
Postulat betreffend die Studie eines automatischen Verkehrssystems vom Typ "Personal / Group Rapid Transit" für die Agglomeration Freiburg.

Post_Leg 2011-2016_2013_016

Autoren des Postulats: Cyril Berton (Freiburg), François Grangier und Dimitri Küttel (Villars-sur-Glâne), Marc-Antoine Messer und Michel Moret (Avry)

Begehren:

Die Unterzeichner verlangen eine Studie über ein automatisches Verkehrssystem vom Typ "Personal/Group Rapid Transit" (PRT/GRT ¹), um beispielsweise die strukturierenden Stadtachsen und Hauptlinien oder das gesamte Verkehrsnetz der Agglomeration Freiburg zu nutzen. Ein PRT/GRT-Verkehrsnetz weist hauptsächlich folgende Charakteristiken auf :

- Automatische Fahrzeuge (ohne Fahrzeuglenker) von kleiner bis mittlerer Grösse (4<60 Personen), die 24 Stunden (Std.) und 7 Tage zur Verfügung stehen;
- Eine möglichst direkte Verbindung zwischen der Abfahrts- und Zielstation mit einem Minimum an Zwischenhaltestellen und ohne Anschlussverbindungen ², jedoch mit einer Vernetzung aller Verkehrsnetzschlaufen und Netzabzweigungen (Beilage 2);
- Dienstleistung auf Anfrage, Anlegen einer dynamischen Fahrstrecke ³ und die Möglichkeit, die Fahrzeuge zu einem Zug zusammenzuhängen;
- Vorzugsweise ein integrales Verkehrsnetz mit eigenen Fahrspuren, um Konflikte mit anderen Verkehrsarten zu vermeiden und mit Haltestellen, die als Ausweichstellen von der Fahrbahn getrennt sind, damit die anhaltenden Busse überholt werden können (Beilage 2).

Die Studie sollte insbesondere eine Antwort auf folgende Punkte geben:

- Inventar und Evaluation der Systeme, die für einen kommerziellen Einsatz bereit sind und den wichtigsten Kriterien der PRT/GRT-Systeme entsprechen;
- Vorschlag für ein derartiges Verkehrsnetz mit Einschätzung des Nutzungspotenzials und der Kosten (Investitions- und Betriebskosten);
- Kosten-Nutzen-Vergleich des PRT/GRT-Verkehrskonzepts mit konventionellen Stadtverkehrssystemen (Bus, Metro, Strassenbahn oder anderen) für einen identischen Erschliessungsperimeter;
- Opportunität für eine private oder eine öffentlich-private Finanzierung.

Der Agglomerationsrat prüft dessen Eintragung in den Richtplan der Agglomeration.

Begründung

Das PRT/GRT-Verkehrssystem stellt eine neue Form des öffentlichen Gemeinschaftsverkehrs dar, das automatische Elektrofahrzeuge für eine Dienstleistung auf Abruf benutzt. Es bringt einen völlig neuen Ansatz, der sich vom traditionellen, fahrplanbezogenen und auf Umsteigepole zentrierten Verkehrskonzept unterscheidet. Um sich den Unterschied vorzustellen, betrachten Sie bitte die Karte der Verkehrslinien des AP2 (Horizont 2030 - Beilage 2) ⁴, dann vergessen Sie die vorgezeichneten Linien und verwenden nur noch eine Farbe für das gesamte Busnetz und stellen sich vor, dass es von nun möglich ist, alle Haltestellen des Netzes ohne umzusteigen zu erreichen, unabhängig von der Zeit und der Haltestelle, wo Sie im Netz einsteigen. Anstelle der grossen Fahrzeuge, die fahrplanmässig mit einem Takt von 7,5 bis 30 Minuten verkehren und Passagiere mit unterschiedlichen Destinationen zusammenziehen, nutzt das PRT/GRT-System zahlreiche kleine Fahrzeuge, die nach einem bedarfsorientierten Fahrplan verkehren, wobei die Passagiere entsprechend ihrer Destination abgesetzt werden.

Das System lässt sich eher mit einem Aufzug in dem Sinne vergleichen, wo der Passagier eine Bildschirmtastatur benutzt, um ein Fahrzeug herbeizurufen und die gewünschte Haltestelle auszuwählen. Nachdem der Passagier oder die Passagiere das Fahrzeug bestiegen haben, fährt das Fahrzeug direkt zur gewünschten Haltestelle, es sei denn, es werde für das Mitnehmen oder das Absetzen anderer Reisenden herbeigerufen. Ein zentralgelegener Computer koordiniert die Fahrstrecken der Fahrzeuge, um sie in Echtzeit dem Bedarf anzupassen und so den Nutzungsgrad

¹ Übernahme des englischen Begriffs Personal/Group Rapid Transit (PRT/GRT), PRT für Fahrzeuge, die vier bis zehn Passagiere aufnehmen; GRT für Fahrzeuge, die mehr als zehn Personen aufnehmen können. Bis heute wird noch kein Netz in gemischter Form betrieben.

² Une correspondance s'effectue uniquement lorsque le voyageur quitte le réseau TAP/TAG de l'agglomération pour un autre mode de transport (train, bus, voiture, vélo, etc.).

³ Le TAP/TAG circule que lorsqu'il y a des usagers et il génère les itinéraires selon leurs besoins.

⁴ Abbildung 31: Karte der Buslinien (Zeithorizont 2030), Agglomerationsprogramm der 2. Generation, Heft A, Seite 99 oder 94, Abbildung 29 : Plan des ÖV-Konzepts – Sektor Zentrum (Zeithorizont 2030).

und die Fahrzeit zu optimieren.

Mithilfe einer Technologie der Hindernisumgehung können sich gewisse PRT/GRT-Systeme mit dem übrigen Verkehr vermischen (Velofahrer, Fussgänger oder andere Fahrzeuge). Um eine hohe Reisegeschwindigkeit zu garantieren, wird der Betrieb mit eigenen Fahrspuren jedoch bevorzugt.

Dank den kurzen Abständen zwischen den Fahrzeugen und der verhältnismässig hohen Geschwindigkeit, bringen die PRT/GRT-Verkehrssysteme einen schnellen, personalisierten und bedarfsorientierten öffentlichen Verkehr, entsprechend der Haus-zu-Haus-Logik und mit sehr kurzen Wartezeiten. Das Dienstleistungsniveau lässt sich hier sehr stark mit derjenigen eines Automobils vergleichen. Sie stellen umweltfreundliche, effiziente und nachhaltige Verkehrsmittel dar ⁵.

Das PRT/GRT-Konzept stammt aus den Fünfziger Jahren und das erste kommerzielle System dieser Art wurde im Jahre 1975 auf dem Campus der West Virginia University (USA) eingeweiht. Seitdem wurden zahlreiche Projekte ausgearbeitet und Prototypen entwickelt, wobei aus wirtschaftlichen, politischen und technologischen Gründen jedoch nur wenige eine konkrete Verwirklichung fanden. Zu Beginn dieses Jahrhunderts haben jedoch verschiedene PRT/GRT-Systeme den Reifegrad und ein kommerziell ausreichendes Rentabilitätspotenzial erreicht. Seit 2008 erschliesst ein PRT den Rivium Business Park in Rotterdam (NL). Ende 2010 wurde ein PRT-Netz in den Vereinigten Arabischen Staaten, in der Ökostadt Masdar, in Betrieb genommen. Wenige Monate später hat der Flughafen Heathrow (GB) sein PRT-Netz eingeweiht. Im selben Jahr wurde auch ein PRT-System im Naturpark von Suncheon Bay (Korea) in Betrieb genommen, während die Stadt Amritsar (Indien) einen Offertenauftrag für ein PRT-Netz von 8 Km erlassen hat, das ab 2016 bis zu 100'000 Passagiere/pro Tag mit ~200 Fahrzeugen befördern wird (Beilage 1).

Die Studien über das Potenzial der PRT/GRT-Verkehrssysteme sind zahlreich, besonders auch im Rahmen eines von der Europäischen Union unterstützten Forschungsprogramms. Bei einer Geschwindigkeit von 40 bis maximal 70 km/h präsentiert sich das PRT/GRT-System als eine Lösung für kurze Strecken unter 10 km ⁶; für längere Distanzen ist ein schnelleres Verkehrsnetz wie das S-Bahnnetz RER vorzuziehen. Für kleine bis mittelgrosse Städte eignet sich das System besonders für stadtinterne Verbindungen von und zum Stadtzentrum oder zu den Vororten, aber auch ortsintern für Verbindungen in einem Vorort oder Verbindungen unter Vororten sowie für Zubringerlinien von einem Parking oder einem grossen Verkehrserzeuger zu einem schnelleren öffentlichen Verkehrsangebot ⁷.

Die Studien kommen ebenfalls zum Schluss, dass PRT/GRT-Verkehrssysteme:

- preisgünstiger zu bauen und zu betreiben sind als die konventionell gesteuerten Verkehrsformen;
- ihre Betriebskosten rasch decken und eine ausreichende Rendite bieten könnten, um die meisten oder gar die gesamten Investitionskosten zu begleichen;
- eine Dienstleistung anbieten, die derjenigen des konventionellen öffentlichen Verkehrs überlegen ist;
- vom Publikum gut aufgenommen werden, sei von Benutzern des ÖV wie auch des MIV;
- die Erschliessung der Städte für ältere Generation oder behinderte Personen verbessern;
- das Stadtbild potenziell verbessern können, ausländische Investoren anziehen und den wirtschaftlichen Wert von Grundstücken und Räumlichkeiten erhöhen können;
- einen positiven Rentabilitätssatz für Investitionen im Bereich des sozialen Kosten-Nutzen-Verhältnisses bieten.

Trotzdem die PRT/GRT-Systeme attraktiver sind als der konventionelle öffentliche Verkehr, könne sie gewisse Risiken nicht ausschliessen, da gegenwärtig noch kein solches Verkehrsnetz auf Ebene einer Stadt existiert ⁸. Die Masse der PRT/GRT-Fahrzeuge liegen im Allgemeinen bei einer Breite von 1.45 bis 2.10 m, einer Höhe von 1.8 bis 2.75 m und einer Länge weniger als 10 m. Die notwendige Fahrspurbreite liegt zwischen 4 bis 6 m oder zwischen 1,75 bis 2.5 m Breite für eine einzige Fahrspur ⁹. Eine Höhe unter 3 m und ein minimaler Kurvenradius von 5 m gestattet es leicht, ein derartiges System in einem Gebäude unterzubringen. Die geringen Aussenmasse der Fahrzeuge sind ebenfalls ein Vorteil für eine unterirdische Bauweise. Das Gewicht der PRT/GRT-Fahrzeuge gestattet auch eine leichtere Infrastruktur als für den klassisch gesteuerten Verkehr, verbunden mit einem potenziellen Zeitgewinn für den Bau und die Ausstattung der vorgefertigten Fahrzeugmodule. PRT/GRT-Fahrzeuge können ohne Leistungsverlust Steigungen bis zu 10 % überwinden.

Im Vergleich dazu beträgt die Breite einer Strassenbahn zwischen 2.3 und 2.65 m, während diejenige eines Busses/Trolleybusses von mehr als 10 m Länge einheitlich bei 2.55 m liegt. Ein doppeltes Strassenbahntrasse benötigt einen Fahrspurplatzbedarf von insgesamt mindestens 5.8 m Breite, der "standardmässige" Platzbedarf liegt jedoch bei 6.7 bis 7.1 m, ähnlich wie für Busse mit eigener

⁵ Innovative Konzepte im Bereich des Stadtverkehrs, NICHES+, Seiten 24 bis 26 "Hauptkriterien"

⁶ Mit einer Reisegeschwindigkeit von 25 km/h. benötigt man eine Fahrzeit von 24 Minuten für eine Distanz von 10 km.

⁷ Advanced Transport for the Urban Environment – Final Brochure (November 2011), CityMobil, Seiten 8-9 und 24.

⁸ Evaluation and Demonstration of Innovative City Transport - Final Report (2004), EDICT, Seite 35

⁹ Der zusätzliche punktuelle Platzbedarf für die Haltestellen hängt vom jeweiligen architektonischen Konzept ab.

Fahrspur. Für eine einfache Spur beträgt der Platzbedarf zwischen 3 und 4 m. Die Grösse eines Metros (Abk. für Metropolitan Railroad) ist im Allgemeinen gleich gross oder noch grösser als diejenige einer Strassenbahn. Die Länge eines Busses liegt zwischen 12 und 24.5 m; Metro- und Strassenbahnkompositionen erreichen im Allgemeinen eine Länge von mehr als 30 m, die in der Stadt hauptsächlich durch städteplanerische Integrationsbedürfnisse begrenzt werden¹⁰. Die Busse, Metros und Strassenbahnen besitzen meistens eine Höhe von über 3 m¹¹ und benötigen einen minimalen Kurvenradius von mehr als 10 m. Eine Strassenbahn bewältigt Steigungen von bis zu 7 %, ein Bus oder eine auf Gummireifen rollende Metro bis zu 12 %, manchmal mit einem Leistungsabfall, wie z. B. die Metro von Lausanne.

Trotz der geringen Abmessungen kann ein PRT/GRT-Fahrzeug je nach System theoretisch bis zu 10'000 Passagiere/pro Stunde und Fahrrichtung (Pass/Std./pro Fahrrichtung) befördern. Die Herstellerangaben sind jedoch meistens zu optimistisch ausgelegt, den in der Praxis kann schätzungsweise nur ein maximales Leistungsniveau von 5'000 bis 6'000 Pass/Std./pro Fahrrichtung erreicht werden, was der Leistung des Lausanner Metros oder einer Strassenbahn gleichkommt. Diese Beförderungskapazität ist aber nur dank der ausserhalb der Hauptfahrbahn liegenden Haltestellen, die ein Überholen der stehenden Fahrzeuge erlauben und eine automatisch geregelte Fahrzeugfolge von weniger bis zu >3 Sek. zwischen zwei sich folgenden Fahrzeugen ermöglichen. Schwierig ist es, die Rentabilitätsschwelle zu errechnen, bei der die PRT/GRT-Systeme wirtschaftlich rentabel genutzt werden können; ein Hersteller schätzt diese Werte auf 1'500 Passagiere./pro Std. und 500 Std.¹²

Studien belegen, dass eine Buslinie einen Beförderungsbedarf von 2'000 Pass/Std./pro Fahrrichtung bewältigen kann. Bei einer Strassenbahn bewegt sich diese Option ab 20'000 Pass/pro Std. (>1'000/Std.)¹³. Die Experten jedoch schätzen diesen Wert auf 40'000 Pass/pro Tag (>2'100/Std.), um einen Bus durch eine Strassenbahn oder einer leichten Metro zu ersetzen¹⁴. Eine schwere Metro ist erst ab 100'000 Pass/pro Tag (>5'200 Std.)^{15/16} geeignet; eine gummiereifte Metro jedoch wäre eine Lösung für Steigungen von über >7 %, die für Schienenfahrzeuge nicht geeignet sind (Stahlräder auf Stahlgeleisen).

Im Jahre 2009 haben die 7 Linien des städtischen ÖV-Netzes der Agglomeration Freiburg 14,5 Mio. Passagiere befördert (~39'725/pro Tag, ~2'090/pro Std.); die Linien 1, 2 und 5 beförderten 10 Mio. Passagiere (~27'400/pro Tag, ~1'440/pro Std.). Mit 3.9 Mio. Passagiere (~10'685/pro Tag, ~560/pro Std.)¹⁷ ist die Linie 2 die am meisten beanspruchte Linie. Im Jahre 2011 beförderte das Verkehrsnetz insgesamt 15.31 Mio. Passagiere (~41'945/pro Tag oder ~2'210 pro Std.).^{18/19/20}

Man kann dabei feststellen, dass keine Linie eine ausreichende Auslastung erreicht, die eine Verwirklichung einer Strassenbahn- oder Metrolinie rechtfertigen würde. Zudem legen die grossen Passagierkapazitäten der Strassenbahn- und Metrokompositionen nahe, dass die Fahrplanzeiten weit höher ausfallen würden, als in der gegenwärtigen Situation, womit sich auch die Leistungsqualität insbesondere durch die Verlängerung der mittleren Wartezeiten verschlechtert²¹. Für unsere Agglomeration hingegen präsentiert sich das PRT/GRT-Verkehrssystem als vorteilhafte Alternative für die Hauptbuslinien, in Ergänzung der im AP2 vorgesehenen Eisenbahnstruktur. Es bietet kurze Wartezeiten, sogar während den schwachen Verkehrszeiten und erlaubt, die Anschlussknotenpunkte wie z. B. den Bahnhof Freiburg zu entlasten und den Passagierfluss zwischen zwei Linien des städtischen Verkehrsnetzes aufzuheben. Es würde auch in denjenigen Agglomerationszonen eine hohe Leistungsqualität garantieren, wo der Bedarf keine fahrplanmässige Busleistung von 7.5 bis 15 Min., erfordert.

Man schätzt die Investitionskosten für ein PRT/GRT-Verkehrsnetz etwa auf die Hälfte der Kosten, die für ein gleichwertiges Strassenbahnprojekt notwendig sind, mit einem ähnlichen Kapazitätspotenzial. Gemäss den lokalen Besonderheiten und Systeme kosten die unterschiedlichen Infrastrukturen zwischen 7 und 30 Mio. CHF/pro km²². Die Infrastrukturen pro km für eine buseigene Fahrspur wird

¹⁰ Bericht Nr. 121 des Staatsrates zuhanden des Grossen Rates in Antwort auf das Postulat Nr. 303.05, 27.01.2009, Seiten und 4

¹¹ Bis zu 6.65 m Höhe sind notwendig für die Speisung über eine elektrische Oberlinie.

¹² Herstellerangaben 2getthere B.V., www.2getthere.eu/?page_id=58, www.2getthere.eu/?page_id=60

¹³ Le tram : un moyen de transport d'avenir, LITRA News 29.01.2008

¹⁴ Les réseaux de bus à haut niveau de service, Prix LITRA Publications 01 2012, page 9-10

¹⁵ De nombreux obstacles parsèment le chemin du métro fribourgeois, journal Le Temps du 24 août 2010

¹⁶ Quels sont les moyens de transport appropriés pour desservir les agglomérations?, LITRA News 24.03.2009

¹⁷ Abbildung 79: Fréquentation par lignes du réseau TP urbain, Projet d'agglomération 2^{ème} génération, Fascicule D, page 269

¹⁸ Geschäftsbericht der Freiburgerischen Verkehrsbetriebe (TPF) 2011, Seite 28

¹⁹ Die ungleiche Verteilung des Verkehrs während der Woche und während des Tages ist hier nicht berücksichtigt. Die zeitlichen Nutzungswerte wurden aus der Teilung der jährlichen Passagierzahlen durch 365 Tage à 19 Std. berechnet.

²⁰ Kapazitäten und Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme in schweizerischen Agglomerationen (2005), Peter, R., Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT, ETH Zürich, S. 14-17

²¹ Bericht Nr.121 des Staatsrats zuhanden des Grossen Rates in Antwort auf das Postulat Nr. 303.05, 27.01.2009, S.4&5

auf CHF 2-25 Mio.^{23/24} geschätzt, jedoch auf CHF 25-70 Mio.²⁵ für eine Strassenbahn oder eine leichte Metro, auf CHF 25-150 Mio. für eine schwere Metro²⁶.

Die Betriebskosten für ein PRT/GRT-Verkehrsnetz werden tiefer eingestuft als diejenigen eines konventionellen Busnetzes²⁷. Sie wurden im Verlaufe des CityMobil-Projekts und aufgrund der repräsentativen Kosten für mehrere Systemvarianten bei einem Betrieb von 24 Std. und 7 Tagen die Woche berechnet. Zwei Formeln werden vorgeschlagen, um die Betriebskosten einzuschätzen. Die eine gilt für das PRT-System, die andere für das GRT-System; sie beziehen sich auf die Grundkosten (Personalkosten inbegriffen) für eine Linie von 5 km und 25 PRT-Fahrzeuge bzw. 10 GRT-Fahrzeuge sowie auf die Infrastruktur- und Personalkosten für zusätzliche km und Fahrzeuge :

$$\text{PRT } 1'600+67*(L-5)+11*(N-25)= x \text{ K€ pro Jahr}$$

$$\text{GRT } 1'150+37*(L-5)+46*(N-10)= x \text{ K€ pro Jahr}$$

L bezeichnet die Länge einer einfachen Fahrspur (in km) und N die Anzahl Fahrzeuge.

Auch wenn die PRT/GRT-Systeme ähnlich hohe Kosten wie für ein Bussystem bei hoher Leistung darstellten, wird die Kosten-Nutzen-Rate mit 2.4 für das PRT-System und 2,48 für das GRT-System empfindlich höher eingeschätzt als für den Bus mit einer Rate von 1.7^{28/29}.

In 40 Jahre hat die Technologie die Leistungsfähigkeit der PRT/GRT-Systeme verbessert und kann sich der Einführung dieser Systeme nicht mehr widersetzen. Dieses Konzept besitzt zudem ein innovatives High Tech-Image, das die strategischen Entwicklungsschwerpunkte der Agglomeration aufwerten könnte. Es bringt auch eine ideale Lösung für die Städte, die ein Leistungsnetz wünschen, das demjenigen des Busses überlegen ist und wo die Auslastung nicht den Bau einer Strassenbahnstrecke rechtfertigt. Die Finanzierung kann sich wie eine Bremse auswirken, wenn eine PRT/GRT-Lösung aber nicht finanzierbar ist, dann trifft dies erst recht für eine Strassenbahn- oder Metroinfrastruktur zu. Das hohe Rentabilitätspotenzial dieser Systeme erlaubt, eine private oder öffentlich-private Finanzierung ins Auge zu fassen, gemessen am Beispiel eines Metroprojekts in Luzern. Die Zertifizierung dieser Verkehrssysteme durch die Behörden ist ein Hindernis, das nicht unterschätzt werden darf; aber die heutige Herausforderung besteht darin, Sie zu überzeugen, das Potenzial der PRT/GRT-Verkehrssysteme zu beurteilen und deren Entwicklung in der Agglomeration zu prüfen. Sie werden vielleicht denken, dass dieses Postulat nur einen Nachtrag zum Postulat darstellt, das die Prüfung der Machbarkeit einer Metro- oder Strassenbahnlinie zwischen dem Bahnhof Freiburg und Marly verlangt und am 23. Mai 2013 überwiesen wurde, was jedoch nicht der Fall ist. Die Begriffe PRT/GRT definieren ein Betriebskonzept für ein öffentliches Verkehrsnetz unabhängig von der Strasse, von der Eisenbahn oder von einem Transportkabel. Das PRT/GRT-Konzept allein nur für einen Verkehrskorridor (wie z. B. Bahnhof vom Freiburg nach Marly) zu prüfen, ist nicht von grossem Interesse. Um das Gesamtpotenzial dieser Systeme für unsere Agglomeration beurteilen zu können, ist es notwendig mindestens ein Verkehrsnetz zu analysieren, das die drei strukturierenden städtischen Verkehrsachsen sowie deren Verlängerungen umfasst. Das PRT/GRT-Konzept ist für viele Personen verhältnismässig unbekannt, Verkehrsplaner inbegriffen. Dabei würde es sich rechtfertigen, die Forschungszentren, die Dachorganisationen der Hersteller und die Zertifikationsbehörden von Beginn der Studie in die Arbeiten einzubinden.

Freiburg, den 2. Juli 2013

Informationsquellen

- CityMobil Project, Forschungs-, Entwicklungs- und Präsentationsprogramm für die Integration intelligenter und automatischer Verkehrssysteme in das abgeschlossene städtische Umfeld im Jahre 2011(en): www.citymobil-project.eu
- NICHES+ - Forschungsprogramm für einen innovativen, effizienten und rentablen Stadtverkehr 2008-2011, (en): www.niches-transport.org, oder OSMOSE - Informations-Webseite zu NICHES+, (en) www.osmose-os.org, oder POLIS - Europäische Stadt- und Ortsnetze für innovative Verkehrslösungen (en) www.polisnetwork.eu
- Artikel Wikipedia zum PRT/GRT-Verkehrssystem, fr.wikipedia.org/wiki/Personal_Rapid_Transit, (de) de.wikipedia.org/wiki/Personal_Rapid_Transit, (en) en.wikipedia.org/wiki/Personal_Rapid_Transit
- Innovative Transportation Technologies, University Washington, (en) faculty.washington.edu/jbs/itrans/
- Advanced Transit Association and Industry Group, Förderungsverband und Dachorganisation der PRT/GRT-Hersteller, (en) www.advancedtransit.org et www.advancedtransit.net
- Advice Note for Promoters Considering Personal Rapid Transit Juliet 2012, UK Tram, (en) www.uktram.co.uk
- The unrealized potential of Personal Rapid Transit, Network Industries quarterly, Vol. 14, n°1, 2012, (en)

²² In den Infrastrukturkosten ist der Bau der Verkehrsstrecken und Haltestellen, das Rollmaterial sowie die Betriebseinrichtungen (Einstellhallen, Kontrollsysteme, Energieversorgung, usw. eingeschlossen). Ein PRT/GRT-Fahrzeug kostet je nach System und Grösse zwischen CHF 100'000 und CHF 600'000.

²³ In d Bericht Nr. 121 des Staatsrates zuhanden des Grossen Rates in Antwort auf das Postulat Nr. 303.05, 27.01.2009, S.4

²⁴ Première étape du "réseau-t" à Lausanne, RTSinfo, 21.03.2012

²⁵ Gutachten zur Überprüfung der Zweckmässigkeit und der Kosten des Trams der Region Bern-West, Seiten 55-57








²⁶ De nombreux obstacles parsément le chemin du métro fribourgeois, Le Temps, 24.08.2010

²⁷ Des concepts innovants en matière de transports urbains, NICHES+, Seiten 24 bis 26 "Bonnes pratiques"














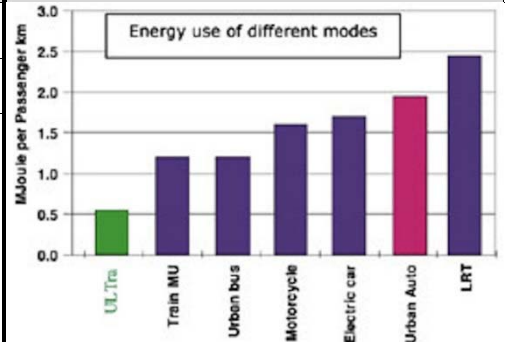
²⁸ Guidelines for implementers of Personal Rapid Transit (juin 2010), NICHES+, Seite 4

²⁹ Guidelines for implementers of Group Rapid Transit (juin 2010), NICHES+, Seiten 3-4

Beilage 1

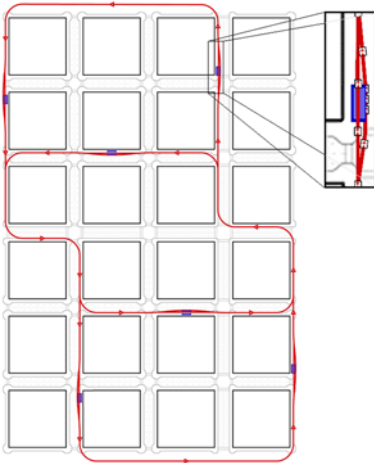
Exemples de système TAP/TAG en service ou en construction						Systèmes guidés conventionnels	
Nom, localisation	West Virginia University PRT, USA 	Rivium Business Park Shuttle, Pays-Bas 	Masdar City PRT, Émirats arabes unis 	Heathrow Airport Pod, Royaume-Uni 	Suncheon Wetlands PRT, Corée du sud 	Tram Bern West, Suisse 	M2 Lausanne, Suisse 
Type	TAG	TAG	TAP	TAP	TAP (mixte TAP/TAG en projet)	Tramway Combino Bern	Métro automatique sur pneus
Fournisseurs	Boeing Aerospace www.boeing.com	2getthere www.2getthere.eu	2getthere www.2getthere.eu	ULTRA ultraglobalprt.com	Vectus (POSCO) www.vectusprt.com	Siemens mobility www.siemens.ch	Alstom Transport www.alstom.com
Mise en service	étape I 1975, II 1979	étape I 1999, II 2008	28 novembre 2010	mai 2011	été-automne 2013	12 décembre 2010	27 octobre 2008
Réseau	5.8 km (14 km voie unique), site propre intégral au sol ou en viaduc	1.8 km voie double, site propre au sol et passages à niveau avec autres trafic	1.7 km voie unique, site propre intégral dans les souterrains de la ville	3.8 km voie unique, site propre intégral au sol, en viaduc et dans les bâtiments	4.6 km voie double, site propre intégral en viaduc	6.8 km voie double au sol dont 2km en site propre intégral	5.9 km voie double, site propre jntégral en souterrain (90%) et au sol
Stations	5, hors de la voie de circulation	5, sur la voie de circulation	5 dont 3 frets, hors de la voie de circulation	3 hors de la voie de circulation	2 sur la voie de circulation	19 sur la voie de circulation	14 sur la voie de circulation
Véhicules	73, <20 passagers	6, <22 passagers	3 fret + 10, <4 pax	21, <4 passagers	40, <6-8 passagers	12, <227 passagers	15, <222 passagers
Capacité (pphpd)	<4'800	<500	<200	<656	<1'313 pphpd	<2'270	<4'440
Voyageurs/jour	~15'000	>2'500	~650	~800	-	~68'500 en 2011	~73'775 en 2012
Mode d'exploitation	à la demande, selon horaire Hpointe	à la demande, selon horaire Hpointe	à la demande	à la demande	à la demande	selon horaire, cadence 6 min	selon horaire, cadence 3 min
Investissement [millions]	(1975) \$ 130 y.c. R&D = (2012) ~ \$ 530 (~ CHF 490)	-	investisseurs privés	£ 30 y.c. R&D (~CHF 43) £ 17 pour reproduire	investisseurs privés	CHF 152.8 sans matériel roulant et dépôt	CHF 736
Coût CHF/Km	~ 35 M° y.c R&D	-	-	~7 M° sans R&D	-	~CHF 26 M°	~CHF 125 M°
Coût exploitation	~\$ 3.4 M° (2004)	~€0.55M°(estimation)	-	~€2.5 M° (estimation)	-	-	-
Fiabilité du système	>98%	>99%	>99.4%	~99.7%	-	-	99.63% en 2011
Avantages client	meilleure desserte et qualité de service que le bus antérieur	temps de trajet divisé par 2, intervalles de passage ~2.5 min contre 12 min bus	temps de trajet et d'attente réduits, voyage en petit groupe (intimité)	attente <1 min, 22h/7j trajet direct en 6 min contre 18 min pour le bus antérieur	meilleure stabilité horaire et service à la demande 24h/7j pour trajet en petit groupe	meilleure stabilité horaire et plus de places que le bus	axe fort entre le bas et le haut de la ville plus rapide que le système antérieur
Avantages exploitant	exploitation plus flexible que les bus-navettes, réduction de la pollution.	meilleur service pour coûts d'exploitation similaire au bus, circule uniquement selon la demande	rentable dès 1'500 passagers/jour, pas de gaz polluants émis sur site	petit gabarit pour intégration dans les bâtiments, utilise 50% moins d'énergie que le bus	réduction du trafic automobile / bus en zones protégées	réduction coûts d'exploitation en augmentant les intervalles de passage	réduction coûts d'exploitation et augmentation utilisation réseau TP
Remarque	étude de rénovation ou de remplacement du système en cours.	concession prolongée jusqu'en 2016, étude d'extension du réseau et de la capacité		projet d'extension du réseau de l'aéroport		intervalle de passage augmenté de 6 à 7.5 min en avril 2013 par mesure d'économie	plus petite ville du monde équipée d'un métro, la topographie a influencée le choix
R&D = Recherche et Développement							

Principaux aspects du système							
Support du véhicule	pneumatique / voie asphalté ou acier	pneumatique / voie asphalté	pneu semi-solide / voie asphalté	pneumatique / voie asphalté ou acier	roue faible friction polymère / rail acier	roue acier / rail acier	pneumatique / rail acier
Guidage du véhicule	roues horizontales de guidage contre rails latéraux	navigation estimée avec des marqueurs magnétiques de référence		pilotage électronique référencé par bordure		captif à rail acier, commande par conducteur	roues horizontales de guidage contre rails latéraux
							
Alimentation énergie	Electrique, captage courant par rail latéral protégé	Batteries, recharge automatique en station		Batteries, recharge automatique en station ou en ligne	Electrique, captage courant par rail latéral protégé	Electrique, captage par ligne aérienne de contact	Electrique, captage courant par rail latéral protégé
Motorisation	Moteur entraînant les roues	Moteur entraînant les roues		Moteur entraînant les roues	Moteur linéaire à induction	Moteur entraînant les roues	Moteur entraînant les roues
Spécifications véhicules							
Dimension véhicule long*larg*haut [mm]	4'725*2'032*2'667	<6'000*2'100*2'750	3'920*1'460*2'010	3'700*1'470*1'800	TAP3'740*2'100*2'500 TAG7'500*2'100*2500	<41'450*2'300*3'830	30'680*2'450*3'470
Passagers/véhicule	<20 (8 assis)	<25 (12 assis)	4 assis ou véhicule fret 1'600 kg	4 assis	TAP <14 (6-8 assis) TAG <60	175-233 (59-80 assis)	222 (62 assis)
							
Accès handicapés	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Poids à vide et (maximum) [kg]	3'969	-	1'400 (2'050)	850 (1'300)	TAP 1'500 (2'500)	36'000-49'800 (56'000-66'400)	57'318 (72'856)
Caractéristiques de performance							
Vitesse	<50 km/h	<40 km/h		<40 km/h	<70 km/h	<70 km/h	<60 km/h
Intervalle min. (projeté)	15 sec.	10 sec.	5 sec. (2 sec.)	6 sec. (2 sec.)	TAP >3 sec. (TAG >10 sec.)	-	120 sec.
Capacité (projetée) passagers par heure et direction	<4'800	<8'000	<2'880 (<7'200)	<2'400 (<7'200)	TAP <7'200 / <10'000 avec debout (TAG >10'000)	<4'540 avec intervalle de 3 min	<6660 avec intervalle de 2 min
							
Routage dynamique	oui	oui	oui	en station	oui	non	non
Détection obstacle	-	avant-arrière		avant-arrière (projet)	en option	non	non
Ecart quai [mm]	-	-	<30	<20	<30	>70	-
Seuil quai [mm]	-	-	<10	<10	<10	±30	-

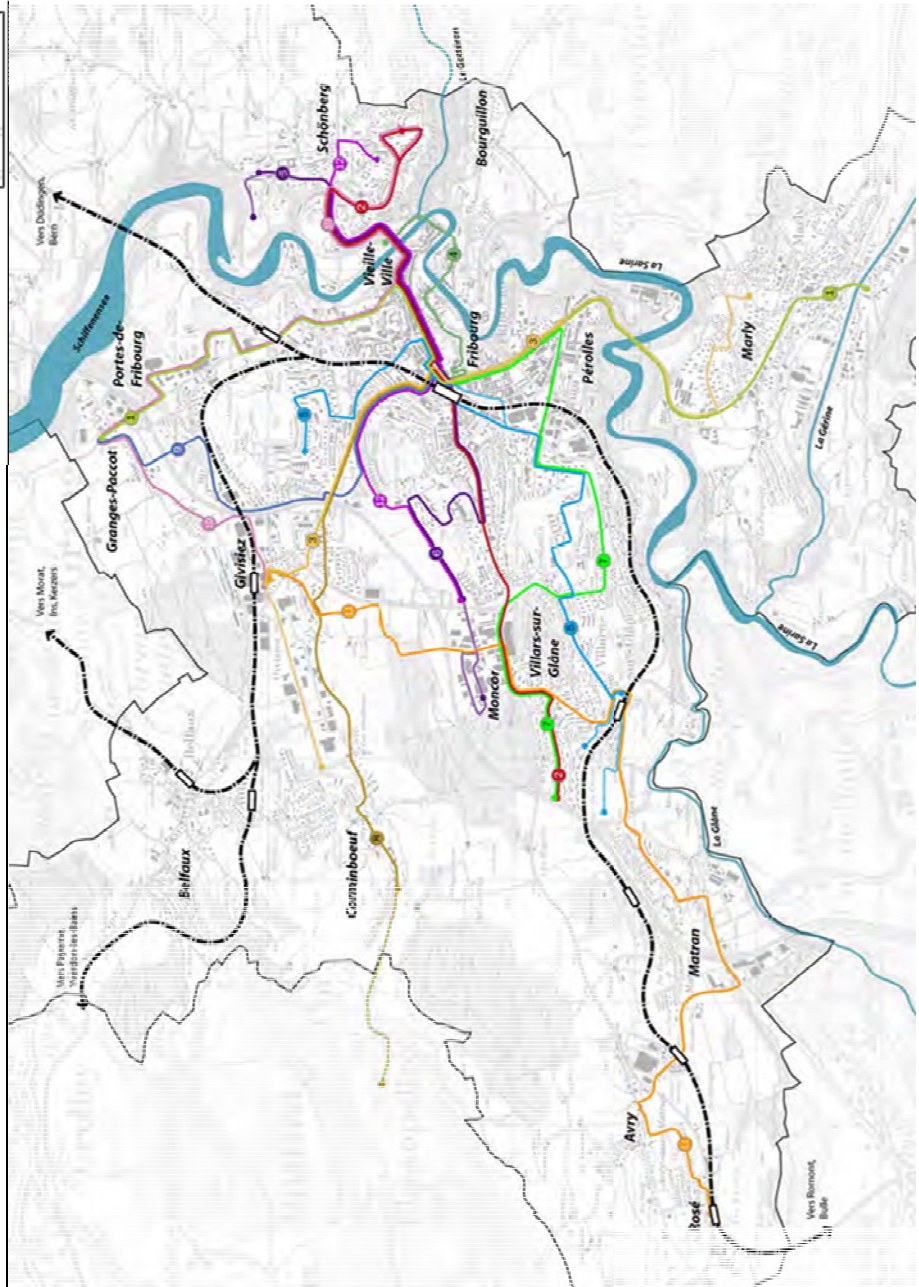
Infrastructure							
Largeur voie au sol / en viaduc [mm]	-	2'500, 6'000 voies doubles	1'750 / 1'850 sans trottoir latéral	1'750 / 2'100	1'400 écartement voie	1'000 écartement voie	1'435 écartement voie
Gabarit véhicule et voie larg*haut [mm]	-	2'500<6'000 * 2'750	1'750 / 1'850 * 2'300 sans trottoir latéral	1'750 / 2'100 * 2'000	2'100 * 2'500	>2'600 * >4'500	>2'500 * >3'600
							
Rayon de courbe minimum [m]	-	12-15	5.5	5	5	>14.5	-
Pente maximale	<10 %	<10 %	<10 %	<10 %	<10 %	<7%	<12%
Concept des stations	situé hors voie de circulation, quai linéaire	situé hors ou sur voie de circulation, quai linéaire ou en angle	situé hors voie de circulation, quai linéaire ou en angle	situé hors voie de circulation, quai linéaire ou en angle	situé hors ou sur voie de circulation, quai linéaire	situé sur voie de circulation, quai linéaire	situé sur voie de circulation, quai linéaire
							
Débit max. véhicules / h et section de quai	-	-	<120	<120	TAP 160-200	<40 intervalle 90 sec.	<30
Longueur de quai par véhicule [m]	-	-	4.3 à 30°	3.2	TAP 4.5, TAG 9	>42	>30
Consommation énergétique							
Véhicule à 30 km/h (vide) en kWh/km	-	-	0.17	0.09	TAP 0.23		
Véhicule à 30 km/h (plein) en kWh/km	-	-	0.19	0.13	TAP 0.24		
Equivalent carbone, 30km/h plein, et 0.545 kg CO2/kWh	-	-	0.023	0.018	TAP 0.022		

Les données ont une valeur indicative. Elles sont compilées à la base de diverses sources disponible sur internet (documents fournisseurs/exploitants, études et publications spécialisées).

• Beilage 2



Vereinfachte Darstellung eines PRT/GRT-Netzes. Die blauen Rechtecke zeigen die Stationen an, die breite rote Strecke stellt die Umfahrungsspur einer Station dar. (Wikipedia.org)



Linienplan (Horizont 2030), Agglomerationsprogramm der 2. Generation



Beispiel der Integration eines PRT/GRT-Systems über einem Bahnhofperron

Illustration : WSP Group