innerstädtischen Tunnelabschnitt den Bahnoberbau konstruktiv so den Verhältnissen anzupassen, dass die Richtwerte eingehalten und teilweise sogar deutlich unterschritten werden.

Adressen der Verfasser: *Hanspeter Rubi*, dipl. Ing. ETH/SIA, SBB Bau III, Zürich, *Georg Hejda*, dipl. Ing. Sektionschef Oberbau, SBB Bau GD, Bern, *Gerard Rutishauser*, dipl. Ing. ETH, SIG GSS Bau und Planung Ingenieure AG, Zürich und *Peter Kleiner*, dipl. Ing. ETH, SIG Ingenieurbüro Heierli, Zürich.