

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

## **Titelseiten**

### **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:** 26.01.2025

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

# IM SOUSSOL

26 KURZE BAUZEIT – LANGE TESTPHASE Fabien Currat

32 FÜHRERLOSE ZÜGE – EIN NOVUM Philippe Goy, Dominique Joubert

36 MIT REIBUNG BRÜCKEN ÜBERPRÜFEN Alain Nussbaumer, Michel Thomann, Manfred A. Hirt

# TEC 21

sia

NR. 27-28

9. JULI 2007

# KURZE BAUZEIT – LANGE TESTPHASE



01

## Titelbild

Die im Bau befindliche Métro m2 in Lausanne. Ein fertiggestellter zweigleisiger Streckenabschnitt am Übergang vom leicht ansteigenden Verlauf bei der Station Flon zur Steigung von 12% in Richtung Station Riponne. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA / Maurice Schobinger)

01 Rollmaterial, erste Fahrttests auf der fertiggestellten Linie im Abschnitt Nord. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA / Maurice Schobinger)

Nach einer Rekordbauzeit von weniger als 4 Jahren wird der Rohbau der neuen Métro m2 in Lausanne bald fertiggestellt sein. In Anbetracht dieser kurzen Bauzeit dürften Stadtbewohnerinnen und Pendler Verständnis dafür aufbringen, dass die Züge für die dynamische Testphase während eines ganzen weiteren Jahres noch ohne Passagiere verkehren werden.

Der Neubau der vollautomatischen führerlosen Métro in Lausanne begann am 07. Dezember 2003, als die ersten Mikropfähle für die schweren Unterfangungsarbeiten des Grand-Pont (siehe tec21 42 / 2005) gebohrt wurden. Zu diesem Zeitpunkt war der 5. Januar 2007 bereits als Datum für den Start der dynamischen Testphase fixiert. Drei Jahre später, seit dem 17. Januar 2007, rollen die ersten Züge mit 2 Tagen Verspätung auf den Gesamtterminplan – wenn auch erst mit wenigen Stundenkilometern – zwischen dem Metrodepot und dem nördlichen Teilabschnitt der Linie (Bild 1).

Auf den Abschnitten «Centre» (Stadtzentrum) und «Sud» (Lausanne-Ouchy, Lac Léman) sind die restlichen Bahntechnikinstallationen, unterteilt in 3 grössere Bau- und Testabschnitte, noch im Gange, bis im Herbst 2007 die ersten Züge zu Testzwecken auf der gesamten Linie fahren werden. Um die Funktionsfähigkeit des Welt-Novums einer führerlosen vollautomatischen Métro mit einer Linienführung mit Steigungen von bis zu 12% sicherzustellen, ist eine einjährige Testphase geplant. Die anschliessende offizielle Eröffnung der neuen Métro m2 ist für Herbst 2008 geplant.

## TERMINOPTIMIERUNGEN – AUSSERGEWÖHNLICHE BAULOGISTIK

Nach Aufnahme der Arbeiten wurde das Projekt vom Kanton Waadt an die Métro Lausanne-Ouchy SA als Bauherr übergeben. Dieser Vorgang und die folgende, komplette Projektüberarbeitung verzögerten den Baubeginn um ein Jahr. Der eigentliche Baustart erfolgte deshalb erst im Frühjahr 2004. Der Verwaltungsrat der Métro Lausanne-Ouchy SA beauftragte die Projektleitung, den schnellstmöglichen Eröffnungstermin zu bestimmen. Die Analyse einer sequenziellen, einem logischen Bau- und Installationsablauf folgenden Terminplanung ergab das Jahr 2011 als Eröffnungstermin. Eine unvermeidbare Verzögerung für den Bauherrn, obwohl Vergleiche mit ähnlichen Projekten dieses Resultat bestätigten (die Pariser Métro-Linie 14 erforderte ca. 8 Jahre Bau-, Installations- und Testzeit). In der Folge mussten substantielle Terminoptimierungen definiert und in die Gesamtterminplanung einbezogen werden. Einzig das bestmögliche Resultat wurde vom Verwaltungsrat, selbstverständlich unter Kenntnis der Risiken, akzeptiert. Daraus ergab sich, mit einer reinen Bau- und Installationszeit von nur 3.5 Jahren, ein totaler Zeitgewinn von über 2.5 Jahren gegenüber der sequenziellen Terminplanung.

Terminoptimierungen wurden unter anderem durch die Los- und Abschnittsaufteilung der Tief- und Tunnelbauarbeiten auf eine Vielzahl von baulogistisch vertretbaren kleinen Bauweisen erreicht. Die Maximierung der Anzahl Frontangriffe – insbesondere der Tunnels – ergab kurze Vortriebsstrecken, die entsprechend kurze Bauzeiten erforderten. Gemäss dem neuen Gesamtterminplan (Bild 7) mussten die Stadtbewohner zu Spitzenzeiten bis zu 10 Tunnelfronten und 15 Grossbaustellen ertragen. Das war baulogistisch nicht unproblema-



02



03



04



05



06

**02** Terminlich exakt abgestimmter Geleisebau nach dem Fertigstellen des Trassees mit Weiterführung des Betonbaus der Stationen. Station Flon, Stand März 2007. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA)

**03** Geleisebau mit wenig mechanisierter Methodik, da terminlich der Fertigstellung der Trasse angepasst und in kurzen Abschnitten gearbeitet werden muss. (Bilder: Métro Lausanne-Ouchy SA / Maurice Schobinger)

**04** Speziell konzipiertes 2-Kabinefahrzeug für den Geleiseeinbau.

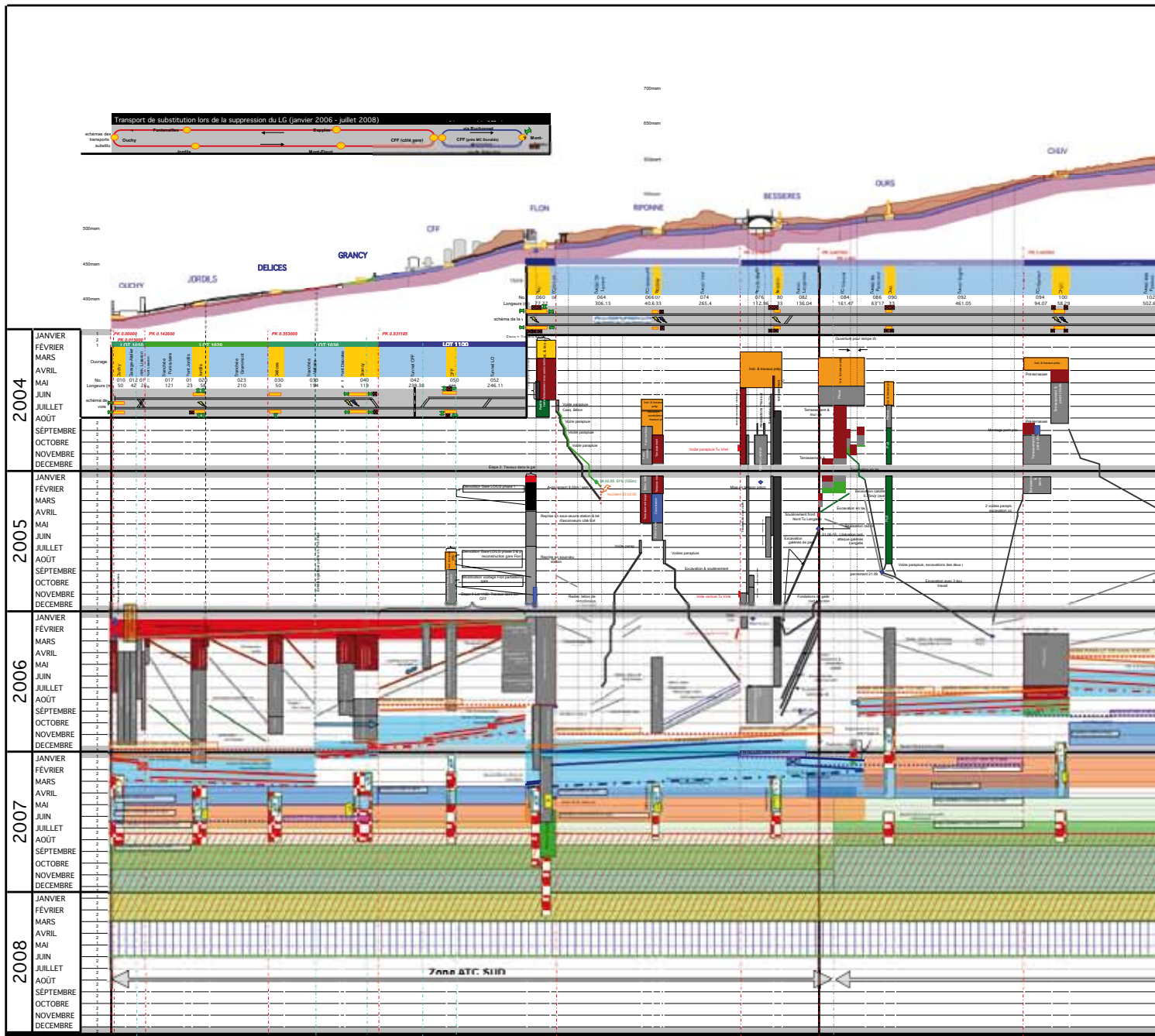
**05** Zweiwegfahrzeug für die Baumaterialzufuhr via Geleise für den Innenausbau der tief gelegenen Stationen.

**06** Naherschliessung für die Installation der Bahntechnik über einen Schacht, place de l'Europe. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA)

tisch, sollten doch insbesondere im Stadtzentrum möglichst kleine Installationsflächen belegt und möglichst geringe Emissionen erzeugt werden (Bild 6).

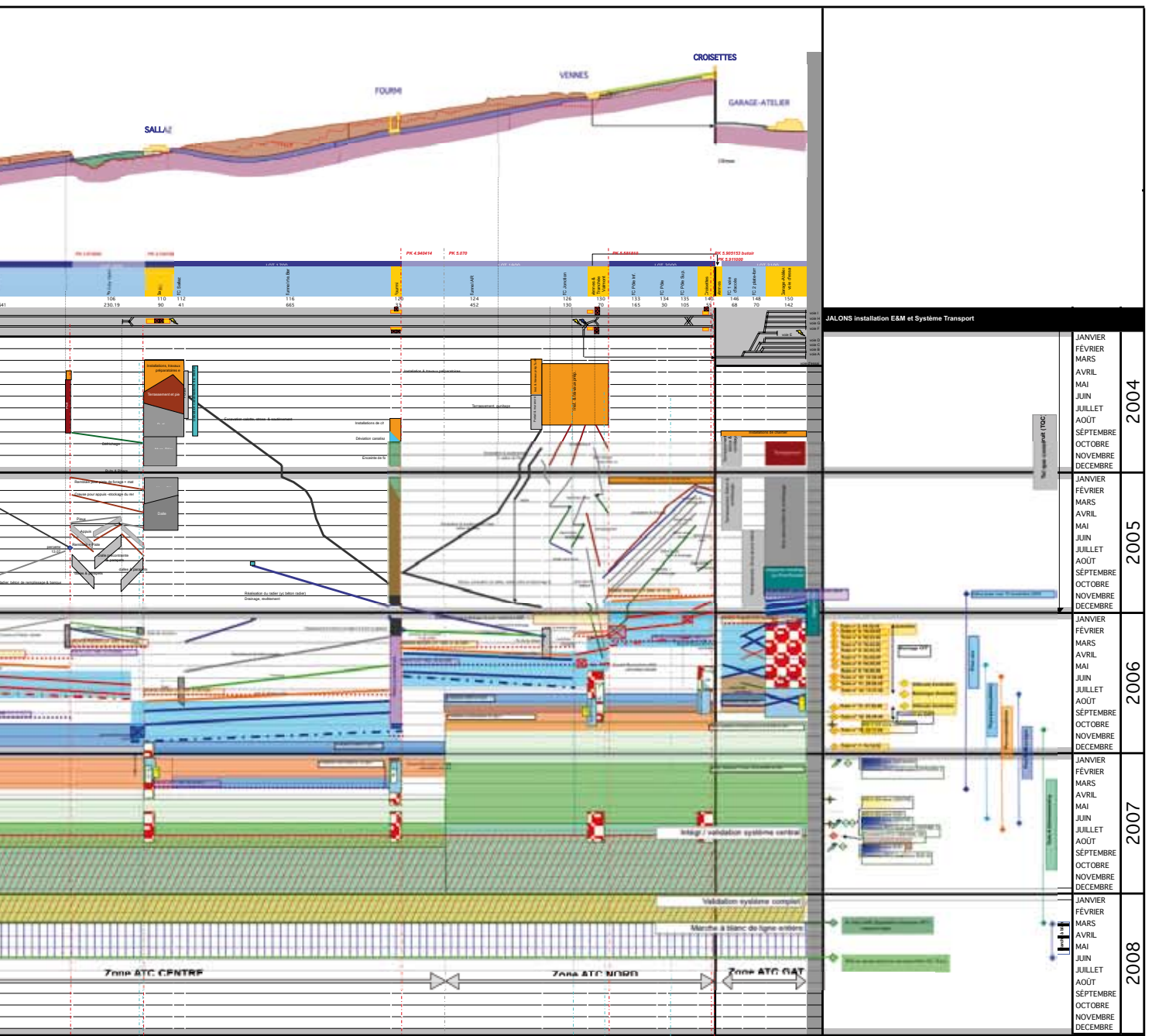
Als weitere, in der aktuellen Bauphase wirksame Optimierungsmassnahme werden der Geleisebau und die Installation der Bahntechnik nach dem Fertigstellen des Trassees terminlich exakt und ohne Pufferzeiten aufeinander abgestimmt (Bilder 2 bis 5). Das bedingt, dass die Abschnitte der Bahntechnikinstallationen gleich wie die Abschnitte für den Tunnel- und Trasseebau unterteilt sind. Unter diesen Bedingungen genügt der einzige, ursprünglich vertraglich vorbestimmte Installationszugang zur Linie in Lausanne-Vennes logistisch nicht für die Versorgung der zahlreichen Baustellen. Für die Installationen der Bahntechnik (Geleisebau, Automatik, Tunnellüftung, Kabelführung, Beleuchtung, Notperon auf 12 km Länge etc.) mussten entlang der Linie 3 weitere Installationsplätze und Linienzugänge geschaffen werden. Die innerstädtischen Gegebenheiten mit limitierten Umschlagsflächen erlauben nur eine JIT (Just In Time) Belieferung der Baustellen. Dafür wurden zwei grosse, externe Hauptlager- und Umschlagplätze mit Bahn- und Autobahnanschluss in Vennes (Nord) und Malley (Sud) angelegt.

Um Zeit zu gewinnen erwies es sich auch als wirkungsvoll, die dynamische Testphase in Etappen, von Nord über Centre nach Süd, durchzuführen. Die Planer können auf ihre frü-



07

07 Liniendiagramm des Gesamtterminplans des Neubaus der Métro m2 in Lausanne. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA)



### M2: TERMINE

#### Tunnelbau – Betonbau:

Im Mittel 3 Jahre pro Los, 10 Lose für 14 Stationen, 6 km Linie, 1 Depot und Kommandozentrum

Installationsphase Bahntechnik, Ausbau

Stationen : 2 Jahre, davon 1.5 Jahre parallel zum Tunnel- und Betonbau

Testphase : 1.5 Jahre, davon 1 Jahr parallel zur Installations- und Ausbau-phase.

### M2: LOGISTIK

- 2 Hauptumschlagsplattformen mit Bahn- und Autobahnanschluss
- 2 Linienzugänge für Bauzüge, 4 Linienzugänge via Schacht
- Gleichzeitiger Betrieb von 14 innerstädtische Grossbaustellen (Stationen)
- Im Mittel 8 Bauzüge
- 1 Koordinationszentrum für die örtliche Baustellenkoordination und Testphase (ca. 60 Mitarbeiter)

### M2: EINBAU BAHNTECHNIK

- Gesamtlänge des Geleise 13 km (6 km Doppelspur, plus Depot)
- Tunnellüftung: 58 Ventilatoren
- Kabelkanal und Notperron: 12km
- Über 1000km Kabel
- 12 km Bodenantennen, 6km Kabelantenne
- ca. 60 Technikräume
- 56 Aufzüge und Rolltreppen
- 168 vollautomatische Perrontüren



08



09

**08** Überlagerte Arbeitsgattungen, gleichzeitiger Betonbau und Innenausbau über bereits installierter Bahntechnik (Geleise). Station Flon, Stand Mai 2007. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA)  
**09** Für die Testphase bereits fertiggestellte Station Croisettes im Abschnitt Nord. (Bild: Métro Lausanne-Ouchy SA / Maurice Schobinger)

hen Erfahrungen in der Nordzone zurückgreifen. Der Rohbau konnte dort plangemäss vor beinahe einem Jahr fertig gestellt werden, so dass heute die Métro schon auf dem kaum 1 km langen Caroussel nahe der Gemeinde Épalinges fährt. Kinderkrankheiten können erkannt und wichtige Tests, wie die Notbremsung, frühzeitig durchgeführt werden, während auf dem Abschnitt Süd die Installationsarbeiten noch in Gange sind. Im Abschnitt Süd liegt auch das Trasse der ehemaligen «Ficelle», der alten Zahnradbahn, die gemäss dem neuen Gesamtterminplan 6 Monate später, erst im Januar 2006 ausser Betrieb genommen werden musste. Die Ersatzverbindung mit Gelenkbussen muss somit nur für 2.5 Jahre bereitgestellt werden.

### MULTIKRITISCHER TERMINPLAN

Der Gesamtterminplan wurde bewusst für die schnellstmögliche Bauzeit mit minimalen Zeitreserven geplant. Da die Installationen der Bahntechnik in jedem Abschnitt terminlich genau an den Trasseebau angepasst werden, ergibt sich ein multikritischer<sup>1</sup> Terminplan. Praktisch jede Bauverzögerung hat somit direkten Einfluss auf den Termin der Inbetriebnahme der neuen Métro m2, wenn keine Gegenmassnahmen getroffen werden. Im Verlauf der Arbeiten sind denn auch verschiedene Verzögerungen des Baufortschritts eingetreten, deren Auswirkungen auf den Termin der Inbetriebnahme bis anhin aber durch angepasste Massnahmenpakete aufgefangen werden konnten.

Eine neue Terminplanung für den Tunnelbau wurde mit dem Einbruch des St.Laurent-Tunnels am 22. Februar 2005 notwendig. Der Tunnelausbruch wurde von Süd nach Nord verlegt, damit die Einbruchsstelle stabilisiert und die Ausbrucharbeiten weitergeführt werden konnten. Die unbürokratische Haltung der Stadtregierung ermöglichte die rasche Umsetzung dieser Massnahmen, so dass am Ende keine Verspätung resultierte.

Als sich der Ausbruch des Tunnel du Bugnon wesentlich langwieriger gestaltete, als der Gesamtterminplan vorsah, wurde eine Verschiebung der Losgrenze verhandelt und eine zusätzliche Nord-Front eröffnet.

Die zum Teil verspäteten Rohbauarbeiten (Betonbau) der Metrostationen bedingten, dass der Ausbau der Stationen in ihrem unteren Bereich bereits startete, während die Treppenhäuser und der obere Bereich noch im Rohbau waren (Bild 8). Das ergab für die Baustellensicherheit eine sehr problematische Situation. Nur schwere hölzerne Brückenplanken konnten eine physisch sichere Trennung der Baustellen gewährleisten. Dafür musste das Baumaterial für den Perronbereich oft über die Schiene angeliefert werden. Diese Logistikarbeiten wurden vom Bauherrn mit seinen eigenen, in der Risikoanalyse der Terminplanung vorgesehenen Zweiwegfahrzeugen<sup>2</sup> ausgeführt, die dazu konzipiert sind, schwere Lasten auf den grossen Steigungen zu transportieren (Bild 5).

### DER BAUHERR ALS ÖRTLICHER KOORDINATOR

Im Gegensatz zum Tunnel- und Trasseebau mit örtlichen, durch Ingenieurgruppierungen sichergestellten Abschnittsbauleitungen nahm der Bauherr die Koordinationsarbeiten für die Bahntechnikinstallationen der Métro m2 selbst in die Hand. Es erwies sich als ideal, dass die Projektleitung Planung, die die gesamten Terminplanungs- und Logistikanalysen durchgeführt hatte, nun auch die Resultate der Analysen umsetzen konnte. Die vom Bauherrn neu geschaffene Koordinationsorganisation hatte die Aufgabe, die Gesamtinstallation der Bahntechnik und des Innenausbaus der Metrostationen nach dem anspruchsvollen Terminplan durchzuführen. Dabei waren die baulegistischen Randbedingungen zu berücksichtigen und die speziell für das Projekt definierte Baustellensicherheit einzuhalten. Hauptgrundlage für diese Koordinationsaufgaben ist der 3-Wochenterminplan, den jedes an den Installationsarbeiten beteiligte Unternehmen wöchentlich erarbeiten muss. Darin sind die in der letzten Woche getätigten Arbeiten notiert und detaillierte Tagesplanungen für die 2 kommenden Wochen aufgeführt (Delta - 1 bis + 2 = 3, daher der Name des 3-Wo-

chenterminplanes). Diese Informationen sind für die Koordinationsorganisation unumgänglich, um für das Termincontrolling den genauen Stand der Arbeiten zu kennen und um die eigentlichen Koordinationen bezüglich der Baulogistik planen zu können.

Anfänglich sträubten sich die Unternehmer gegen den 3-Wochenterminplan, da er eine übermässige Kontrolle durch den Bauherrn darstelle. Er erwies sich jedoch als nutzbringend oder gar unerlässlich für die Koordination der Installationsarbeiten mit den Bauzügen, da nur angemeldete Installationsarbeiten und angemeldete Bauzüge in der täglichen Fahrplanplanung berücksichtigt wurden. Ungeplante oder vergessen gegangene Bauzüge konnten nur mit schweren Mitteln (Einbringen des Materials oder der Fahrzeuge mit Kränen) ersetzt werden.

Dieser Lernprozess zum Verständnis der strengen Koordination wandelte die anfängliche Unlust in eine allgemeine Dynamik um. Die Unternehmen organisierten Logistikarbeiten gemeinsam und auch der Bauherr konnte logistisch blockierte Situationen mit den Zweiwegfahrzeugen rasch lösen. Die Rohbauphase und die Bahntechnikinstallation werden deshalb trotz schwierigen terminlichen und logistischen Verhältnissen voraussichtlich im Herbst 2007, mit geringer Verzögerung gegenüber dem Gesamtterminplan, fertig gestellt sein.

## LANGE TESTPHASE

Bereits 18 Monate vor Eröffnung werden auf dem Nord-Caroussel dynamische Tests mit Rollmaterial durchgeführt (Bild 1). Die frühen Erfahrungen sind wichtig, denn für speziell kritische Tests, wie die Notbremsung, können positive Resultate nicht durch Planung und Koordination vorbestimmt und garantiert werden. Zeitreserven müssen einberechnet werden, damit die Tests auch mehrmals wiederholt werden können und die Technik angepasst werden kann.

Die Testphase durchläuft aufeinanderfolgende Stufen:

- Tests des einzelnen Elements (z. B. Testen der einzelnen Perrontüren, Bild 9),
- Tests der Integration der Untersysteme
- Testen des kompletten, vom zentralen Kommandoposten gesteuerten Systems

Nach erfolgreichem Testen des gesamten Systems ist ein mehrmonatiges Einfahren geplant. In dieser Phase fahren die 14 Züge ununterbrochen ohne Passagiere, vollautomatisch und gemäss normalem Betrieb. Nur nach erfolgreichem Einfahren des Systems kann die Métro m2 eröffnet werden, ansonsten müssen erneut Tests durchgeführt und eine erneute mehrmonatige Einfahrzeit eingeplant werden. Dieses Risiko rechtfertigt eine lange erste Testphase.

**Fabien Currat**, dipl. Bauing. ETH, Chef de projet planification, projet m2, Métro Lausanne-Ouchy SA, CURRAT.F@t-1.ch

### Anmerkungen:

1 Multikritisch : Dieser – nicht offizielle – Term soll aufzeigen, dass der Terminplan mehrere kritische Wege beinhaltet. Der kritische Weg ist der Weg von Anfang bis zum Ende des Netzplanes (Terminplanes), auf dem die Summe aller Zeitreserven (Pufferzeiten) minimal oder gleich null wird.

2 Zweiwegfahrzeug : Fahrzeug mit Eigenantrieb, welches auf der Strasse und auf Schienen fahren kann.