



Moderne Fahrleitungssysteme für Trolleybusse

Dr. Rolf Martin Bergmaier, BINARY Consultants Pty Ltd, Waverton, Australien

Anforderungen an die Fahrleitung

Im Gegensatz zu neuen Systemen ist eine Trolleybus-Fahrleitung ein jahrzehntelang erprobtes und – bei geeigneter Wahl des erforderlichen Materials sowie korrekter Planung und Montage – ein zuverlässiges System.

Technische Aspekte

Die technische Auslegung wird bestimmt durch Sicherheitsstandards, Strombedarf, Streckenverlauf, die maximal fahrbare Geschwindigkeit, klimatische Umstände und die Nutzbarmachung der zurückgeführten Energie.

- Ermöglichen einer kontinuierlichen elektrischen Leistungsübertragung – auch bei einem hohen Strombedarf für Anfahrten, Beschleunigungen, minimalen Kursfolgen und dem Befahren von Steigungsstrecken.
- Resistenz gegenüber den zu erwartenden mechanischen Belastungen in Abhängigkeit der Stromabnehmerdurchfahrten sowie der Aufhängung infolge starker Winde und von Schneelasten.
- Sicherstellen einer hohen Betriebssicherheit und Verfügbarkeit, indem Schwankungen der Fahrdrähtlänge und Stromführungskapazität infolge Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede ausgeglichen werden.
- Gewährleisten einer konstanten gleichmässigen Stromabnehmerauflage ohne Springen – unabhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit – unter konstantem Anpressdruck am Fahrdraht zur kontinuierlichen Stromversorgung der Fahrzeuge und zur Vermeidung von Brandschäden am Fahrdraht.
- Angemessene Isolation zur Wahrung der Sicherheit sowie gegen die korrodierende Wirkung von Kriechströmen auf benachbarte Gebäude und/oder das Fahrleitungsmaterial.

Betriebliche Aspekte

- Ausnutzen der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, auch bei thermischer Dehnung des Fahrdrahtes, d.h. der Zugspannungsdifferenz.
- Minimieren von betrieblichen Einschränkungen beim Passieren von Weichen, Streckentrenner und Kreuzungen
- Minimieren von Betriebsunterbrüchen insbesondere Entgleisungen infolge Defekten an Stromabnehmer-Schleifkontakten und Fahrleitung.

Gestalterische Aspekte

- Geringe Auffälligkeit der Fahrleitungsbauweise im Stadtbild bezüglich Anzahl und Anordnung der Drähte im Luftraum und der Masten, also eine einfache Grundkonstruktion in möglichst horizontaler Ausprägung zum Beispiel in Form einer Einfachfahrleitung.

Wirtschaftlichkeit

- Minimieren der Anzahl -- Masten und Fundamente – falls möglich, in Kombination mit der Strassenbeleuchtung – und maximale Verwendung von Seiltragwerken, die mittels Mauerhaken an Gebäuden fixiert werden.
- Auslegen der Fahrleitungsanlage derart, dass der elektrische Verschleiss – insbesondere der Abbrand durch das Springen der Stromabnehmer – minimiert wird. Dadurch minimaler Unterhaltsaufwand und lange Lebensdauer von Fahrdrähten.

Fahrleitungs-Systeme und Lösungen

Für die mechanische Qualität und die lange Lebensdauer einer Fahrleitung ist deren gleichförmige Elastizität zur gleichmässigen Bestreichung durch den Trolleybus-Schuh entscheidend. Je grösser der Durchhang zwischen zwei Stützpunkten, das heisst je grösser der Mastabstand, desto grösser der Verschleiss. Je kleiner der Mastabstand, desto geringer die Zugspannung auf der Fahrleitung und desto kleiner und damit unauffälliger die erforderlichen Masten.

Je einfacher die mechanische Grundkonstruktion einer Fahrleitungsbauweise, je leichter eine Fahrleitung und geschickter deren Geometrie, desto geringer die Beeinträchtigung der Stadtbildverträglichkeit.

Vollelastische Fahrleitung mit Schrägpendel

In Geraden

Die vollelastische Eigenschaft eines Fahrleitungssystems wird dadurch erreicht, dass der Fahrdraht entlang einer geraden Achse mit einem geringen Winkel im Zick Zack verlegt wird. Die Aufhängung des Fahrdrahtes am Stützpunkt erfolgt mittels eines Pendels. Das Pendel nimmt – entsprechend dem Gewicht des Fahrdrahtes in Abhängigkeit der Spannweite, der Zugspannung und dem Fahrdrahtwinkel des Zick Zacks – eine gewisse Schräglage ein.

Die Überlegenheit der elastischen Fahrdrahtaufhängung liegt im Auf- und Abschwingen der pendelnden Stützpunkte und dem Ermöglichen der horizontalen Längsbewegungen in Abhängigkeit des Anpressdruckes der Stromabnehmer.

Wird der Fahrdraht durch den Stromabnehmer-Schuh beschliffen, so drückt dieser infolge Anpressdruckes den Fahrdraht aus der Ruhelage in die sogenannte Arbeitslage. Die Höhendifferenz zwischen beiden Lagen ist in der Mitte der Spannweite am grössten, am Stützpunkt am kleinsten. Sie ist abhängig vom Anpressdruck des Kontaktes sowie von der Spannweite, der spezifischen Zugspannung des Fahrdrahtes, des Fahrdrahtquerschnittes respektive - gewichtes und von der Fahrgeschwindigkeit.

- Die Höhe des Fahrdrahtes – und demzufolge die Pendelneigung im Aufhängepunkt – ändert sich je nach Standort und Anpressdruck des Schleifkontaktes: Bewegt sich dieser auf den Stützpunkt zu, so übernimmt der Anpressdruck des Stromabnehmers einen

immer grösseren Teil des Gewichtes der Fahrleitung. Demzufolge wird der Fahrdraht auch am Stützpunkt angehoben und das Pendel stellt sich flacher. Dadurch wird der Aufprall des Schleifstückes am Stützpunkt elastisch abgefangen und der konstante Anpressdruck des Stromabnehmers bleibt erhalten.

- Die Nachgiebigkeit des Fahrdrahtes in den Aufhängepunkten und die Absorbierung von Schlägen infolge gleichmässigem Anpressdruck verhindert ein Springen des Stromabnehmers mit entsprechender Funkenbildung und Funkstörungen. Daraus resultieren eine hohe Betriebssicherheit und – infolge minimaler Abnutzung – eine hohe Lebensdauer der Schleifstücke und der Fahrleitung.
- Die Aufhängung der Fahrleitung an Pendeln ermöglicht auch eine horizontale Bewegung des Fahrdrahtes. Dadurch kann einerseits die durch die Reibung des Schleifstückes am Fahrdraht erzeugte Welle ausgeglichen werden. Damit wird das Springen des Stromabnehmers am Stützpunkt vermieden. Andererseits lässt sich die thermische Dehnung des Fahrdrahtes – d.h. dessen Zugspannungsdifferenz – bei Temperaturschwankungen teilweise kompensieren und dessen Durchhang verringern.

Um eine bei allen Temperaturen konstante Zugspannung im Fahrdraht sicherzustellen, können thermisch bedingte Längsausdehnungen zusätzlich mittels Nachspannungen kompensiert werden. Dies erfordert aber einen beträchtlichen Unterhaltsaufwand.

Fahrleitungen in Kurven

Um eine Trolleybus-Fahrleitung auch in Kurven möglichst wirtschaftlich und betriebssicher zu bauen, sind möglichst wenig Stützpunkte zu verwenden. Daraus ergeben sich jedoch grosse Fahrdrahtwinkel an den Aufhängepunkten.

Mittels Verwendung von Kurvenschienen aus Cu-Rohr werden schädliche Seitenschläge des Stromabnehmer-Schuhs auf die Fahrleitung verhindert und Entdrahtungen minimiert. Ihre Länge richtet sich nach dem Fahrdrahtwinkel. Sie werden ebenfalls mittels eines Parallelogrammpendels am Querspannerseil aufgehängt.

Je nach Grösse des Fahrdrahtwinkels erhalten die Kurvenschienen einen, zwei oder drei pendelnde Abzüge. Diese haben die gleichen elastischen Eigenschaften wie die Schrägpendel in den Geraden. Werden die Kurvenschienen derart montiert, dass sich eine parabelförmige Kurve des Fahrdrahtes am Stützpunkt ergibt, so ist ein richtiges An- und Abschwelen der auftretenden Zentrifugalkräfte des Stromabnehmer-Schuhs gewährleistet. Damit werden schlagartige seitliche Beanspruchungen und demzufolge Entdrahtungen verhindert.

Streckentrenner

Insbesondere dort, wo sich zwei Fahrstromkreise aus verschiedenen Speisungen (Unterwerk, Gleichrichter) berühren, ist eine elektrische Trennung der Fahrleitungsabschnitte erforderlich. Am Trenner werden zwei unterschiedliche Sektoren elektrisch voneinander getrennt.

Besonders kritisch ist die Situation, wo Spannungsunterschiede zwischen zwei Abschnitten zu erwarten sind. Hier ist ein sogenannter Streckentrenner erforderlich. Er besteht aus einem Isolationselement, das in den Fahrdraht eingesetzt wird. Dieser muss die gesamte mechanische Zugspannkraft im Fahrdraht aufnehmen, dynamischen Kräften, verursacht durch die Stromabnehmer oder Wind respektive Schnee, widerstehen sowie die elektrischen Spannungsunterschiede trennen können. Dabei ist genügend Abstand zwischen den leitenden Teilen einzuhalten, dass keine Funken oder Lichtbogen zwischen diesen Teilen

entstehen, welche einerseits Schäden an Stromabnehmer und Fahrleitung verursachen und andererseits die beiden Sektoren elektrisch überbrücken könnten. Je nach Bauart des Trenners bestehen die Gleitelemente aus leitenden oder isolierenden Stoffen, die das schadlose Befahren des Streckentrenners ohne Senken der Stromabnehmerstangen ermöglichen.

Moderne, isolierende Trenner ermöglichen mittels Verwendung von Dioden, dass keine Ströme von einem Sektor in den anderen fließen und dass sie jederzeit mit voller Leistungsaufnahme befahren werden können. Die Dioden sind so zu bemessen, dass sie den vollen Fahrzeugbezugstrom aufnehmen und die gesamte Fahrleitungsspannung als Gegenspannung blockieren können.

Trenner mit Dioden sind dort von Vorteil, wo Probleme bezüglich Betriebssicherheit zu erwarten sind, oder auch ein kurzzeitiger Stromunterbruch unerwünscht ist (bei Beschleunigung kurz nach Haltestellen, auf Bergstrecken) oder wo sich starke Abnutzungserscheinungen durch Funkenbildung bemerkbar machen. Damit entsteht nie ein Stromunterbruch für den Trolleybus und der Fahrer kann sich voll auf den Verkehr konzentrieren.

Weichen

Um einer flüssigen Fahrweise der Trolleybusse bei grosser Verkehrsdichte gerecht zu werden, ist ein rasches und sicheres Befahren von Weichen von entscheidender Bedeutung.

Gefordert sind Weichen, welche das Risiko von Entgleisungen auf ein Minimum reduzieren, eine Erhöhung der zulässigen Betriebsgeschwindigkeit bis zu 50 km/h ermöglichen, wenig Geräusch erzeugen und einen minimalen Unterhaltsaufwand erfordern. Dies ist dann gegeben, wenn die Weichen im Netz (ausser bei rechtwinkligen Abzweigungen) einen maximalen Ablenkwinkel von 10 Grad haben, sowohl eine beidseitige Schaltvorrichtung als auch eine mechanische Verriegelung in jeder Position existiert und keine zu Brüche neigenden Federn verwendet werden. Können Weichen bei durchgehendem Fahrdrabt eingebaut werden, so gewährleistet dies eine grosse Stabilität der gesamten Fahrleitungsanlage.

Insbesondere in Trolleybus-Systemen mit hoher Netz- und Fahrplandichte kommt einem linien-codierten Fahren und der Verarbeitung von Folgefahrzeugen bei Weichen – insbesondere an Verkehrsknotenpunkten – eine hohe Bedeutung zu. Mit dem linien-codierten Fahren wird die einmalige Anmeldung für ganze Weichen-strassen in Verkehrsknoten oder in Busdepots ermöglicht. Mittels Verwendung einer bidirektionalen Kommunikation zwischen Busfahrern und Signalen/Weichen kann sowohl vom Bus aus die Weiche digital angesteuert als auch eine Rückmeldung der Weichenposition sichergestellt werden. Per GSM lassen sich die Weichen - zum Beispiel durch die Leitstelle - zentral überwachen oder im Bedarfsfall neu starten.

Kreuzungen

Je nach örtlichen Bedürfnissen sind bei Kreuzungen zwischen zwei Trolleybuslinien ist der einseitig erforderliche Stromunterbruch in der einen oder anderen Fahrriichtung anzuordnen.

Sonderbauformen

Fahrleitungen in Strassen-Unterführungen stellen bei geringer Bauhöhe ein Sicherheitsrisiko dar. Mittels einer in Längsrichtung beweglichen Fahrleitungsaufhängung, wo Rollen die Wellenbewegungen der Stromabnehmer und allfällige Temperaturschwankungen absorbieren, kann das Lichttraumprofil erweitert werden. Durch Anordnung von Abstützungen alle fünf bis sechs Meter und durch Erhöhung des Fahrdratzuges mittels zusätzlicher Nachspannung ausserhalb der Unterführung kann die normale Fahrgeschwindigkeit erreicht werden.

Fahrleitungskreuzungen Trolleybus/Tram oder Bahn

Bei der Kreuzung ohne Stromunterbruch kreuzt der Trolleybusfahrdrat zwischen Kufen die Tram/ Bahnfahrleitung auf einer ca. 10 cm höheren Ebene. Ein Schutzkanal verhindert einen Kurzschluss bei allfälligen Funkenbildungen. Die Tragjoche werden an einem Trageil ca. 1 Meter über dem Fahrdrat aufgehängt. Dies ermöglicht einen feinen Übergang und eine stabile Lage ohne vertikale Bewegungen.

Ist die Fahrleitung von Tram/Bahn nachgespannt, so wird diese durch Gleitkanäle geführt, was Längsbewegungen des Tram/Bahnfahrdrates ermöglicht, ohne die ganze Kreuzung mitzuziehen. Darüber wird ein Stabilisierungsseil gezogen, das die Abstützung exakt in Position hält.

Bei der Fahrleitungskreuzung mit einer Gleichstrom-Bahn sind wegen derer meist höheren Spannung zusätzliche Isolationen und Schaltungen erforderlich. Die Trolleybusfahrleitung wird beidseitig der Bahnfahrleitung mittels Streckentrenner isoliert. Bei Trolleybetrieb ist die Bahnfahrleitung mittels eines Schützen ausgeschaltet, damit bei Stromabnehmer-Entdrahtungen mit Berühren der Bahnfahrleitung keine höhere Spannung auf den Trolleybus gelangt

Schlussfolgerungen

Eine vollelastische Fahrleitung ist betriebssicher, unterhaltsarm und wirtschaftlich bezüglich Stromabnehmer und Fahrdrat. Den Schleifkohlen von Stromabnehmer-Schuhen ist dadurch eine lange Lebensdauer beschieden und die Abnutzung der Fahrdrähte ist minimal.

Eine besonders gute Verträglichkeit mit dem Stadtbild und eine bedeutend bessere Wirtschaftlichkeit wird dann erreicht, wenn die Fahrleitung mit an Häusern befestigten Querseilen statt an Auslegern befestigt wird.

Weitere Vorteile liegen im niedrigen 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.

Mit der optimalen Wahl von geeignetem Material, einer sorgfältigen Projektierung und einer einwandfreien Montage, werden beste Voraussetzungen für einen reibungslosen und wirtschaftlichen Trolleybusbetrieb geschaffen.