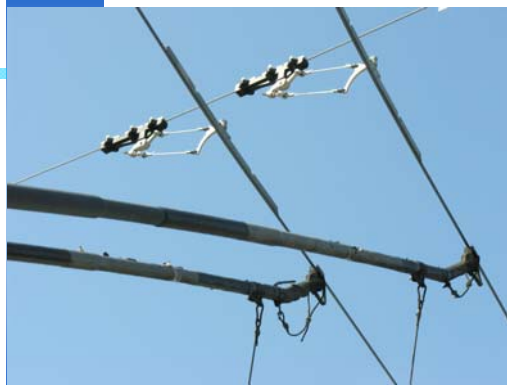


Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport

Moderne Fahrleitungssysteme für Trolleybusse

Dr. Rolf Martin Bergmaier
BINARY Consultants Pty Ltd
Waverton NSW



Ausgangslage

Fahrleitungen für Trolleybusse sind ein jahrzehntelang erprobtes und zuverlässiges System!

- geeignete Wahl des erforderlichen Materials
- korrekte Planung und Montage



Anforderungen an die Fahrleitung

Technische Aspekte

- kontinuierliche **elektrische** Leistungsübertragung
- Resistenz gegenüber **mechanischen** Belastungen
- Betriebssicherheit und Verfügbarkeit
- konstante gleichmässige Stromabnehmerauflage ohne Springen
- Isolation zur Wahrung der Sicherheit sowie gegen Korrosion.

Technische Auslegung bestimmt durch:

- Sicherheitsstandards
- Strombedarf
- Streckenverlauf
- maximal fahrbare Geschwindigkeit
- klimatische Umstände
- Nutzbarmachung der zurückgeführten Energie.



Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport

Anforderungen an die Fahrleitung

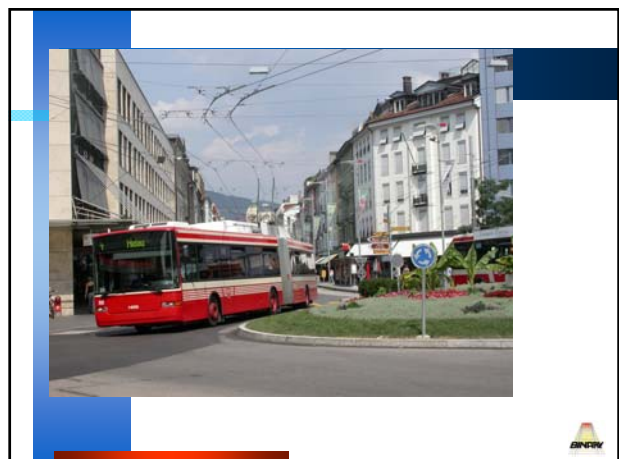
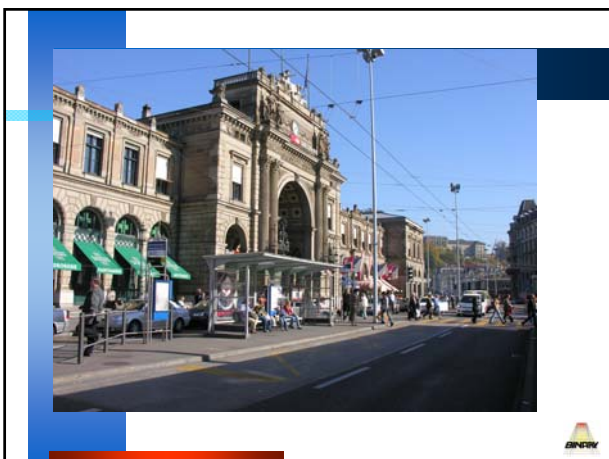
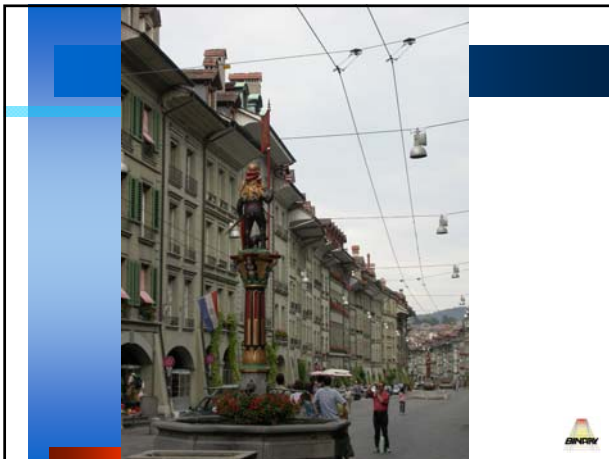
Betriebliche Aspekte

- Ausnutzen v max, auch bei thermischer Dehnung des Fahrdrahtes
- Minimale betriebliche Einschränkungen beim Passieren von Weichen Streckentrenner und Kreuzungen
- Minimieren Entgleisungen infolge von Defekten an Stromabnehmer-Schleifkontakten und Fahrleitung

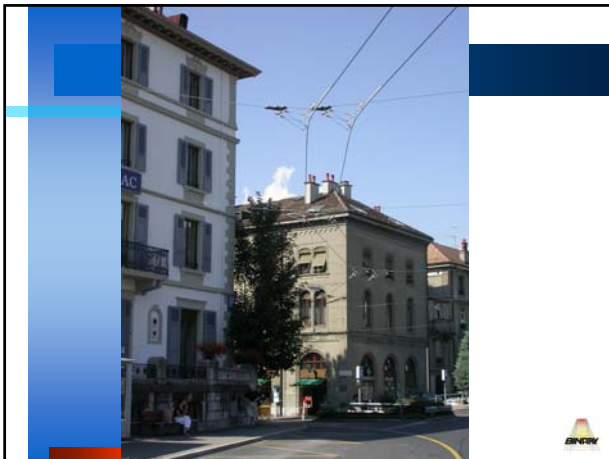
Gestalterische Aspekte

- Geringe Auffälligkeit der FL-Bauweise im Stadtbild bezüglich Anzahl und Anordnung der Drähte im Luftraum und der Masten respektive Querspanner und Mauerhaken

➤ Einfache Grundkonstruktion in möglichst horizontaler Ausprägung - zB Einfachfahrleitung



Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport



Anforderungen an die Fahrleitung

Wirtschaftlichkeit

- Minimieren Anzahl Masten + Fundamente – falls möglich, in Kombination mit der Strassenbeleuchtung
- Minimaler elektrischer Verschleiss!



Fahrleitungs-Systeme & Lösungen

- Wichtig: gleichförmige Elastizität zur gleichmässigen Bestreichung durch den Trolleybus-Schuh
- Je grösser der Durchhang zwischen zwei Stützpunkten – je grösser der Mastabstand – desto grösser der Verschleiss
- Je kleiner der Mastabstand, desto geringer Zugspannung auf den Tragwerken, desto kleiner und damit unauffälliger die Masten
- Je einfacher mechanische Grundkonstruktion der FL-Bauweise, je leichter die FL und geschickter deren Geometrie, desto geringer die Beeinträchtigung des Stadtbildes.

Vollelastische FL in Geraden

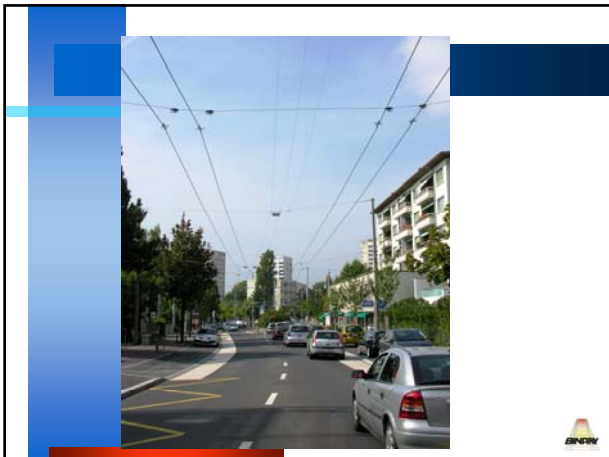
Fahrdraht im Zick Zack mit einem geringen Winkel
> Vollelastische Eigenschaft FL-System

- Aufhängung Fahrdraht am Stützpunkt mit Pendel
- Pendel nimmt – entsprechend dem Gewicht von Fahrdraht in Abhängigkeit der Spannweite, der Zugspannung und dem Fahrdrahtwinkel des Zick Zacks – eine gewisse Schräglage ein.

Überlegenheit der elastischen Fahrdrahtaufhängung: Auf- und Abschwngen der pendelnden Stützpunkte und Möglichkeit von horizontalen Längsbewegungen in Abhängigkeit des Anpressdruckes der Stromabnehmer.



Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport

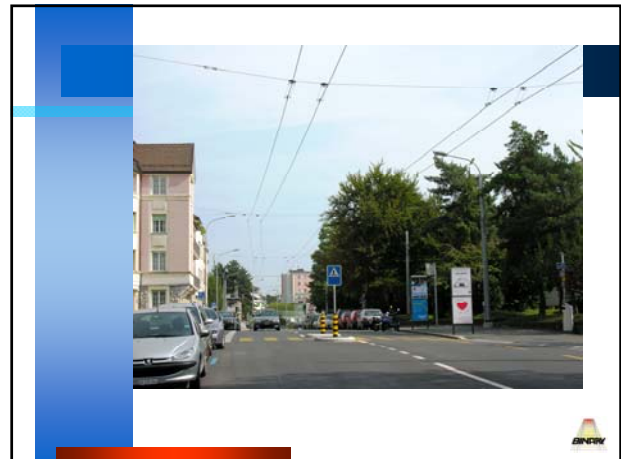


Vollelastische FL in Geraden (2)

- Wird Fahrdrabt durch Stromabnehmer-Schuh beschliffen > Fahrdrabt aus Ruhelage in die Arbeitslage
- Höhendifferenz zwischen beiden Lagen ist in der Mitte der Spannweite am grössten, am Stützpunkt am kleinsten
- Abhängigkeit vom Anpressdruck des Kontaktes und von Spannweite, der spezifischen Zugspannung des Fahrdrabtes, des Fahrdrabtquerschnittes respektive - gewichtes und von der Fahrgeschwindigkeit
- Bewegt sich Kontakt auf Stützpunkt zu, so übernimmt dessen Anpressdruck einen immer grösseren Teil des Gewichtes der Fahrleitung
- Fahrdrabt auch am Stützpunkt angehoben und das Pendel stellt sich flacher
- > Aufprall des Schleifstückes wird am Stützpunkt elastisch abgefangen und der konstante Anpressdruck des Stromabnehmers bleibt erhalten.

Vollelastische FL in Geraden (3)

- Nachgiebigkeit des Fahrdrabtes in Aufhängepunkten und Absorbierung von Schlägen infolge gleichmässigem Anpressdruck verhindert Springen des Stromabnehmers:
 - > keine Funkenbildung und Funkstörungen
 - > höhere Betriebssicherheit, Lebensdauer Schleifstücke und Fahrleitung.
- FL-Pendelaufhängung ermöglicht auch horizontale Bewegung des Fahrdrabtes:
 - > Ausgleich Fahrdrabtweite und kein Springen des Stromabnehmers am Stützpunkt
 - > Teilweise Kompensation Zugspannungsdifferenz bei Temperaturschwankungen und Durchhang.

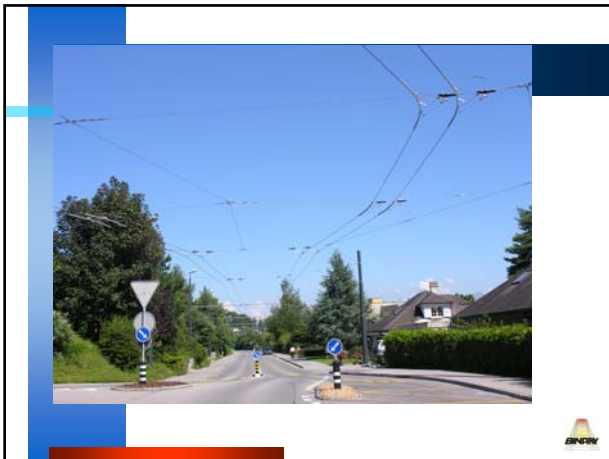


Vollelastische FL in Kurven

- Minimale Zahl an Stützpunkten > Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit
 - Jedoch grosse Fahrdrabtwinkel an den Aufhängepunkten
 - Mittels Verwendung von Kurvenschiene aus Cu-Rohr Verhinderung von Seitenschlägen des Stromabnehmer-Schuhs auf die Fahrleitung und Minimierung von Entdrähtungen
 - Fahrdrabtwinkel entscheidend für Länge der Kurvenschiene
 - Ebenfalls mittels eines Parallelogrammpendels am Querspannerseil aufgehängt.
- Zahl der Abzüge abhängig vom Fahrdrabtwinkel > gleiche elastische Eigenschaften wie Schrägpendel in Geraden
- Montage derart, dass sich parabelförmige Kurve des Fahrdrabtes am Stützpunkt ergibt, damit ist richtiges An- und Abschwelen der auftretenden Zentrifugalkräfte des Stromabnehmer-Schuhs gewährleistet
- Verhinderung von schlagartigen seitlichen Beanspruchungen mit Entdrähtungen.



Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport



Streckentrenner

- Dort, wo zwei Fahrstromkreise aus verschiedenen Speisungen respektive zwei unterschiedliche Sektoren (Unterwerk, Gleichrichter) berühren, ist eine elektrische Trennung der FL-Abschnitte nötig.
- Besonders kritisch, wo Spannungsunterschiede zwischen zwei Abschnitten gross.
- Trenner = Isolationselement, im Fahrdraht eingesetzt:
 - > muss gesamte **mechanische** Zugspannkraft im Fahrdraht aufnehmen
 - > dynamischen Kräften widerstehen, verursacht durch die Stromabnehmer oder Wind / Schnee
 - > **elektrische** Spannungsunterschiede trennen
- Genügend Abstand zwischen den leitenden Teilen > keine Funken oder Lichtbogen – damit Verhinderung von Schäden an Stromabnehmer und FL und keine elektrische Überbrückung.

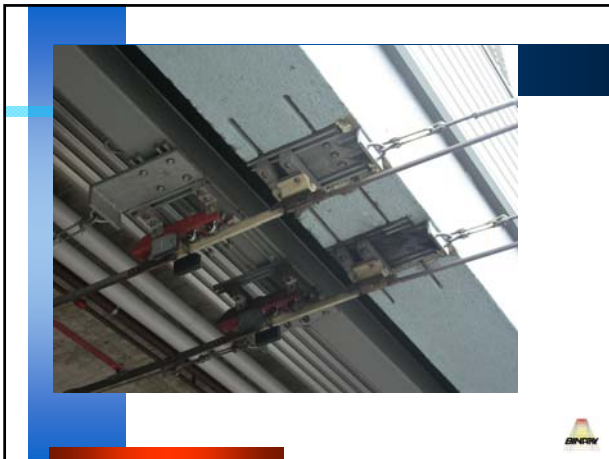


Streckentrenner (2)

- Leitende oder isolierende Gleitelemente > schadloses Befahren des Streckentrenners ohne Senken der Stromabnehmerstangen
 - Dioden: keine Ströme von einem Sektor in den anderen, jederzeit mit voller Leistungsaufnahme befahrbar
 - Dioden so zu bemessen, dass sie vollen Fahrzeugbezugstrom aufnehmen und gesamte FL-Spannung als Gegenspannung blockieren können.
 - Trenner mit Dioden dort, wo Probleme bezüglich Betriebssicherheit zu erwarten oder kurzzeitiger Stromunterbruch unerwünscht (bei Beschleunigung kurz nach Haltestellen, auf Bergstrecken) oder wo starke Abnutzungserscheinungen durch Funkenbildung.
- Damit nie Stromunterbruch für Trolleybus > Fahrer kann sich voll auf Verkehr konzentrieren.



Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport

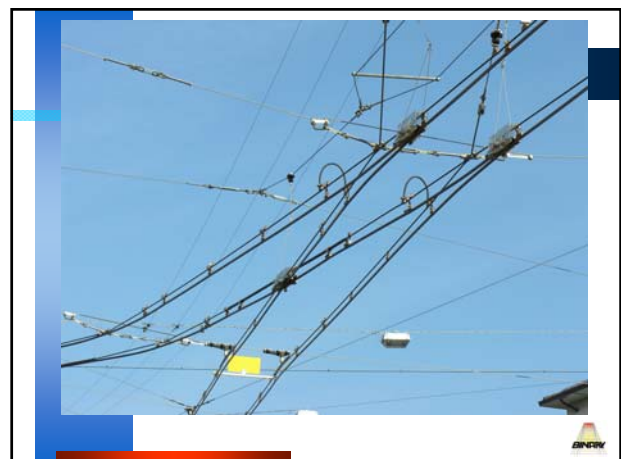
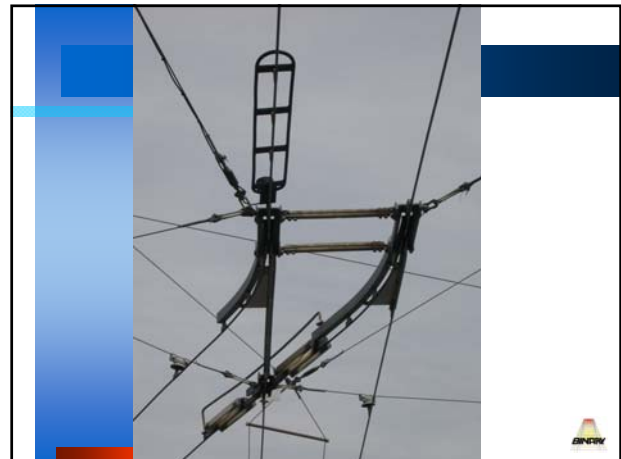


Weichen

- Flüssige Fahrweise der Trolleybusse bei grosser Verkehrsdichte > rasches und sicheres Befahren von Weichen wichtig!
- Gefordert sind Weichen mit:
 - Minimalem Risiko für Entgleisungen
 - Erhöhung von v_{max} auf 60 km/h
 - wenig Geräusch
 - minimalem Unterhaltsaufwand.
- Weichen
 - im Netz (ausser bei rechtwinkligen Abzweigungen) mit maximalem Ablenkwinkel von 10 Grad
 - beidseitige Schaltvorrichtung
 - mechanische Verriegelung in jeder Position
 - keine zu Brüche neigenden Federn.

Weichen (2)

- Weichen bei durchgehendem Fahrdrabt eingebaut > grosse Stabilität der gesamten Fahrleitungsanlage
- In Trolleybus-Systemen mit hoher Netz- und Fahrplandichte > linien-codiertes Fahren und Verarbeitung von Folgefahrzeugen bei Weichen – insbesondere an Verkehrsknotenpunkten
- Mit linien-codiertem Fahren wird einmalige Anmeldung für ganze Weichenstrassen in Verkehrsknoten oder in Busdepots möglich
- Bei Verwendung von bidirektionaler Kommunikation zwischen Busfahrern und Signalen/Weichen, sowohl vom Bus aus Weiche digital ansteuerbar als auch Rückmeldung der Weichenposition sichergestellt
- Per GSM lassen sich die Weichen - zum Beispiel durch die Leitstelle - zentral überwachen oder im Bedarfsfall neu starten.



Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport

Kreuzungen

Bei Kreuzungen zwischen zwei Trolleybuslinien > einseitig erforderlicher Stromunterbruch in der einen oder anderen Fahrrichtung.



Fahrleitungskreuzungen Trolleybus/Tram

- Bei Kreuzung ohne Stromunterbruch kreuzt Trolleybusfahrdrabt zwischen Kufen die Tram/ Bahn-FL auf einer ca.10 cm höheren Ebene
- Ein Schutzkanal verhindert einen Kurzschluss bei allfälligen Funkenbildungen
- Tragjocher werden an einem Tragseil ca.1 Meter über dem Fahrdrabt aufgehängt – damit feiner Übergang und stabile Lage ohne vertikale Bewegungen
- Ist FL von Tram/Bahn nachgespannt, so wird diese durch Gleitkanäle geführt, was Längsbewegungen des Tram/Bahnfahrdrabtes ermöglicht, ohne ganze Kreuzung mitzuziehen
- Darüber Stabilisierungsseil, das Abstützung exakt in Position hält.



Schlussfolgerungen

- Vollaestische Fahrleitung ist betriebssicher, unterhaltsarm und wirtschaftlich bezüglich Stromabnehmer und Fahrdrabt
- Dadurch lange Lebensdauer der Schleifkohlen von Stromabnehmer-Schuhen und minimale Abnutzung der Fahrdrabte
- Besonders gute Verträglichkeit mit dem Stadtbild und bedeutend bessere Wirtschaftlichkeit dann erreicht, wenn Fahrleitung mit an Häusern befestigten Querseilen statt an Auslegern befestigt
- Weitere Vorteile: niedriges Gewicht der beweglichen Teile der Pendelaufhängung sowie von selbstisolierenden, rostfreien, wartungsarmen, leichten und kompakten Aufhängungselementen
- Dies ermöglicht maximale Spannweiten von bis zu 30 Metern in den Geraden, woraus ein geringerer Bedarf an Leitungsmasten resultiert.

Optimum Institutional Arrangements for Melbourne's Public Transport

