

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 133 (2007)
Heft: 27-28: Im Soussol

Artikel: Führerlose Züge - ein Novum
Autor: Goy, Philippe / Joubert, Dominique
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108143>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

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

FÜHRERLOSE ZÜGE – EIN NOVUM



01

Die teils unkonventionelle, teils altbewährte Bahntechnik der Lausanner Métro m2 greift auf frühere Einsätze von Pneufahrzeugen in der Pariser Métro zurück. Der führerlose automatische Bahnbetrieb wird erstmals auf einer Strecke mit grossen Steigungen, auch in den Stationen, eingesetzt.

Die klimatischen Bedingungen in der Stadt Lausanne und die topografischen Anforderungen der m2-Linienführung haben zur Wahl einer auf Pneus rollenden Untergrundbahn (Métro) geführt. Dieses System ist das einzige, das Steigungen von 12 % mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h überwinden kann und eine ausreichende Adhäsion für das sichere Wiederanfahren nach Halten im Gefälle gewährleistet.

Das Konzept einer auf Pneus rollenden Untergrundbahn ist keine eigentliche Neuheit, da bereits 1951 ein erster, «Grossmutter» genannter Triebwagen, MP51, dieser Bauart in Paris eingeweiht wurde. Gegenwärtig sind derartige Untergrundbahnen weiterhin in Paris, aber auch in Santiago de Chile, Mexico City, Montreal, Lyon und anderen Städten in Betrieb.

ROLLMATERIAL: BEWÄHRTE LÖSUNGEN

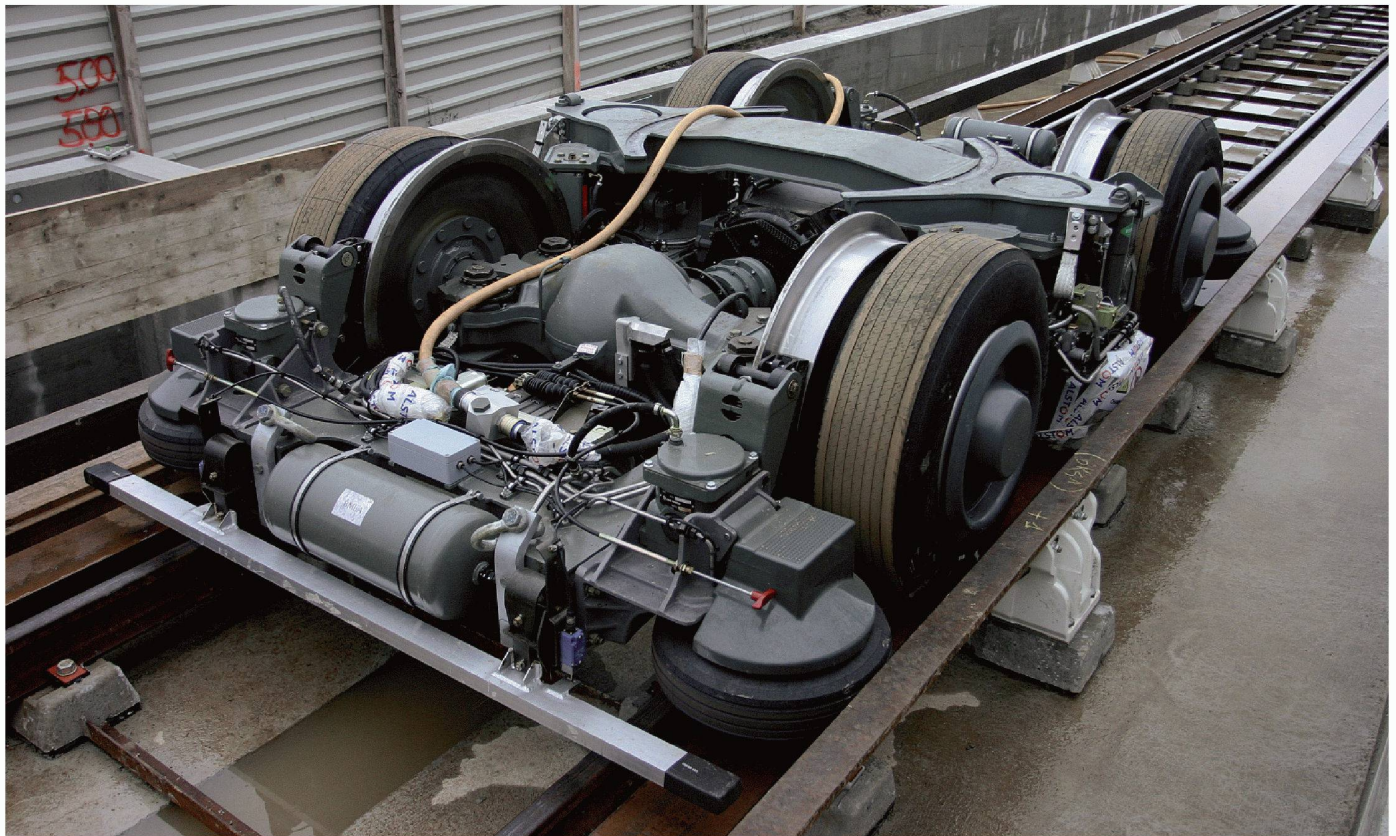
Beim Rollmaterial greift die Lausanner Métro m2 im Allgemeinen auf bereits erprobte Lösungen zurück. Der Aufbau der Fahrzeuge als Aluminiumwagenkasten (Bild 1) ist im Prinzip von der seit etlichen Jahren im Dienst stehenden Pariser Untergrundbahn MP89 übernommen worden. Damit ist eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen die Beanspruchungen gegeben, denen die Züge auf der Lausanner Strecke ausgesetzt sein werden. Dazu gehören insbesondere Stösse mit geringer Geschwindigkeit und zyklische Belastungen wie Beschleunigung, Verzögerung und vertikale Schwingungen, die zur Bildung von Rissen führen können.

Die Leistungselektronik zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom für die Triebmotoren ist modular unter dem Chassis untergebracht. Die Züge verfügen ausserdem über Hilfsaggregate (Wechselrichter) zur Versorgung von Heizung, Lüftung, Türantrieben usw. Die Aggregate für die Energieversorgung von Traktion und Hilfsantrieben sind doppelt vorhanden: Jeder der zwei Triebwagen, die einen Zug bilden, verfügt über alle für den Betrieb des ganzen Zuges erforderlichen Komponenten. Einzelne Funktionen können allerdings eingeschränkt werden, wenn nur eine Versorgungseinheit pro Zug in Betrieb ist.

Um den Anforderungen der Linienführung und der Schweizer Gesetzgebung gerecht zu werden, verfügt die Métro m2 über drei Bremssysteme:

- Bei der meistens verwendeten elektrischen Bremse wirken die Triebmotoren als Generatoren. Die dadurch erzeugte elektrische Energie wird entweder in die Stromversorgung zurückgespeist, sodass ein anderer Zug (teilweise) versorgt werden kann, oder durch Widerstände auf dem Wagendach in (nicht nutzbare) Wärme umgewandelt.
- Eine Doppelbackenbremse verzögert die auf den Eisenbahnschienen rollenden Hilfsräder. Diese Bremse wird als Ergänzung der elektrischen Bremse bei geringer Geschwindigkeit oder bei Notbremsungen verwendet.
- Die Magnetschienenbremse wirkt direkt auf die Fahrbahnschienen. In ihrer Hauptfunktion dient sie als Feststellbremse, da sie einen Zug im Maximalgefälle von 12 % allein festhalten kann. Sie wird aber auch bei Notbremsungen eingesetzt.

01 Innenansicht eines Triebwagens der Métro m2
(Bilder: Métro Lausanne-Duchy SA / Maurice Schobinger)



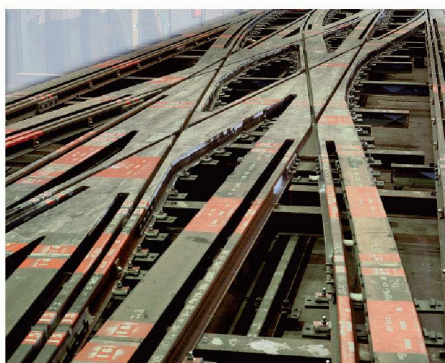
02



03

02 Drehgestell eines Triebwagens der Métro m2. Ganz vorne eine vertikalachsige Führungsrolle, dahinter ein Pneurad mit auf der gleichen Achse angeordnetem Eisenbahnrad mit Backenbremse. Zwischen den Pneurädern ist die Magnetschienensbremse angeordnet (hier abgedeckt). Die beiden Achsen des Drehgestells werden über Differenziale von einem zentralen, in Längsrichtung eingebauten Gleichstrommotor angetrieben
03 Fertig gestellte Fahrbahn der Métro m2

Die Fahrbahn erfüllt primär die klassischen Funktionen der Eisenbahnschienen. In erster Linie trägt und führt sie die Züge und überträgt die Beschleunigungs- und Bremskräfte in den Untergrund. Gleichzeitig dient sie der Rückführung des Triebstroms von den Fahrzeugen in die Einspeisestellen und der Lokalisierung der Züge mittels Gleisstromkreisen. Die Métro m2 benutzt ein konventionelles normalspuriges Eisenbahngleis, das mit zwei stählernen Fahrbahnen für die Pneuräder und zwei seitlichen Führungsbalken ergänzt ist (Bild 3). Letztere dienen zudem der Triebstromversorgung der Züge mittels Schleifkontakten. Im Regelbetrieb verkehren die mit Luftreifen, ähnlich den Lastwagenpneus, ausgerüsteten Züge auf den Fahrbahnschienen.



04



05

04 Kreuzungsweiche der Métro m2 im mittleren Streckenabschnitt

05 Vollautomatische Perrontüren verunmöglichen jeglichen Zugang zu den stromführenden Teilen der Fahrbahn, hier in der Station CHUV (Centre Hospitalier Universitaire Vaudois)

Im Gegensatz zu den Bremskräften, die durch drei verschiedene Systeme übertragen werden, wirken die Antriebskräfte vollständig auf die Fahrbahnschienen. Die maximale Adhäsion der Pneuräder auf den Fahrbahnschienen ist daher unerlässlich und wird durch besondere Massnahmen gewährleistet: Eine (der Steigung angepasste) Riffelung der Fahrbahnoberfläche erhöht die Rauheit und verhindert das Aquaplaning, und unter den Flanschen der Profile angebrachte elektrische Widerstände ermöglichen die Beheizung der Fahrbahn in exponierten Bereichen.

Anders als bei Strassenfahrzeugen erfolgt die Lenkung der Métro m2 nicht aktiv durch die Räder, sondern passiv durch kleinere vertikalachsige Pneuräder, die sich gegen die seitlichen Führungsbalken abstützen (Bild 2). Zwischen den Pneurädern und den konventionellen Eisenbahnschienen bestehen keine Berührungspunkte.

Zusätzlich zu den horizontal- und vertikalachsigen Pneurädern sind die Züge auch mit konventionellen Eisenbahnradern ausgerüstet, die ohne Last dem normalspurigen Gleis folgen. Sie tragen einerseits als Sicherheitssystem die Fahrzeuge beim Versagen von Pneus und dienen andererseits als Führungssystem in den Weichen (Bild 4). Bewegliche Führungsbalken bei den Verzweigungen wären zu kompliziert gewesen, sodass die Führung der m2 in den Weichen auf traditionelle Art durch Schienen und Radkränze erfolgt. Bezüglich Wirtschaftlichkeit, Unterhalt und freien Lichtraumprofils in den Tunnels erwies sich die Verlegung der Fahrbahn auf einer Betonplatte (feste Fahrbahn), die in neuerer Zeit auf zahlreichen Bahnnetzen zur Regel wird, als beste Lösung. Für die Dämpfung der Erschütterungen ist unter jeder Schwelle ein aus zwei Hohlkörpern aufgebauter Sattel aus Kautschuk auf einer elastischen Bettung angeordnet.

Die Schienen Typ Vignole sind gebräuchliche Eisenbahnbauteile. Für die Fahrbahnschienen und die Führungsbalken werden warmgewalzte Stahlprofile verwendet. In gleicher Weise wie die SBB-Schienen sind die drei Längskomponenten des Systems Métro m2 über grosse Längen aluminothermisch verschweisst. Die seitlichen, Gleichstrom mit einer Spannung von 750 V transportierenden Führungsbalken werden durch hochfeste Kunststoffstützen, die auf den Schwellen stehen, gegen den Untergrund isoliert.

STROMVERSORGUNG

Wie bei anderen Untergrundbahnen üblich, wird die Métro m2 durch ein eigenes Transformations- und Verteilnetz mit elektrischer Energie versorgt. Damit wird, in Verbindung mit mehrfachen Redundanzen und einem Netzüberwachungssystem, eine hohe Verfügbarkeit gewährleistet. Ein eigenes Versorgungsnetz ist allein schon wegen des Gleichstrombetriebs der Züge erforderlich.

Zwischen dem Mittelspannungsnetz (11 500 V) der Industriellen Betriebe der Stadt Lausanne und dem Versorgungsnetz der Métro m2 bestehen zwei redundante Verbindungen. Letzteres ist aus zwei entlang der Linie verlegten Kabeln aufgebaut, die neun Transformatorstationen und die vier Unterwerke für die Traktionsenergie speisen.

Die Transformatorstationen versorgen die Installationen in den Haltestellen und Tunnels mit Niederspannung von 400 V. Die grossen Energieverbraucher, vor allem die Fahrbahnheizung und die Brandfalllüftung, sind direkt an die Verteilschienen der Transformatoren angeschlossen. Niederspannungsseitige Verbindungskabel ermöglichen auch die gegenseitige Unterstützung der Transformatorstationen. Kleinere Energieverbraucher wie beispielsweise die automatischen Perrontüren (Bild 5) werden stationsweise über Verteiler versorgt. Alle vitalen Ausrüstungen der m2 sind durch batteriebetriebene, unterbrechungsfreie Stromversorgungen gegen Netzunterbrüche geschützt.

Die vier Unterwerke wandeln die Wechselstrom-Mittelspannung in Gleichstrom von 750 V um, der über die seitlichen Führungsbalken die Antriebsmotoren in den Zügen speist. Dieses Konzept ist, hauptsächlich aus historischen Gründen, bei den meisten Untergrundbahnen der Welt im Einsatz. Ursprünglich konnten nur Gleichstrommotoren ein für das An-

M2: ROLLMATERIAL

Zuglänge: 30 m

Wagenbreite innen: 2.33 m

Sitzplätze: 56, davon 20 Klappsitze

Leergewicht pro Zug: 57 Tonnen

Maximales Zuggewicht: 80 Tonnen

Kapazität eines Zuges, normal beladen:

220 Personen bei 4 Personen / m²

fahren ausreichend hohes Drehmoment abgeben. Heute wird dieses Versorgungssystem vor allem aus Gewichtsgründen bevorzugt, da keine schweren Transformatoren und Gleichrichter auf den Fahrzeugen mitgeführt werden müssen. Auch bei der Traktionsenergie ist eine redundante Versorgung der Métro m2 sichergestellt, da zwei der vier Unterwerke für den Betrieb der Züge ausreichen. Dazu addiert sich die Energierückgewinnung durch die elektrische Bremse talwärts fahrender Züge.

Das Versorgungsnetz wird automatisch gesteuert und durch ein Visualisierungssystem in der Betriebszentrale überwacht. Damit können alle Einrichtungen ferngesteuert und der Betriebszustand sowie der Energieverbrauch des Systems abgelesen werden.

Besondere Sorgfalt wird schliesslich auf die Erdung und den Streustromschutz aller Systemkomponenten verwendet, um dem erhöhten Korrosionsrisiko im städtischen Untergrund zu begegnen. Die Tunnel sind in ca. 40 m lange, elektrisch isolierte Abschnitte unterteilt, um Stromflüsse zu verhindern und damit die Bewehrungen vor Korrosion zu schützen.

FÜHRERLOSER BETRIEB

In klassischen Eisenbahnsystemen ist die Verantwortung für die Steuerung und die Sicherheit der Zugsbewegungen zwischen der Technik (Signalisation) und dem Menschen (Lokomotivführer, Fahrdienstleiter) geteilt. In einer automatischen Untergrundbahn werden diese Funktionen gesamthaft durch die Technik gewährleistet. Der Mensch beschränkt sich, unter stetiger Überwachung durch die Sicherheitsautomatismen, auf die Handhabung ausserordentlicher Betriebszustände oder von besonderen Anforderungen. Die Automatismen erfüllen vier hauptsächliche Funktionen:

- Die automatische Streckenbewirtschaftung steuert die Weichen und gibt durch (elektronische) Signale sichere Trassees für die Züge frei.
- Die automatische Zugsicherung gewährleistet die sichere Fortbewegung der Züge durch Überwachung der Höchstgeschwindigkeit, der Zugabstände und der Signalhalte.
- Die automatische Zugsteuerung steuert die Züge mittels Beschleunigungs- und Bremsbefehlen, was gewissermassen der Funktion des Lokomotivführers entspricht.
- Die automatische Zugüberwachung stimmt die Züge zeitlich ab und gewährleistet die Erbringung der durch den Fahrplan vorgegebenen Leistungen.

Diese Elemente ermöglichen es einer führerlosen Untergrundbahn, alle von der zentralen Leitstelle erteilten Aufträge auszuführen. Gemäss dem vom Systembetreiber festgelegten Zeitplan erstellen die im Depot abgestellte Züge selbstständig ihre Betriebsbereitschaft. Danach verlassen sie das Depot, führen den zugeteilten Personentransportdienst aus und durchlaufen nach Dienstschluss, falls erforderlich, die Waschanlage, bevor sie ins Depot zurückkehren.

Ein führerloses System unterscheidet sich in drei Aspekten von einer klassischen Bahn. Zunächst muss seine Zuverlässigkeit maximal sein, denn selbst kleine Störungen wirken sich in hohem Mass auf die Verfügbarkeit aus (etwa durch Personalverlegungen oder ausbrechende Panik bei der Evakuierung von im Tunnel blockierten Zügen). Weiter muss sein Sicherheitskonzept für alle Eventualitäten ausgelegt sein, da nicht mit regulierendem menschlichem Eingreifen gerechnet werden kann. Schliesslich hängt seine Leistungsfähigkeit nicht direkt vom Personal (Anzahl und Leistungsfähigkeit der Lokomotivführer), sondern ausschliesslich von den intrinsischen Systemparametern ab. Die Optimierung des Dreiecks «Verfügbarkeit – Sicherheit – Leistungsfähigkeit» stand deshalb im Zentrum der Auswahlverfahren, die zum aktuellen Konzept der Métro m2 geführt haben.

Philippe Goy, ing. ETS, Métro Lausanne-Ouchy SA, Renens, GOY.P@t-1.ch (Stromversorgung und Beleuchtung)
Dominique Joubert, ing. ECL, Métro Lausanne-Ouchy SA, Renens (automatischer Betrieb/Projektsicherheit)

Der vorliegende Beitrag ist in französischer Sprache in TRACÉS 19/2006 erschienen.
Übersetzung: Aldo Rota