

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 106 (1988)
Heft: 19

Artikel: Stadtbahn Singapur
Autor: Giovani, Mario / Meyer, Max / Junker, Daniel
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85705>

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: 23.02.2026

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

Stadtahn Singapur

Mit der im Bau befindlichen Stadtahn MRT (Mass Rapid Transit) realisiert der Stadtstaat Singapur ein leistungsfähiges Transportsystem, dessen Aufgabe es ist, den enormen Straßenverkehr einzudämmen. Innerhalb von sieben Jahren soll dieses Bauvorhaben mit 41 Stationen und 65,8 km Streckenlänge ausgeführt werden.

Etwa ein Drittel des gesamten Streckennetzes verläuft unterirdisch, der Rest oberirdisch. Davon wird der grösste Teil auf Viadukten geführt, die meist bestehenden Strassenzügen folgen. Die Baulose Nr. 203 und 204, die einen typischen Viaduktabschnitt darstellen, werden hiernach beschrieben.

Das Stadtahn-System

Von der Idee zur Ausführung

Aufgrund einer Studie der staatlichen Planungsbehörde, die zwischen 1967 und 1971 erstellt wurde, entwickelte

von MARIO GIOVANI,
MAX MEYER UND
DANIEL JUNKER,
SINGAPUR

man erstmals zu Beginn der siebziger Jahre die Idee zum Bau einer Stadtahn. Zwischen 1972 und 1980 wurde die Mass Transit Study (MTS) durchge-

führt. In 5 verschiedenen Konzepten wurde untersucht, wie das wachsende Verkehrsvolumen bewältigt werden könnte, einschliesslich der Möglichkeit, die anfallenden Verkehrsprobleme durch einen Ausbau des bestehenden Busnetzes zu lösen. Die Studie kam zum Schluss, dass das gesteckte Ziel am besten mittels eines schienengebundenen Systems, kombiniert mit einem ergänzenden Busbetrieb, erreicht werden kann (Bild 1).

Im Mai 1982 gaben die Behörden grünes Licht für die Weiterverfolgung des Projektes. Die Bauarbeiten wurden in total 33 Baulose aufgeteilt. Zwischen

September 1983 und Herbst 1986 wurden sämtliche Abschnitte vergeben und die entsprechenden Arbeiten in Angriff genommen.

Das gesamte Streckennetz soll im Jahre 1990 in Betrieb genommen werden. Die Kosten für das komplette MRT-System werden auf 5 Milliarden Franken geschätzt (Stand 1982).

Streckennetz und Transportleistung

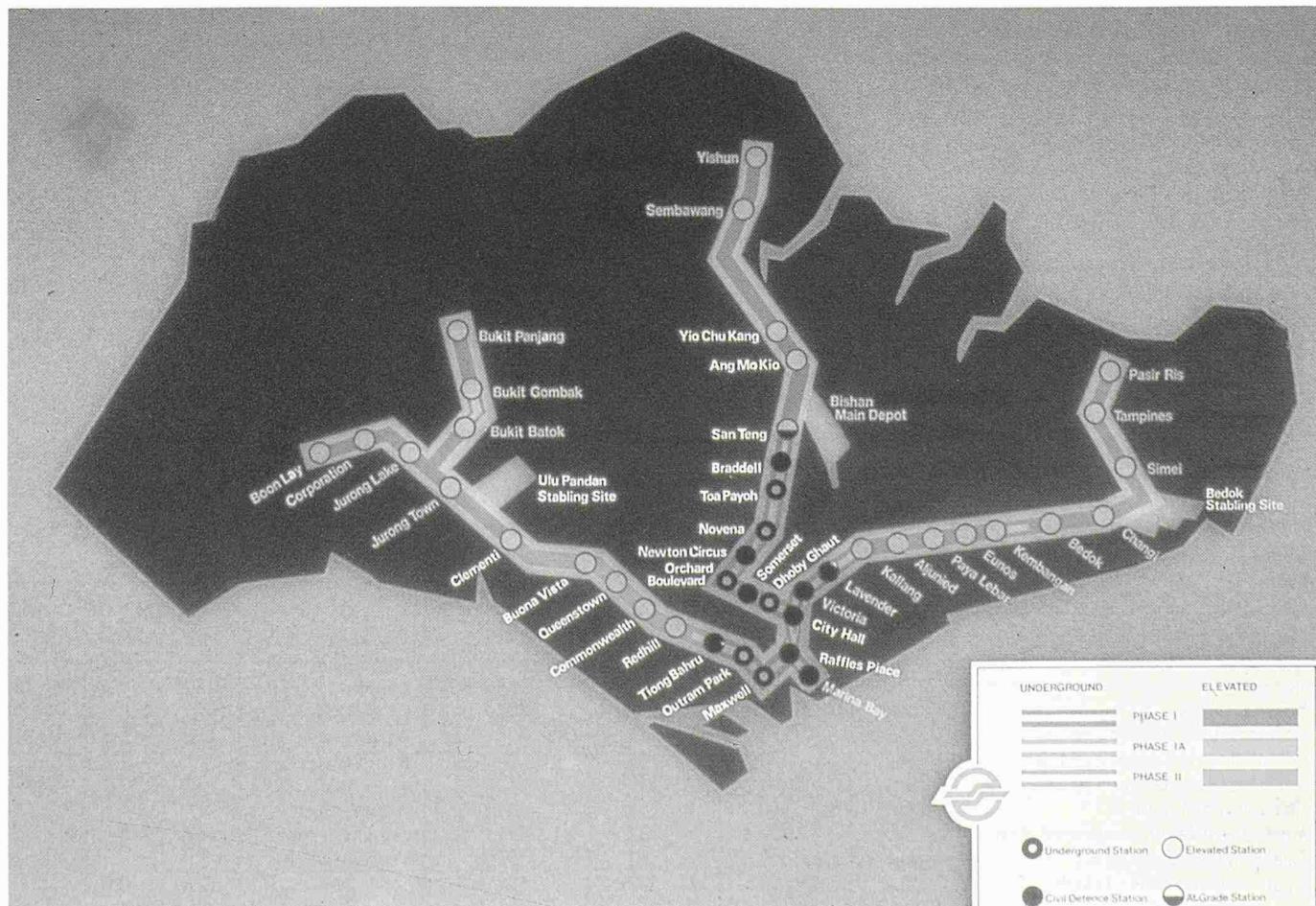
Das MRT-System ist ein elektrisch betriebenes Eisenbahnsystem herkömmlicher Bauart. Das Streckennetz ist wie folgt unterteilt:

- eine Nord-Süd-Verbindung von Yishun nach Marina Bay = 22 km
- eine Ost-West-Verbindung von Pasir Ris nach Lakeside = 38 km
- ein Westabschnitt von Jurong Town nach Bukit Panjang = 5,8 km

Von den 41 Stationen sind 15 unterirdisch, 1 ebenerdig und 25 erhöht angelegt. Drei Stationen sind zudem als Zivilschutzzanlagen konzipiert.

Nach Inbetriebnahme der Gesamtanlage können täglich bis zu 860 000 Personen transportiert werden.

Bild 1. Das 65,8 km lange MRT-Streckennetz mit Angabe der Stationen und der Depots



Die Baulose 203 und 204

Beschreibung der Viadukte

In den Losen 203 und 204, welche einen 5867 m langen Streckenabschnitt mit 3 Stationen umfassen, ist die Stadtbahn durchgehend als Hochbahn konzipiert. Die beiden Geleise liegen auf separaten, einzelligen Hohlkastenträgern. Für Stützenabstände zwischen 20 und 30 m sind diese Träger vorfabrizierte, einfache Spannbetonbalken, die zwischen schlaff armierten Hammerköpfen aufgelagert sind.

Für Stützenabstände über 30 m, welche beim Überqueren von Strassenkreuzungen, einer Eisenbahnlinie und eines grösseren Kanals erforderlich sind, wurden vorgespannte Ortsbetonbrücken projektiert. Auch bei diesen Viadukten wird grundsätzlich der Hohlkastenquerschnitt der vorfabrizierten Träger beibehalten.

Ausgenommen im Stationenbereich, wo der Normalabstand der Geleise von 4,30 m auf 14 m anwächst, um Raum für den Bahnsteig zu schaffen, sind die vorfabrizierten Träger der beiden Geleise auf gemeinsamen Hammerköpfen aufgelagert.

Der Projektverfasser beschränkte die Anzahl der vorfabrizierten, vorgespannten Trägertypen auf 2. So wird Trägertyp D1 mit einer Spannweite von 22,30 m für Stützenabstände zwischen 25 und 30 m verwendet, Trägertyp D2 mit einer Spannweite von 17,30 m für Stützenabstände zwischen 20 und 25 m. Die Auskragung der Hammerköpfe ist deshalb nicht konstant; sie variiert zwischen 1,35 m und 3,85 m.

Die Ortsbetonbrücken wurden weitgehend standardisiert; es sind vier 2feldrige Viadukte mit Spannweiten von 43-43 m, vier 3feldrige Viadukte mit Spannweiten von 35-55-35 m und zwei 3feldrige Viadukte mit Spannweiten von 30-55-36 m.

Bauorganisation und Bauablauf

Die Baulose 203 und 204 wurden im Januar bzw. April 1985 an eine aus einem japanischen und einem lokalen Unternehmer bestehende Arbeitsgemeinschaft vergeben. Diese war bestrebt, möglichst grosse Teile ihres Auftrages an Subunternehmer abzutreten. Die Hauptarbeiten für die Viadukte umfassten die Erstellung der Pfahlfundationen, Fundamentplatten, Viaduktstützen und Hammerköpfe, die Vorfabrikation und das Versetzen der Brückenträger, den Bau der Ortsbetonbrücken und das Abdichten der Viaduktoberfläche.

Im März 1985 erhielt VSL Systems Pte. Ltd., Singapur, eine Tochtergesellschaft der VSL INTERNATIONAL AG, Bern, von der Arbeitsgemeinschaft den Auftrag für Vorfabrikation, Vorspannung und Versetzen von 254 Brückenträgern des Loses 203. Zudem wurde sie mit der Vorspannung von 6 Ortsbetonbrücken und der Lieferung und dem Einbau sämtlicher Brückenlager beauftragt. Im Juni 1985 erteilte die Arbeitsgemeinschaft an den selben Subunternehmer einen analogen Auftrag für das Los 204. Dieses umfasst 148 vorfabrizierte Brückenträger und 5 vorgespannte Ortsbetonbrücken.

Leistungsumfang der beiden Aufträge und Charakteristik der vorfabrizierten Träger sind in Tabelle 1 bzw. 2 zusammengestellt.

Vorfabrikation der Brückenträger

Baustelleneinrichtungen

In Anbetracht der vorgegebenen, knappen Termine und zur Gewährleistung einer unabhängigen Produktion in beiden Losen verlangte der Hauptunternehmer, dass 2 Vorfabrikationsanlagen einzurichten seien.

Im Los 203 wurden total 10 Stahlschaltungen installiert. Zudem wurden 2 Schablonen (Hilfsschaltungen) erstellt,

um die Armierungskörbe für den ersten Betonierabschnitt der Träger vorzufertigen. Parallel zur Vorfabrikationsstrasse wurde ein Lagerplatz mit einer Kapazität von 22 Brückenträgern hergerichtet (Bild 2).

Ein Portalkran, eine Verschiebebühne für diesen (Wechsel von der Vorfabrikationsstrasse zum Lager und umgekehrt), ein Raupenkran (50 t) sowie eine Betonpumpe (37 m³/h) bildeten die wichtigsten Geräteanschaffungen.

Die Armierung wurde abgelängt und gebogen auf die Baustelle geliefert, während der Beton vom Hauptunternehmer auf der Baustelle aufbereitet wurde und von diesem bezogen werden musste.

Im Los 204 wurden dem Leistungsumfang entsprechend nur 6 Stahlschalungen installiert. Aus Platzgründen musste auf die Herrichtung eines seitlichen Lagerplatzes sowie auf eine Schablone zur Vorfertigung des Armierungskörbes verzichtet werden.

Die wichtigsten Geräteanschaffungen und die ergänzenden Baustelleneinrichtungen waren, mit Ausnahme der Verschiebebühne und der Betonpumpe, dieselben wie im Los 203. Betoniert wurde mittels Raupenkran und Kübel, da der Fabrikationszyklus und die unmittelbar neben der Vorfabrikationsstätte gelegene Betonanlage dies zuließen.

Produktionsablauf

Bei der Produktion eines vorfabrizierten Trägers waren zwei Etappen zu unterscheiden:

- vom Reinigen der Schalungshaut bis zum Anheben des Trägers aus der Schalung nach einer Teilverspannung. Der Träger wurde in zwei Abschnitten betoniert, wobei der erste Betonierabschnitt den unteren Teil des Kastenträgers und die beiden Trägerenden umfasste.
- von der vollen Vorspannung bis zur Gesamtabnahme des Trägers.

Tabelle 1. Übersicht über den Leistungsumfang hinsichtlich Vorfabrikation/Versetzen der Brückenträger, Vorspannung der Ortsbetonbrücken und Lieferung/Einbau der Lager

Angabe	Lose	MRT 203	MRT 204	beide Lose zusammen
Streckenlänge (m)		3597	2270	5867
vorfabrizierte Träger Typ D1 (St.)		231	75	306
vorfabrizierte Träger Typ D2 (St.)		23	71	94
vorfabrizierte Träger Typ D3 (St.)		-	2	2
Ortsbetonbrücken (St.)		6	5	11
Vorspannstahl Ortsbetonbrücken (t)		208,8	232,8	441,6
Lager Ortsbetonbrücken (St.)		40	62	102
Lager vorfabrizierte Träger (St.)		1016	592	1608

Tabelle 2. Charakteristik der vorfabrizierten Träger

Angabe	Trägertyp		
	D1	D2	D3
Länge (m)	22,30	17,30	17,55
Gewicht (t)	165	130	100
Armierung (t)	16,0	13,1	10,3
Beton ($\beta_{W28} = 45 \text{ N/mm}^2$) (m ³)	65,0	52,3	40,2
Armierungsgehalt (kg/m ³)	246	250	256
Vorspannstahl (t)	1,9	0,9	-



Bild 2. Los 203. Gesamtansicht der Vorfabrikationsanlage. Links Vorfabrikationsstrasse, rechts Lager

Für die Produktion eines Trägers waren 20 Arbeitsgänge erforderlich. Die Bauleitung führt pro Träger 15 Inspektionen durch. Die zulässigen Toleranzen bezüglich der Geometrie eines Trägers lagen zwischen $+/- 3$ mm (Platten-, Stegstärke) und $+/- 10$ mm (Länge).

Personaleinsatz

In den Spitzenzeiten waren auf den beiden Baustellen inklusive Administration 310 Leute tätig. Kader und Arbeitskräfte wurden aus Singapur, Hongkong, Malaysia, Indonesien und Thailand rekrutiert. Die Verantwortung trugen drei Europäer.

Mit Ausnahme der beiden Leiter der Vorfabrikation kamen die Kaderleute vielfach direkt aus der Ausbildung. Dies war die Folge des 1985 in Singapur herrschenden akuten Personalmangels. Fast alle Arbeitskräfte mussten angeleert werden.

Bauprogramm/Leistungswerte

Das Bauprogramm – als Vertragsbestandteil mit einer Konventionalstrafe (Tagesansatz) behaftet – sah für Vorbereitung, Mobilisation, Fabrikation und Versetzen der vorfabrizierten Träger eine Bauzeit von 20 Monaten beim Los 203 bzw. 16 Monaten beim Los 204 vor.

Vorbereitung und Mobilisation bis zum erstmaligen Betonieren beanspruchte fünf Monate. Über eine weitere Periode von 4 Monaten liefen Mobilisation und Fabrikation parallel.

Während der folgenden 7 Monate, in denen die Produktion bei einer Arbeitszeit von 12 Stunden/Tag und 28 Tagen/Monat voll lief, wurden 262 Träger gefertigt. Dies ergibt einen durchschnittlichen Ausstoss von 37 Trägern pro Monat. Im Juli 1986 wurde ein Produktionsrekord von 45 Trägern verzeichnet, was der Länge eines Viaduktabschnittes von mehr als 560 m Doppelspur entspricht.



Bild 3. Brückenträger wird über die Strasse transportiert

Im Durchschnitt wurden 11,8 Tage für die Herstellung eines Trägers benötigt.

Vorspannung

Die vorgespannten Überbauten wurden als «class I member» gemäss British Standard 5400 dimensioniert (keine Biegezugsspannungen). Die vorfabrizierten Träger D1 wurden mit 4 VSL Kabeln EC/EC 5-27 (Vorspannkraft pro Kabel 3700 kN), die Träger D2 mit je 2 VSL Kabeln EC/EC 5-16 und EC/EC 5-17 (Vorspannkraft pro Kabel 2150 kN bzw. 2320 kN) vorgespannt.

Die Vorspannkabel dieser kurzen Träger wurden, obwohl nur von einer Seite vorgespannt, an beiden Enden mit Spannverankerungen versehen. Der Bauherr bestand auf dieser Massnahme, um auch nach dem Betonieren immer noch die Möglichkeit zu haben, alle Litzen eines Kabels vollständig auszuwechseln.

Die Ortsbetonbrücken enthalten pro Hohlkasten je 6 durchgehende Spannkabel mit Vorspannkräften zwischen 6696 kN und 7068 kN pro Kabel. Die zweifeldrigen Brücken weisen zusätzlich über der Stütze 8 Kabel EC/H 5-18 auf. Zum Spannen der grössten Kabeleinheiten wurden 10 000 kN-Spannpressen verwendet.

Brückenlager

Sowohl für die Träger D1, D2 und D3 wie auch für alle Ortsbetonbrücken wurden Topflager verwendet. Handelte es sich bei den Ortsbetonbrücken um Lager aus der Serienfertigung (grösste Lastklasse: 8000 kN Vertikallast), so musste für die vorfabrizierten Träger eine massgeschneiderte Lösung gefunden werden. Die Trägerenden sind als «half joints» (d. h. konsolartig) ausgebildet, was den Zugang zu den Brückenlagern erschwert. Die Spezifikationen verlangten aber, dass alle Lager ohne Verkehrsunterbrüche des MRT-Sy-

tems ersetzbar sein müssen. Zudem waren konventionelle Verbindungen zwischen Lager und Beton mit Schrauben/Dübeln vom projektierenden Ingenieur für die «half joints» nicht zugelassen. Als Grund wurde aufgeführt, dass es beim Ersetzen eines Lagers mit korrodierten Schrauben und Dübeln erforderlich wäre, den Träger relativ hoch anzuheben, was ohne längeren Unterbruch des Bahnbetriebs kaum auszuführen wäre.

Die gewählte Lösung weist einen sandwichartigen Aufbau auf. Ein Topflager ohne Befestigungslaschen wird an seiner Ober- und Unterseite durch je eine Stahlplatte mit eingefräster Vertiefung, welche die Übertragung horizontaler Kräfte ermöglicht, in Position gehalten.

Die untere Stahlplatte, an deren Unterseite Schubbügel angeschweisst sind, wurde wie ein normales Lager auf dem Hammerkopf in richtiger Position fixiert und mit Zementmörtel untergossen. Ein nomineller Spalt von 15 mm zwischen der oberen Stahlplatte und der Trägerunterseite wurde, nachdem ein Träger in seine Endlage gebracht worden war, mit einem schnell erhärtenden Epoxymörtel injiziert.

Beim Ersetzen eines Lagers dürfte es genügen, den Träger um eine Höhe anzuheben, die etwa den Vertiefungen in den oberen und unteren Stahlplatten entspricht (ca. 10 bis 15 mm). Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die oberen und unteren Stahlplatten natürlich nicht ausgewechselt werden können.

Transport und Versetzen der vorfabrizierten Träger

Konzept

Ein wichtiges Kriterium beim Entwurf und Bau der Stadtbahn war eine möglichst geringe Behinderung des Strassenverkehrs durch die Bauarbeiten.



Bild 4. Transport auf dem Viadukt

Dies kam speziell bei den beiden Losen 203 und 204 zum Tragen, wo der Viadukt über weite Strecken über dem Mittelstreifen einer stark befahrenen Hauptverkehrsstrasse verläuft.

Jeder Träger wurde bei der Fabrikationsanlage in einer Hebeeinrichtung angehoben und quer über die Strasse

auf den Viadukt verschoben, auf dem schon erstellten Viadukt auf Schienen zur Einbaustelle transportiert und dort mittels eines Versetzgerüstes in seine endgültige Position abgesenkt.

Um die 402 vorgefertigten Träger der Lose 203 und 204 (Gewicht 130 bzw. 165 t) von den beiden Fabrikationsanla-

gen zur Einbaustelle zu transportieren und dort zu versetzen, waren insgesamt 5 Stahlkonstruktionen von je etwa 145 t Eigengewicht nötig: pro Fabrikationsanlage eine Hebeinstallation und für beide Lose zusammen 3 Versetzgerüste.

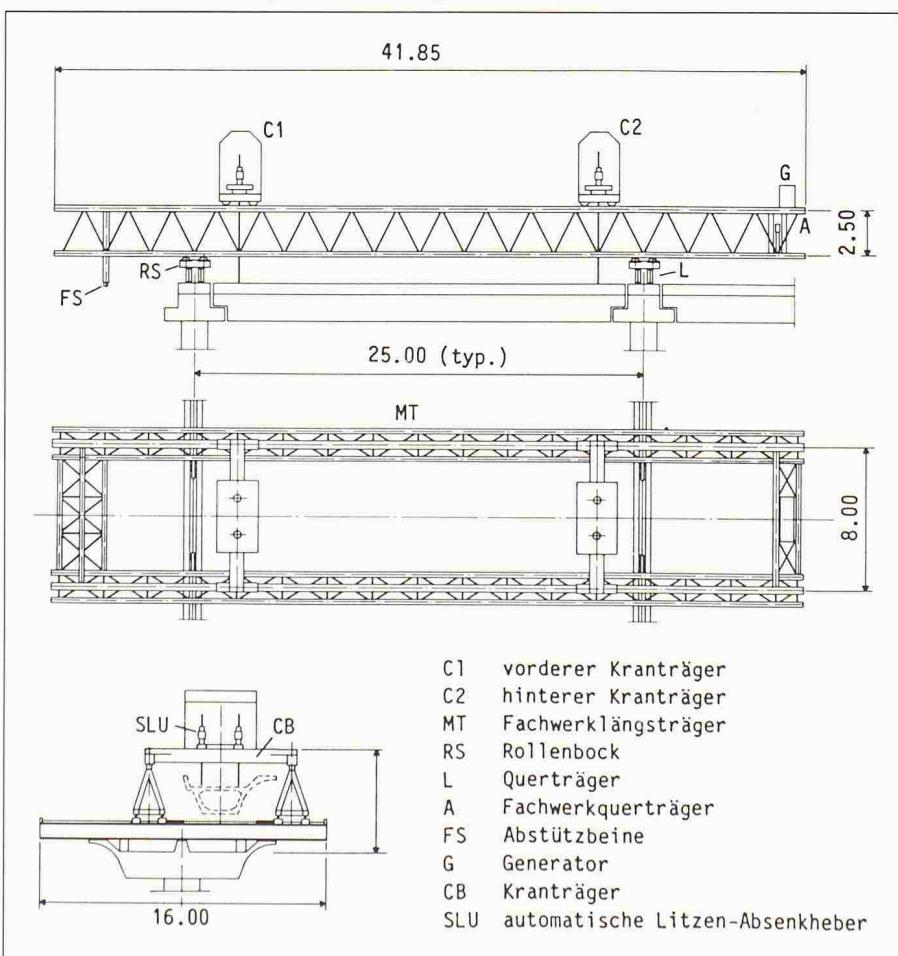
Heben auf den Viadukt

Der fertig fabrizierte Kastenträger wurde vom Portalkran der Fabrikationsanlage unmittelbar vor der Hebeinstallation auf 2 auf Verschubschienen montierte Schlitten abgesenkt und von 2 hydraulischen Litzen-Zugapparaten Typ VSL SLU-10 über eine Distanz von 8 m unter die Hebeeinrichtung gezogen.

Die Hebeinstallation bestand aus ausgefachten Stahlstützen, zwei 3feldrigen, als einfache Balken konzipierten Kranbahenträgern, deren mittleres Feld die Strasse zwischen Fabrikationsanlage und Viadukt überspannte, und dem Kranträger. Die Träger wurden an U-förmig gebogenen Litzen angefasst, welche an 4 Punkten in die Trägerenden einbetoniert waren.

Ein unter die Hebeeinrichtung gezogener Träger musste zuerst etwa 11 m angehoben werden. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch falsch orientierte Träger um 180° gedreht. In einer zweiten Phase transportierte der Kranträger seine Last über die Strasse, wobei der Verkehr aus Sicherheitsgründen während etwa 5 Minuten gestoppt werden musste (Bild 3).

Bild 5. Hauptabmessungen des Versetzgerüstes



Transport zur Einbaustelle

Die vorgefertigten Träger wurden mittels zweier 4achsiger Wagen auf Schienen von der Hebeinstallation über den bereits erstellten Viadukt zur Einbaustelle transportiert (Bild 4). Die 8 Räder des hinteren Wagens, auch Lokomotive genannt, wurden einzeln elektrisch angetrieben. Die Transportgeschwindigkeit betrug 25 m/Min.

Einbau

Das Versetzgerüst (Bild 5) bestand aus zwei 42 m langen Fahrwerk längsträgern mit einem gegenseitigen Abstand von 8 m. Diese Längsträger dienten als Kranbahn für 2 Kranträger. Das Gerüst selbst ruhte auf 2 vollwandigen Querträgern, welche auf die Hammerköpfe aufgelegt wurden. Die beiden Kranträger wurden je mit 2 automatischen Litzenabsenkgeräten VSL SMU-70 ausgerüstet.

Das verwendete Versetzgerüst zeichnete sich durch folgende Merkmale aus:

- Das Gerüst liess sich von Feld zu Feld verschieben, ohne dass ein Hilfsmittel vom Boden aus benötigt worden wäre (z. B. Autokran).

- Beim Verschieben des Gerüsts in das nächste Brückenfeld diente der zu versetzende vorfabrizierte Träger, auf den beiden Transportwagen aufgelagert, als Gegengewicht. Dadurch konnte die Gesamtlänge des Gerüsts kurz gehalten werden. Die Lokomotive diente als Antrieb zum Vorfahren von Träger und Gerüst.
- Das Versetzgerüst konnte zusammen mit einem eingehängten Träger auf den beiden 16 m langen Querträgern quer zur Brückenachse verschoben werden.

Versetzen eines vorfabrizierten Trägers

Das vordere Ende des vorfabrizierten Trägers wurde am vorderen Kranträger angehängt. Vorderer Kranträger und Lokomotive bewegten nun den Träger in das Gerüst hinein, bis das hintere Ende am hinteren Kranträger befestigt werden konnte. Beide Kranträger brachten dann den angehängten vorfabrizierten Träger über das offene Brückenfeld, wo er bis auf 15 mm über die Lager abgesenkt wurde. Dieser Spalt wurde ausinjiziert.

Der vorfabrizierte Träger blieb während der Erhärtungszeit des Epoxy von rund 6 Stunden im Versetzgerüst angehängt. Der Ablauf beim Versetzen des danebenliegenden zweiten Trägers eines Feldes war der gleiche, abgesehen von der Tatsache, dass der Träger vor dem Absenken noch seitlich um den Achsabstand verschoben werden musste.

Um einen Träger vom Schlitten in der Fabrikationsanlage bis auf die Schienentransportwagen zu heben, waren etwa 2½ Stunden erforderlich. Diese Zeit betrug etwa 6 Stunden, wenn der Träger in der Hebeeinrichtung noch gedreht werden musste. Das Versetzen des Trägers dauerte 2 Stunden, gefolgt von der 6stündigen Wartezeit, während der das Epoxy zwischen Brückenlager und Träger erhärtete.

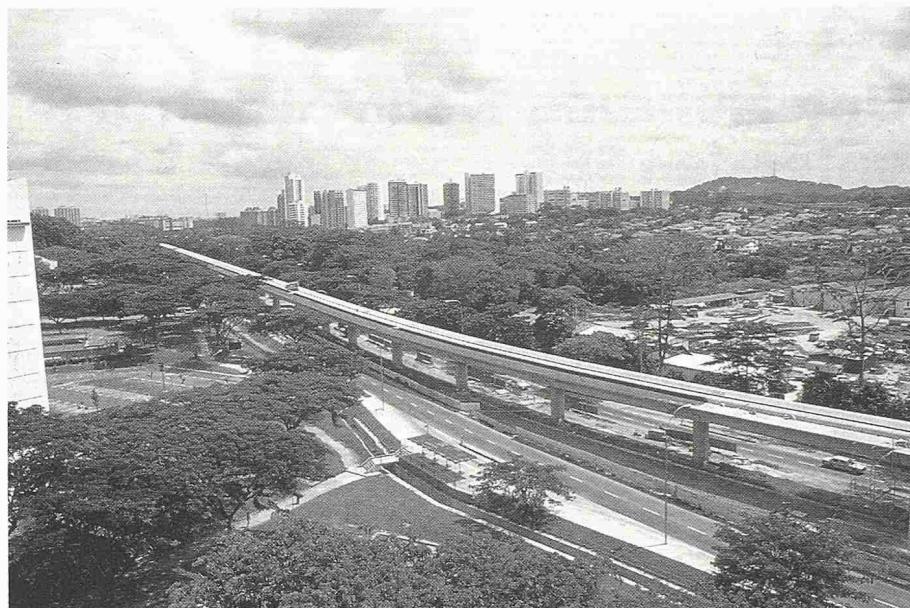


Bild 6. Fertig erstellter Viaduktabschnitt im Los 203

Das Verschieben des Gerüsts in das nächste Feld, inklusive Vorarbeiten wie z.B. das Verlegen von Schienen, nahm 4 Stunden in Anspruch.

Schlussbemerkungen

Trotz der relativ kurzen vorgegebenen Bauzeit und der erwähnten Probleme konnten die Arbeiten rechtzeitig und zur Zufriedenheit des Kunden abgeschlossen werden, was ein hohes Mass an Einsatz und Beweglichkeit aller Beteiligten erforderte.

Mögliche Erweiterungen des MRT-Systems sind bereits untersucht worden. Es handelt sich dabei um die Erschließung des Serangoon-Korridors sowie um eine Erweiterung zum Flughafen Changi. Der Entscheid über einen weiteren Ausbau wird jedoch von den zuständigen Stellen davon abhängig gemacht, wie die Bevölkerung auf das neue Transportsystem reagieren wird. Dies wird wohl erst zu Beginn der neunziger Jahre definitiv beurteilt werden können.

Am Bau Beteiligte:

Bauherr

Mass Rapid Transit Corporation

Projektverfasser

Mott, Hay & Anderson (Asia) Pte. Ltd.
Sir William Halcrow & Partners Ltd.
BS Konsult AB
DP Architects Pte. Ltd.

Bauleitung

Mass Rapid Transit Corporation

Hauptunternehmung

Aoki (Japan)/Lim Kah Ngam
(Singapur)

Fabrikation und Vorspannung der
Brückenträger/Vorspannung der
Ortsbetonbrücken/Lieferung und Einbau
der Brückenlager/Heben, Transportieren
und Versetzen der Brückenträger
VSL Systems Pte. Ltd., Singapur

Adresse der Verfasser: *M. Giovani*, Bau-Ing.
HTL, *M. Meyer*, dipl. Bau-Ing. ETH, und *D. Junker*, Bau-Ing. HTL, VSL Systems Pte. Ltd., P.O. Box 3716, Singapur 9057.