

Die Untergrundbahn in Montreal, Kanada

Autor(en): **Wackernagel, Andreas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 19

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-69451>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Von **Andreas Wackernagel**, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro Gebrüder Gruner, Basel

1. Die Stadt Montreal

1.1. Allgemeines

Montreal, in der Provinz Quebec am St. Lawrence-Strom gelegen, ist die grösste Stadt Kanadas und ausserdem das bedeutendste Industrie- und Handelszentrum. Sie hat heute eine Bevölkerung von 2,1 Millionen, die grösstenteils französischen Ursprungs ist.

Im Jahre 1535 entdeckte der Seefahrer *Jacques Cartier* den St. Lawrence-Strom und erreichte die Insel von Montreal. 1642 gründete *Maisonneuve* einen Posten, der sich zur Stadt *Ville-Marie-de-Montréal* entwickelte, die von Pelzhandel lebte. 1760 übergab sich die Stadt, die damals 8000 Einwohner hatte, den Engländern. Sie nahm dann einen starken Aufschwung; zwischen 1840 und 1900 wuchs die Einwohnerzahl von 50000 auf 360000 an. Gleichwohl hat Montreal (Bild 1) als zweitgrösste französisch sprechende Stadt der Welt einen besonderen, städtebaulich reizvollen Charakter erhalten.

In diesem Jahre findet hier die Weltausstellung statt. Sie wird auf teilweise künstlich aufgeschütteten Inseln im St. Lawrence-Strom angelegt und ist die erste derartige Ausstellung auf dem Nordamerikanischen Kontinent. Sie wird aus Anlass des 100. Jubiläums der kanadischen Konföderation abgehalten. Das Thema der Ausstellung lautet «Terre des Hommes». «Habitat 67» sucht städtebauliche Lösungen für die zunehmende Bevölkerung in dem immer beschränkteren Raum.

Anlässlich der Weltausstellung ist auch eine Untergrundbahn eröffnet worden.

1.2. Verkehrslage

Wasserstrasse. Die Stadt Montreal liegt an der bedeutenden Wasserstrasse des St. Lawrence Seaway. Dieser reicht vom Atlantischen Ozean 2000 Meilen ins Innere des Nordamerikanischen Kontinents, verbindet den Atlantischen Ozean mit dem Gebiet der grossen Seen in den USA und bedient zahlreiche bedeutende Städte Kanadas und der USA. Der Bau des Kanals wurde 1954 begonnen. Im Jahre 1959 fand die offizielle Einweihung durch Königin Elisabeth II. und Präsident Eisenhower statt. Der St. Lawrence Seaway umfasst 7 Schleusen; die ersten beiden sind bei Montreal angeordnet. Ein bedeutender Bau ist ferner der Long Sault-Damm über den St. Lawrence-Strom bei Cornwall, bei dem 2,2 Mio PS elektrische Energie gewonnen werden. Der Hafen von Montreal ist von entscheidender Bedeutung für Industrie und Handel. Er erstreckt sich auf rund 25 km längs dem nördlichen Ufer des St. Lawrence-Stromes.

Flugverkehr. Der nur rund 13 km vom Stadtkern entfernte, modern ausgebaute transkontinentale Flughafen Dorval sichert der Stadt einen günstigen Anschluss an das Weltflugnetz.

Bahnlinien. Die beiden wichtigen Personenbahnhöfe der Stadt liegen in gegenseitiger Nähe beim Stadtkern. Der Reisende kann also mit der Bahn direkt die Geschäftsstadt erreichen. Die Linien der Canadian Pacific Railways enden in der Windsor Station; die Linien der Canadian National Railways in der Central Station.

Autobahn. Der Trans-Canada-Highway ist die in Erstellung begriffene, quer durch ganz Kanada führende Autobahn. Sie erreicht die Insel von Montreal am West-Ende, bildet eine nördliche Tangente zur Innerstadt, biegt dann nach Südosten ab und verlässt die Insel durch den unter dem St. Lawrence-Strom durchführenden, 1400 m langen Louis-Hippolyte-Lafontaine-Tunnel, der in der Schweiz. Bauzeitung (1965, H. 37, S. 638) beschrieben wurde. Es ist geplant, ausser der nördlichen Autobahn-Tangente eine weitere Tangente im Süden der Stadt längs dem Hafengebiet zu erstellen.

2. Geologie

2.1. Geologie der Provinz Quebec

Montreal liegt auf einer Insel im St. Lawrence-Strom, der vom Gebiet der Seen in den USA in den Atlantischen Ozean fliesst. Die Insel von Montreal bildet geologisch einen Bestandteil der St. Lawrence-Ebene, die sich beidseitig des Stromes ausdehnt, und von der Stadt Quebec bis zur Westgrenze der Provinz reicht. Sie stösst im Norden gegen die Laurentinische Hochebene und im Süden gegen die Appalachische Region. Die Laurentinische Hochebene gehört geologisch zum kanadischen Schild, der aus Eruptivgesteinen und metamorphen Gesteinen besteht, die in der geologischen Urzeit (Archäozoikum) entstanden. Die Appalachische Region, die südlich an die St. Lawrence-Ebene anschliesst, besteht aus parallelen, stark gefalteten Gebirgsketten, die gegen Nordosten laufen. Das Gebirge ist aus Quarzit, Sandstein, Schiefer und Kalkstein aufgebaut. Es sind auch Intrusionen

aus Granit und basischen Gesteinen vorhanden. Diese Region gehört zur Appalachischen Kette, die den ganzen Nordamerikanischen Kontinent bis nach Georgia hinunter säumt.

Die landwirtschaftlich genutzte St. Lawrence-Ebene liegt zwischen 30 und 150 m ü.M. Ihr Untergrund wird von den Schichten des Ordovician gebildet, die sedimentären Ursprungs sind und aus Kalkstein, Schiefer, Sandstein und Dolomit bestehen. In der Umgebung von Montreal befinden sich einzelne kleine Felsmassive aus Eruptivgestein, die die Ebene überragen und die aus späteren Aufstössen am Anfang der geologischen Neuzeit (Zenozoikum) stammen, d. h. aus der gleichen Periode, in der auch die Alpen und das Himalaya-Gebirge entstanden.

2.2. Geologie der Stadt Montreal

Der Fels unter der Insel von Montreal, mit Ausnahme des Mont-Royal, der ein späterer Aufstoss aus Eruptivgestein ist, besteht hauptsächlich aus Fels der Formationen des Ordovician, die im geologischen Altertum gebildet wurden. Der Trenton-Kalkstein kommt dabei am häufigsten vor. Die Schichtstärke beträgt 240 m. Darüber folgt Utica-Tonschiefer (Bild 2). Der Kalkstein von Trenton hat ein mittleres Raumgewicht von 2,69–2,73 g/cm³ und eine mittlere Druckfestigkeit von 890 bis 1190 kg/cm². Der Utica-Tonschiefer hat eine mittlere Druckfestigkeit von 720 kg/cm². Die Bauvorschriften von Montreal erlauben jedoch nur Bodenpressungen von 25 kg/cm² im Kalkstein und 15 kg/cm² im Tonschiefer. Grössere Pressungen werden hingegen zugelassen, wenn Versuche an Ort und Stelle höhere Tragfähigkeit nachweisen.

Die oberflächlichen Lockergesteine in Montreal sind geologisch jung. Es sind eiszeitliche Ablagerungen. Unmittelbar über dem Fels befinden sich Grundmoräne, dann folgen fluvio-glaziale Ablagerungen mit Moränenlagen, darüber Moräne, darüber Meeresablagerungen aus Lehm, Sand und Kies, darüber Alluvionen und Moorablagerungen. Die einzelnen Schichten sind von unregelmässiger Stärke. Die Grundmoräne hat einen Gehalt an Feinbestandteilen kleiner als 0,074 mm bis 60% und erreicht eine bedeutende Lagerungsdichte von 2,2 ÷ 2,5 g/cm³ bei einem Wassergehalt von 6 ÷ 15%. Die obere Moränenlage enthält mehr als 60% Feinbestandteile kleiner als 0,074 mm. Ihre Lagerungsdichte variiert zwischen 1,9 und 2,2 g/cm³.

Die Meeresablagerungen entstanden infolge einer Senkung, die sich durch das Gewicht der Eisdecke einstellte. Diese Senkung erlaubte ein allmähliches Eindringen des Meeres in die St. Lawrence-Ebene. Die am Boden dieses Meeres abgelagerten marinen Lehme kommen verschiedentlich in Montreal vor. Im westlichen Teil der Insel erreichen sie eine Stärke von mehr als 30 m. Die charakteristischen Eigenschaften des Lehmes sind stark veränderlich, je nachdem der Lehm in tiefem oder seichtem Wasser abgelagert wurde. Die in tiefem Wasser abgelagerten Lehme sind besonders fett. Das Raumgewicht im feuchten Zustand bewegt sich von 1,50 bis 1,90 t/m³ bei einem Wassergehalt von 30 ÷ 80%. Die Sensitivität des Lehmes schwankt zwischen 3 und 10, d. h. bei kleinen Störungen infolge Erschütterung kann die Festigkeit auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{10}$ des ursprünglichen Wertes vermindert werden. Diese Eigenschaft führt in der unteren St. Lawrence-Ebene zu den bekannten katastrophalen Gleiterscheinungen. Die kiesigen und sandigen Meeresablagerungen finden sich längs des Randes des ehemaligen Meeres.

3. Die Untergrundbahn

3.1. Bestehende öffentliche Transportmittel

Das bestehende Massenverkehrsmittel in Montreal ist ein ausgedehntes und gut ausgebautes, engmaschiges Busnetz, das sich dem rechtwinklig aufgebauten Strassennetz anpasst und hauptsächlich in den einzelnen Strassenzügen verlaufende O-W- und N-S-Linien aufweist. Am Rande der Innerstadt sind grosszügige Umsteigestationen angelegt, wo die Fahrgäste von den stark belasteten Innerstadtlinien auf die Vorortslinien umsteigen. Das Busnetz hat eine Gesamtlänge von 670 km und wird von 2000 Buseinheiten befahren. Täglich werden rund 1 000 000 Passagiere transportiert.

3.2. Netz der Untergrundbahn

Studien zur Erstellung einer Untergrundbahn in der Stadt Montreal sind seit 35 Jahren im Gange. Das gegenwärtig in Ausführung begriffene Netz umfasst 3 Linien, nämlich eine längs zur Insel in Richtung Ost-West verlaufende Linie 1, eine quer zur Insel verlaufende Linie 2 und eine unter dem St. Lawrence-Strom durchlaufende Linie 4 (Bild 3).

Die Linie 1 beginnt im Westen bei der Atwater Ave. Sie durchquert die Geschäftsstadt unter einem Strassenzug, parallel der Sherbrooke Street über die Berri-de-Montigny-Station, und endet bei der Iberville Street im Osten.

Die Linie 2 nimmt ihren Anfang im Norden der Insel beim Gouin Blvd. und verläuft in einem Strassenzug parallel Blvd. St. Laurent bis zur Berri-de-Montigny-Station, biegt dann nach Westen ab und unterfährt die Hauptbahnhöfe der Stadt: Central Station, Canadian National Railways und Windsor Station der Canadian Pacific Railways. Diese Bahnhöfe liegen nahe beieinander und werden von der Stadt her mit einer gemeinsamen Untergrundbahnstation erschlossen.

Die Linie 4 beginnt nördlich der Berri-de-Montigny-Station, unterquert den St. Lawrence-Strom bis zur Ile Ste. Hélène und führt unter dem südlichen Arm des Stromes und dem St. Lawrence Waterway nach Longueil. Sie erschliesst das Gebiet südlich des Flusses (Bild 4).

Eine Linie 3, die den Mont Royal unterqueren soll, wurde vorläufig zurückgestellt.

Das Trasse der Linien folgt den Hauptverkehrsrichtungen der Stadt. Die jetzt zum Teil vollendeten Linien 1, 2 und 4 haben eine Gesamtlänge von 25,0 km (15,5 Meilen). Das Bahnnetz umfasst 26 Stationen, einschliesslich der am Kreuzungspunkt der Linien liegenden Berri-de-Montigny-Station, die den Linien 1, 2 und 4 gemeinsam ist. Es ist geplant, über den Untergrundbahnstationen Geschäftshäuser zu errichten. Die Stadt Montreal verpachtet das betreffende Areal auf 60 Jahre an Organisationen und Geschäfte unter der Bedingung, dass die Gebäude bestimmte Forderungen erfüllen.

3.3. Stationsausbildung

Die Abstände zwischen den Stationen sind verschieden je nach der Bevölkerungsdichte und dem erwarteten Zustrom; im Mittel betragen sie 700 m (2300 Fuss). Der kürzeste Abstand beträgt 450 m, der grösste 3400 m (zwischen der Berri-de-Montigny-Station und der Ile Ste. Hélène). An der Berri-de-Montigny-Station verkehren die drei Linien auf drei verschiedenen Ebenen. Linie 4 befindet sich in 24 m Tiefe, darüber sind die Bahnsteige der Linie 1 angeordnet, und zuoberst befindet sich die Linie 2. Die ganze Station enthält 24 Rolltreppen.

Die Vorhallen der Stationen messen im Mittel 24 m × 42 m. Es wurde darauf Bedacht genommen, dass keine Station der anderen gleicht; die Planbearbeitung wurde verschiedenen Architekten übertragen. Die Frischluft wird durch Schächte eingeblasen, und sie verlässt die Stationen durch die Zugänge. Pro Stunde finden zwei vollständige Luftumwälzungen statt. Rolltreppen werden überall dort vorgesehen, wo ein Höhenunterschied von mehr als 3,65 m zu überwinden ist.

3.4. Ausbildung der Tunnelröhren.

Beide Fahrrichtungen werden in ein und demselben Tunnel untergebracht. Die Breite der Tunnelröhre beträgt 7,10 m, die Scheitelhöhe 4,90 m (Bild 5). Bei den Stationen erweitert sich die Breite der Röhre auf 13,40 m. Die Stationslänge beträgt 152 m. Die Untergrundbahn ist in einer Tiefe von 6 bis 24 m angeordnet, im Mittel liegt sie 12 bis 18 m tief. Die grösste Steigung, die im Längensprofil zugelassen wird, beträgt 7%. Die Anlage der Untergrundbahn in grosser Tiefe ermöglicht eine freiere Führung. Es sind keine Werkleitungen, Kanalisationen und sonstige Installationen zu verlegen und es muss keine allzugrosse Rücksicht auf die bestehende Überbauung genommen werden.

3.5. Bauvorgang

Die Tunnelröhren befinden sich meist im Fels. Rund 70% der Tunnelstrecken werden bergmännisch vorgetrieben. Der Fels ist im allgemeinen gut und bildet ein standfestes Gewölbe. Die restlichen 30% der Tunnelstrecken werden in offener Baugrube erstellt. Die Kosten für bergmännisches Vorgehen erweisen sich als geringer.

Zur geologischen Untersuchung des Bahntrasses wurden Sondierbohrungen im engen Abstand von nur 75 m angeordnet. Als minimale Felsüberdeckung wurden folgende Werte verwendet: 3,0 m im festen Fels, 4,5 m im mässig geklüfteten Fels, 6,0 m in der Tunnelstrecke, die unter dem St. Lawrence-Strom in mässig geklüftetem Tonschiefer durchführt.

Der Tunnel wird im Vollausschub vorgetrieben. Wo es sich als nötig erweist, werden Felsanker oder Stahlbogen eingebaut. Die verwendeten Felsanker haben eine Länge von 2 bis 3 m. Für je 1 bis 3 m² wird ein Anker vorgesehen. Die Vortriebsgeschwindigkeit im Fels beträgt 6 bis 9 m im Tag. Ein Einbau erweist sich nur auf 5% der

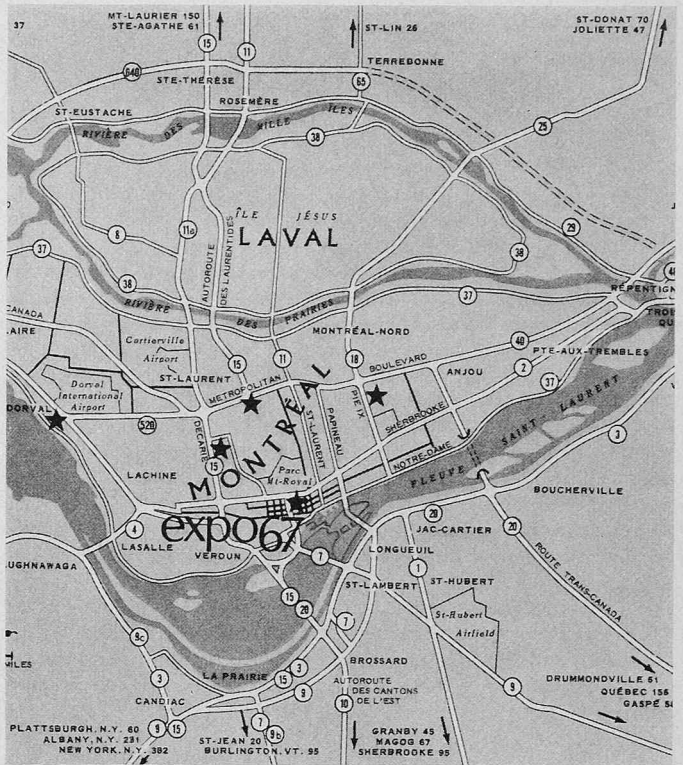


Bild 1. Stadt Montreal, Planübersicht 1:450 000

gesamten Tunnelstrecke als notwendig. Die offenen Baugruben werden seitlich abgebocht. Wo das nicht möglich ist, werden Stahlträger gerammt und mit Zugankern rückverankert. Zwischen den Trägern werden Kanthölzer eingefügt (Bild 6).

Im Juni 1962 wurde die erste Vergebung für den N-S-Tunnel unter der Berri Ave durchgeführt. Bis 1964 wurden 124 m Tunnel auf den Linien 1 und 2 ausgebaut. In diesem Frühjahr ist der Betrieb aufgenommen worden.

3.6. Rollmaterial

Ein Zugssegment wird von zwei Triebwagen und einem dazwischengeschalteten Anhänger gebildet. Ein Zug wird aus 3 Zugssegmenten gebildet und enthält also 9 Wagen. Der Zug hat eine Länge von 152 m entsprechend der Stationslänge. Die Länge der Triebwagen beträgt 17,23 m, der Anhänger 16,40 m, die Breite in beiden Fällen 2,52 m. Jeder Wagen besitzt beidseitig 4 Türen von je 1,30 m Breite. Er ruht auf 2 Fahrgestellen zu je 4 pneubereiften Rädern, die parallel zu 4 Stahlrädern (für den Notfall) laufen. Weiter sind vier horizontale Räder, die der Führung dienen, angebracht. Jeder Triebwagen enthält 4 Motoren zu je 150 PS.

Das Rollmaterial wird von der kanadischen Vickers Company hergestellt und geliefert. Es wird nach dem Muster des Pariser Métro ausgebildet. Als Vorteile der Pneubereifung werden genannt: weniger Lärm, erhöhter Reisekomfort, rascheres Anfahren und Bremsen dank der grösseren Adhäsion auf den Rollflächen, Anwendung grösserer Steigungen, grössere Anpassungsfähigkeit an enge Kurven, grössere durchschnittliche Geschwindigkeit.

Die grösste Geschwindigkeit beträgt 80 km/h. Man erwartet eine

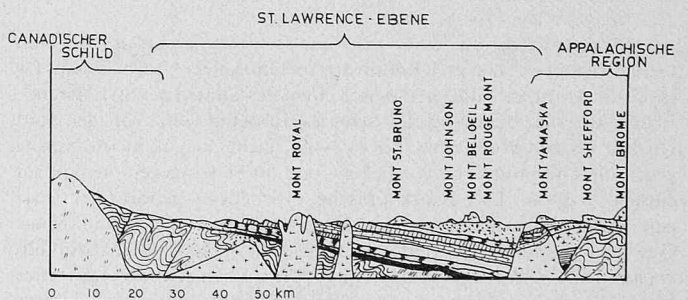


Bild 2. Geologischer Schnitt Ost-West durch die St. Lawrence-Ebene. Massstab 1:1 800 000

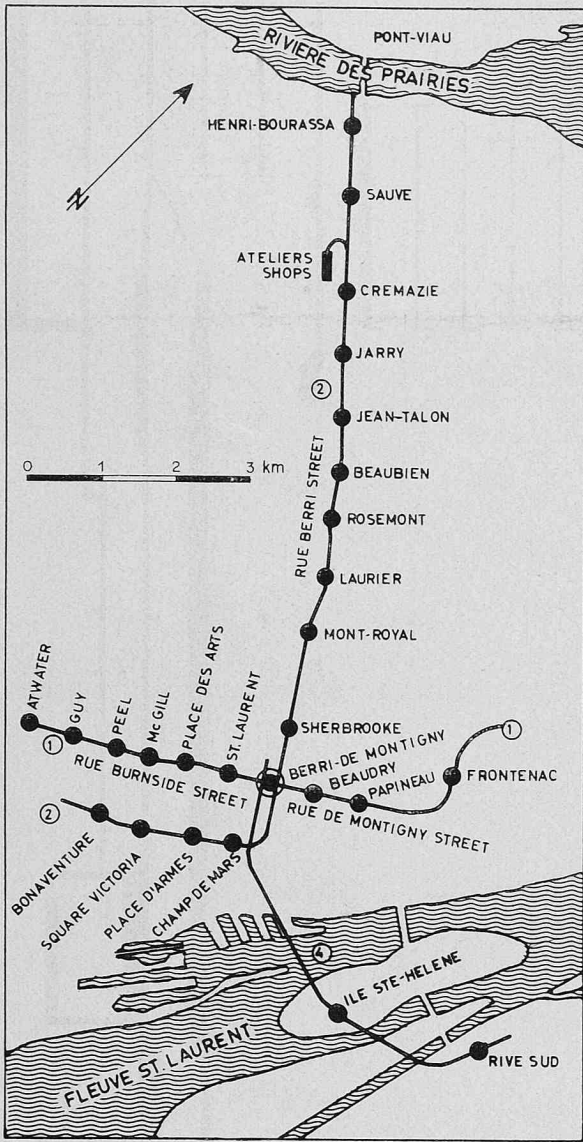


Bild 3. U-Bahn-Linien 1, 2 und 4; Plan 1:66 000

durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von 32 bis 50 km/h. Die Haltezeit an den Stationen dauert nur den Bruchteil einer Minute. Die Zugfolge beträgt 1 1/2 Minuten; es ist also eine Transportkapazität von 40 Zügen pro Stunde und Gleis möglich. Jeder Wagen fasst 170 Passagiere, ein Zug also rund 1500 Passagiere. Es können somit 60000 Personen pro Stunde auf einem Gleis befördert werden. Für den Betrieb des Netzes werden 369 Wagen benötigt, nämlich 246 Triebwagen und 123 Anhänger. Diese werden zu 41 Zügen zusammengefasst.

Zum Unterhalt wird am nördlichen Ast der Linie 2 eine oberirdische Werkstätte für Unterhalt und Reparaturen errichtet, die über eine Rampe vom Tunnel her erreicht werden kann.

INSEL STE. HELENE

STADT MONTREAL

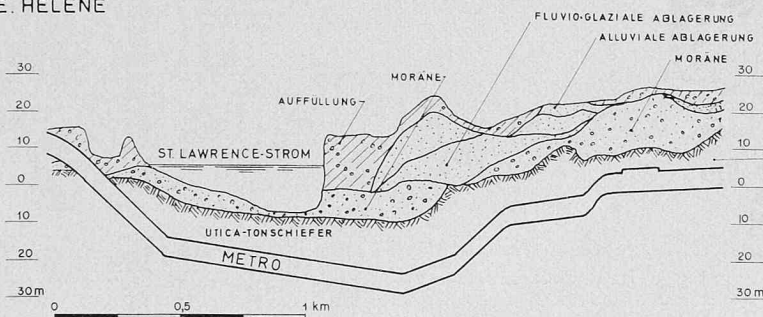


Bild 4. U-Bahn-Tunnel unter dem Fluss, zwischen der Stadt und der Insel St. Hélène; Längenprofil 1:30 000



Bild 6. Offene Baugrube mit rückverankerter Wand

3.7. Kosten

Der Bau der Untergrundbahn wird durch die Stadt Montreal finanziert. Die gesamten Kosten werden wie folgt veranschlagt:
Baukosten

Linien 1, 2, 4, total 25,0 km	\$ 129 520 000.— (Sfr. 518 080 000.—)
Rollmaterialkosten	\$ 49 250 000.— (Sfr. 197 000 000.—)
Gesamtkosten	\$ 178 770 000.— (Sfr. 715 080 000.—)

Dies ergibt Baukosten ohne Rollmaterial von 20,6 Mio Fr./km, mit Rollmaterial 28,5 Mio Fr./km.

Literatur:

Public Works Department, Montreal, «After two Years of Work» (10. August 1964) und «L'étape finale» (15. Juli 1965).

J. Hode Keyser: Géologie de Montréal, 6ème Congrès International de mécanique des sols, 8 au 15 septembre 1965.

«Le Génie Civil», Paris, 1. Mai 1966.

William H. Parker: Canada. Editions Nagel, 1963.

Adresse des Verfassers: A. Wackernagel, dipl. Ing., Ingenieurbüro Gebrüder Gruner, 4002 Basel, Postfach.

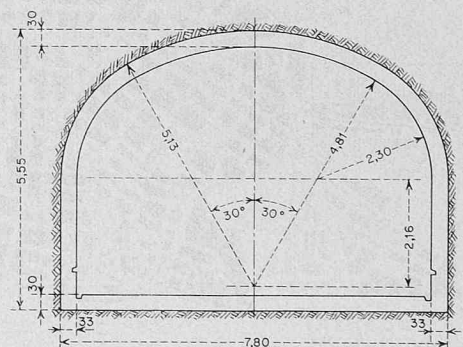


Bild 5. Tunnelquerschnitt 1:150