



## Synergien zwischen Straßenbahn und elektrischem Stadtbus- Study trolleybus- tram network use in Leipzig

## EU-Projekt Trolley: Auszug aus der Aufgabenstellung Leipzig

WP 3: Erstellung eines Kompendiums zur Errichtung neuer elektrischer Bussysteme oder zur Umrüstung auf elektrische Bussysteme bei vorhandenem Stadt- oder Straßenbahnnetz

WP 4: Machbarkeitsstudie für den Umbau am Beispiel der Stadtbuslinie 70 auf elektrischen Betrieb

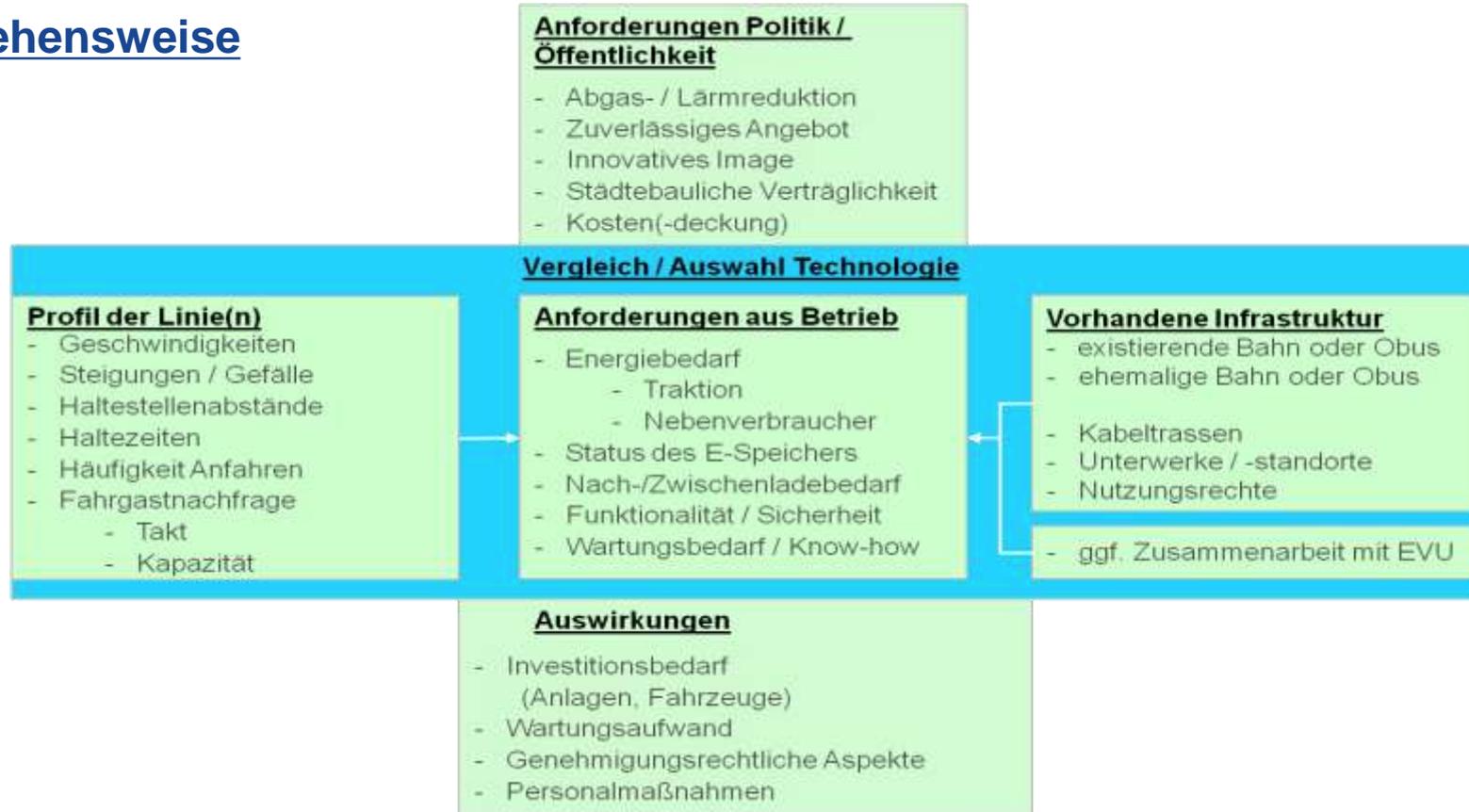


Eine vorhandene **Infrastruktur** und

das **Know-How aus dem Betrieb** und der **Instandhaltung** elektrischer Bahnen

eröffnen wichtige **Synergien** für die Umstellung von Buslinien auf elektrischen Betrieb

## Vorgehensweise



## Kriterien für die Auswahl einer geeigneten Buslinie

### Nähe zu vorhandenen Einrichtungen der Stromversorgung

- Fahrleitung für Bahn
- Unterwerke
- Kabeltrassen

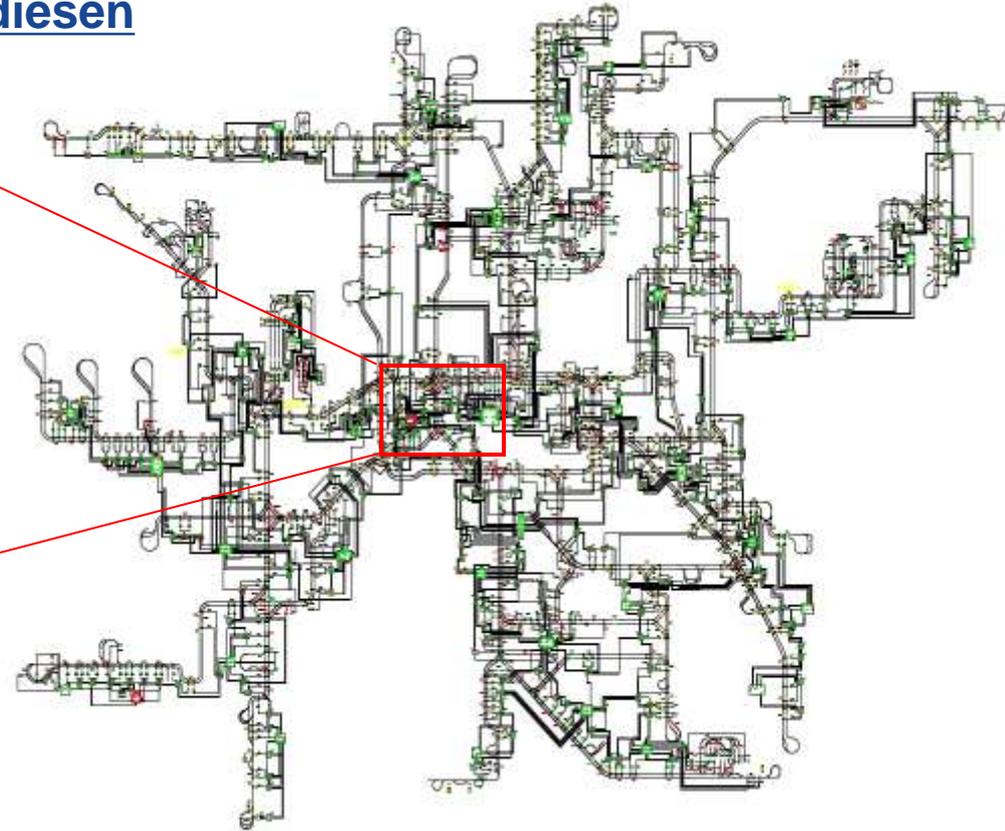
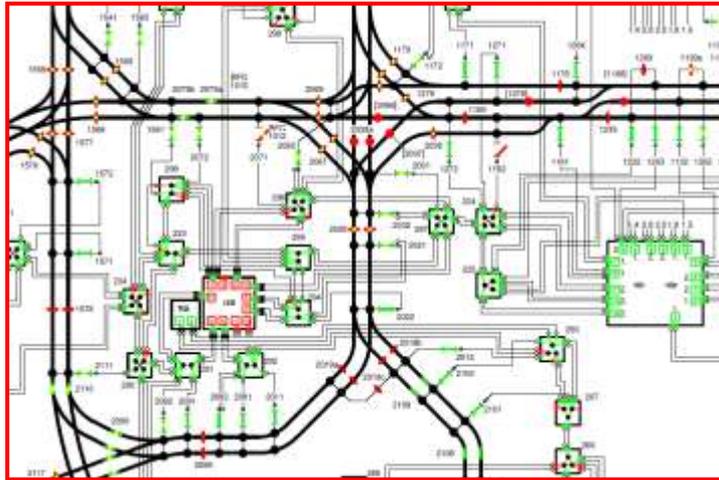
### Betriebskonzept

- Fahrplan (Takt, Zwischenendstellen, ...)
- Fahrgastaufkommen
- Fahrzeugeinsatz (Kapazität, Linienbindung)
- Betriebsleistung (Fzg- km je Umlauf)

### Städtebauliches Umfeld

- Historisches oder anders sensibles Umfeld
- Verträglichkeit mit dem Stadtbild
- Bauliche Voraussetzungen für Infrastruktur

## „Passt“ das LVB- Bahnstromnetz zu diesen Überlegungen?



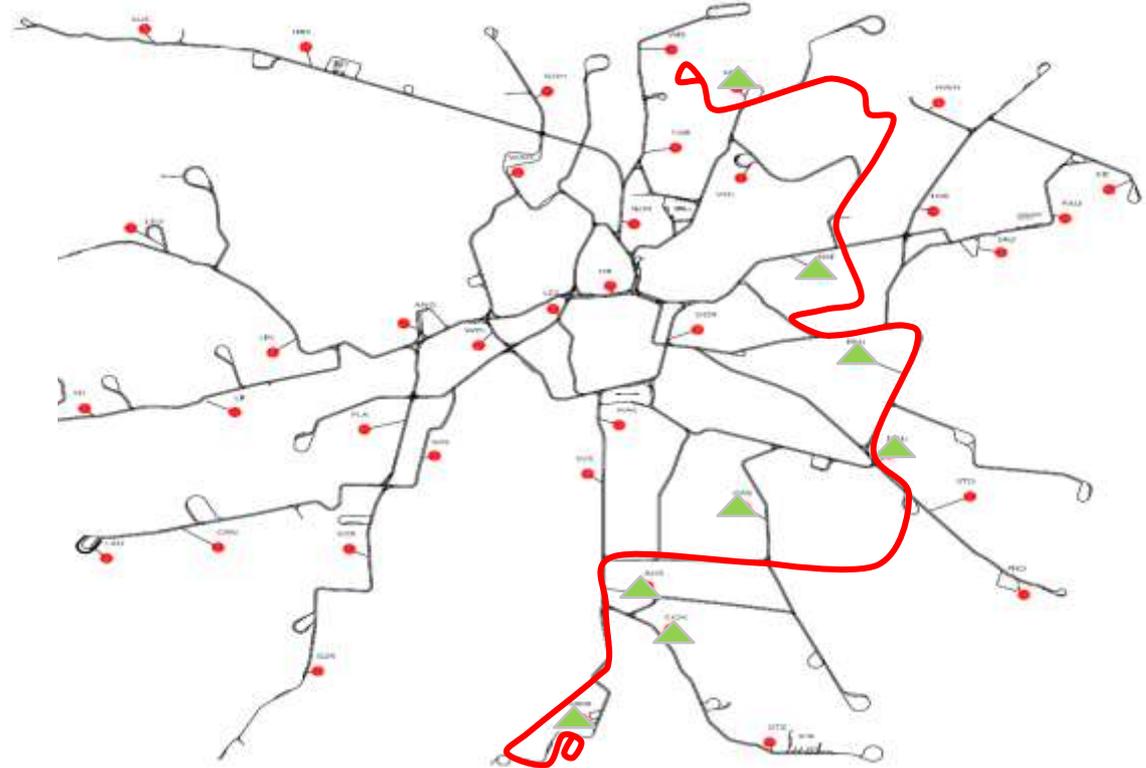
- Zentrale Energieversorgung im vermaschten Netz
- 320 km Oberleitung
- 1151 km Kabel davon 187 km MS-Kabel

## Konkrete Voraussetzungen zur Nutzung der Straßenbahninfrastruktur für Elektrobusse in Leipzig

Gleichrichterunterwerke	Gleichstromkabelnetze	O-Bus- Oberleitungen
<p style="text-align: center;"><b>Ja</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▶ weil die Energiebilanz im Regelfall für sehr hohe Belastungsfälle ausgelegt ist.</li><li>▶ Uneingeschränkt auch für die punktuelle Nachladung nutzbar.</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>Ja</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▶ wenn damit gesonderte Zuleitungswege geschaffen werden können. Mitnutzung für punktuelle Nachladung möglich</li><li>▶ Mitnutzung für punktuelle Nachladung möglich</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>Nein</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▶ weil das Stromabnehmersystem nicht kompatibel ist.</li><li>▶ Gemeinsam genutzte Aufhängungen sind bei parallel geführter Strecke möglich</li></ul>

## Standorte der Unterwerke Straßenbahn und Linienweg 70

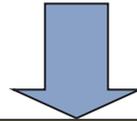
- Untersuchung der Verfügbarkeit von bereits vorhandenen Bahnstromanlagen entlang des Streckenverlaufs
- 8 Gleichrichterunterwerke entlang des Streckenverlaufs vorhanden



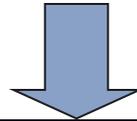
## Konfiguration von Energiespeicher und Ladeinfrastruktur

Frage der Durchführbarkeit und Auswahl der optimalen Betriebsform wird bestimmt durch die folgenden 3 Schritte

**1. Speicher:** Welcher Speicher (Kapazität, Abmessungen, Masse) kann anstelle des Dieselmotors im 18m- Bus untergebracht werden?



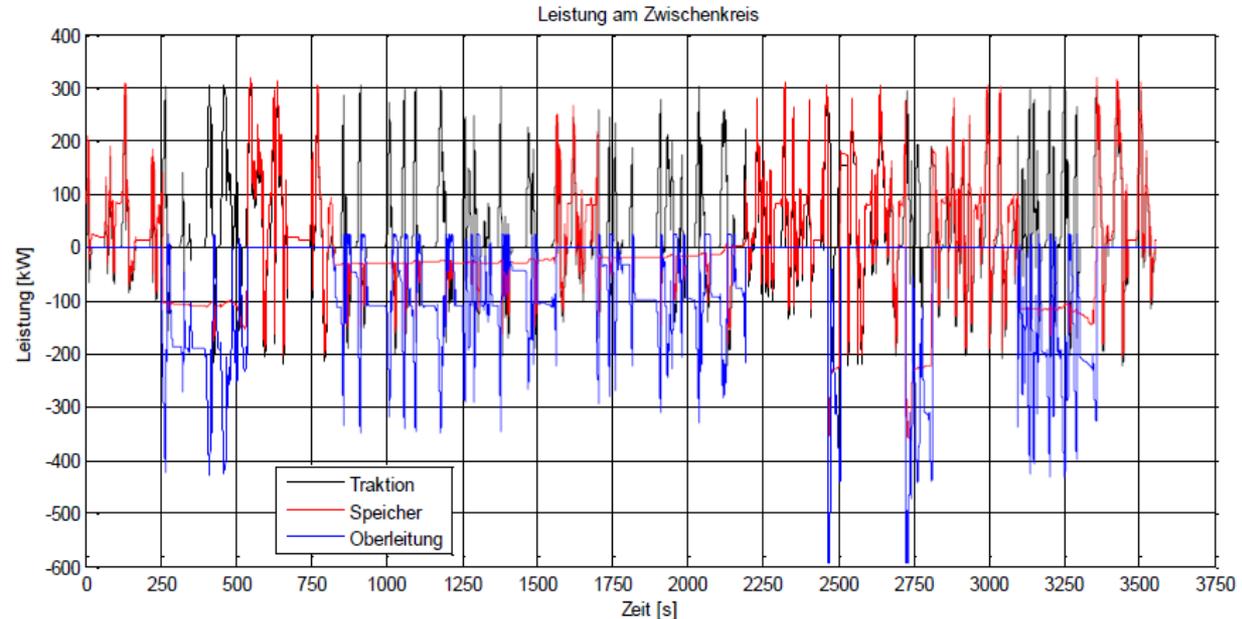
**2. Bedarfsermittlung:** Ausgehend von den Streckenparametern (Topografie, Haltestellenabstände, Geschwindigkeit) ist der Energiebedarf zu ermitteln!



**3. Ladetechnik:** Unter Beachtung von Ziffer 1+2 ist die Lage und Länge der notwendigen Fahrleitungsabschnitte bzw. Ladestationen festzulegen!

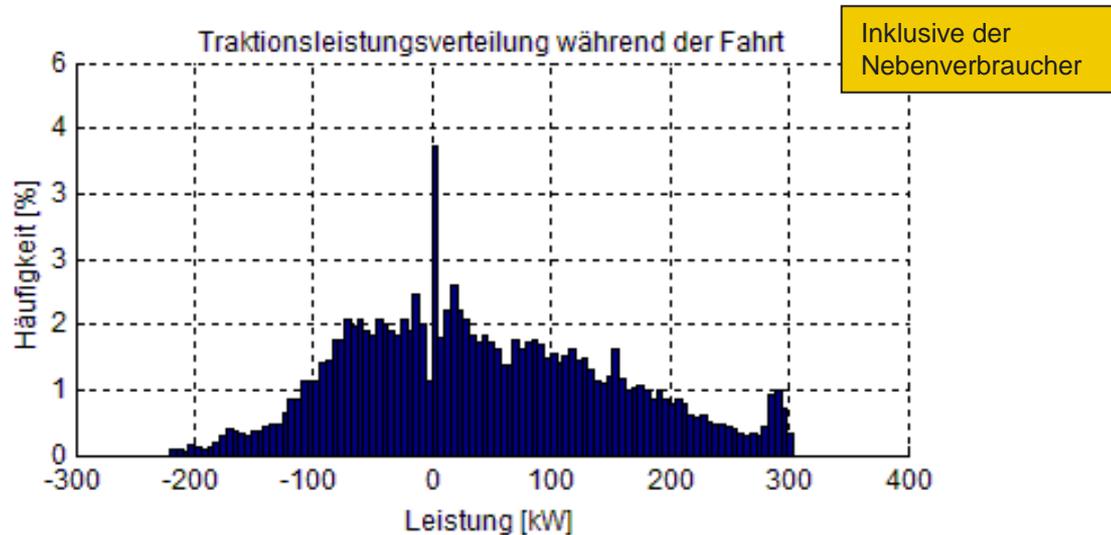
## Wichtig ist eine hinreichende Genauigkeit der Energiebedarfsermittlung!

- Messfahrten mit 18-m-Hybridbus durchgeführt und Simulation für den Einsatzfall „O-Bus mit partiell oberleitungsfreiem Betrieb“ durchgeführt
- Diagramm zeigt:
  - Keine Leistungsaufnahme > 300 kW aber
  - Spitzen in der Rekuperation bis 600kW



## Häufigkeitsverteilung der Gesamtleistung während der Fahrt

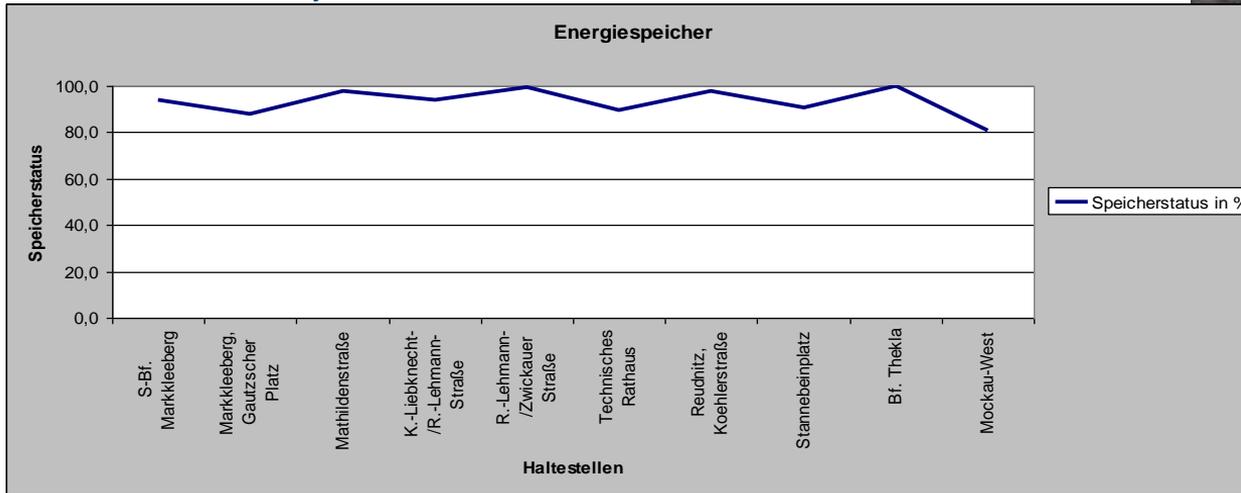
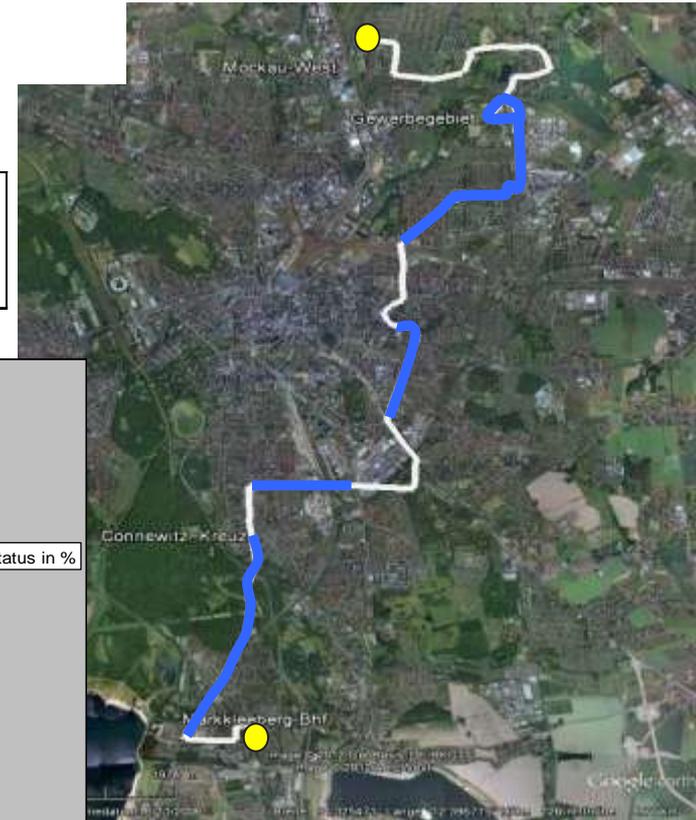
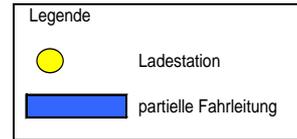
- Beruhigende Aussage: Häufigkeit von Leistungen  $> 300$  kW weniger als 10 %



➔ Versorgung der O-Buslinie aus dem Bahnstromnetz ist gesichert!!

## Simulierte Betriebsverhältnisse der Referenzlinie

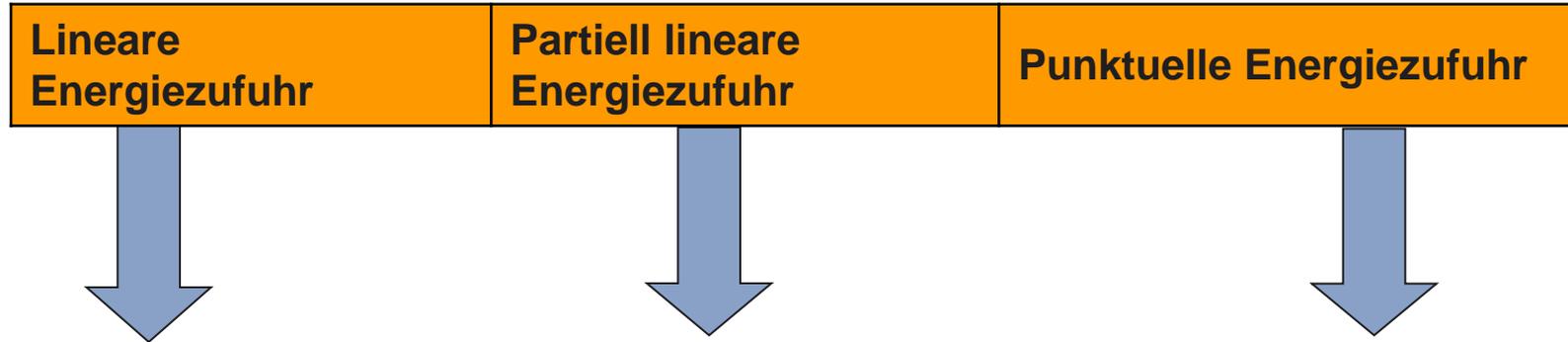
- O-Bus- Betrieb mit Energiespeicher
- Energiespeicherstatus für die Fahrtrichtung  
Markkleeberg- Bhf nach Mockau-West
- 4 Streckenabschnitte mit Fahrleitung
- 2 Ladestation, jeweils an den Wendestellen



## Wie kommt die Energie ins Fahrzeug?

Lineare Energiezufuhr	Partiell lineare Energiezufuhr	Punktuelle Energiezufuhr
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ sichert die kontinuierliche Energiezuführung für Antriebsenergie und Komfortenergie</li> <li>▶ ermöglicht Energieaustausch zwischen Fahrzeugen über das Netz</li> <li>▶ benötigt Energiespeicher nur für Abweichungen vom Fahrweg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ermöglicht planmäßig dimensionierte Fahrtstrecken mit bordeigenen Energiespeichern</li> <li>▶ Dimensionierung des Bordspeichers und der Infrastruktur entsprechend des konkreten Anwendungsfalles</li> <li>▶ Senkung von Infrastrukturkosten</li> <li>▶ Überwindung städtebaulicher Hemmnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ jede Ladestation braucht eine Energiezufuhr für hohe Ströme</li> <li>▶ erheblicher Kabel- und Tiefbauaufwand, leistungsfähige Netze</li> <li>▶ jeder Energiespeicher muss den energetischen Aufwand von Antriebs- und Komfortenergie plus Reserve decken können</li> <li>▶ hohes Gewicht vs. Nutzlast und Energieeinsparung</li> <li>▶ Ladevorgänge müssen innerhalb weniger Sekunden abgeschlossen sein</li> </ul>

## Wie kommt die Energie ins Fahrzeug?



- ▶ alle Energiezuführungen benötigen leistungsstarke Gleichstromnetze
- ▶ wo Straßenbahn- oder O-Bus-Netze betrieben werden, sind diese bereits vorhanden
- ▶ Nutzung vorhandener Systeme kann die Infrastrukturkosten bei einer Umstellung deutlich senken

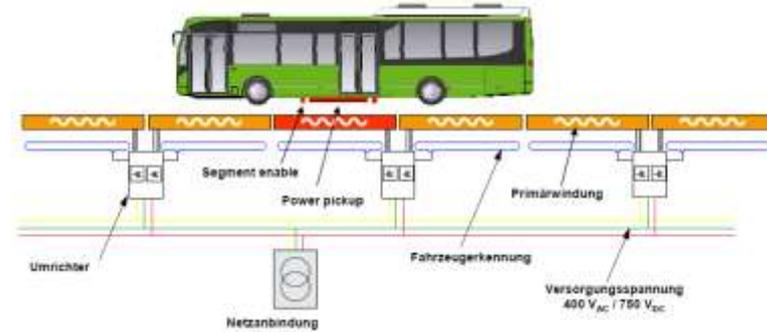
## Moderne Ladeinfrastruktur - Lösungsmöglichkeiten

### Feste Fahrleitung



Zum Beispiel: SIEMENS e-BRT

### Neue Option: Induktive Übertragung



Zum Beispiel: Bombardier „PRIMOVE“

## Betriebswirtschaftliche Aspekte

Position	O-Bus-Linie mit durchgehender Fahrleitung Kein Bahnstrom nutzbar		O-Bus-Linie mit partieller Fahrleitung Bahnstrom nutzbar	
	Technik	Kosten netto in €	Technik	Kosten netto in €
Streckenlänge in m	22.410		22.410	
Dav. Fahrleitung in m	22.410	19.048.500	10.760	9.146.000
Dav. Fahrleitung in %	100		48	
Unterwerke Neubau	5 Stück	5.000.000	0	0
Unterwerke Ausbau	0	0	7 Stück	420.000
Ladestationen	0	0	2	250.000
Fahrzeuge für 13 Kurse	14 Stück á 700.000 €	9.800.000	14 Stück á 850.000 €	11.900.000
<b>Gesamtkosten</b> in %		<b>33.848.500</b> <b>100</b>		<b>21.716.000</b> <b>64</b>

## Was sind offene Punkte unseres Konzepts?

### 1. **Es ist noch kein Fahrzeug der beschriebenen Konfiguration am Markt erhältlich.**

Uns vorliegende Informationen bestärken uns in der Vermutung, dass sich dies innerhalb der nächsten 3 Jahre ändern wird

### 2. **Der konkrete Einbauort des von uns zu Grunde gelegten Traktionsenergiespeichers mit den Kenndaten:**

- Kapazität 85 kWh
- Maximale Leistung 400 kW
- Masse ca. 950 kg

**ist noch nicht abschließend geklärt.**

### 3. **In Anbetracht der Höhe der installierten Leistung elektrischer Nebenverbraucher auf dem 18m- Bus in der Größenordnung von 180 kW ist die Funktion des Gesamtsystems insbesondere bei extremen Temperaturen nur mit einem intelligenten Energiemanagementsystems sicherzustellen, das die Prioritäten der einzelnen Energieverbraucher eigenständig festlegt.**

## Versorgung des E-Busses aus dem Bahnstromnetz

### Summary / Allgemeingültigkeit

Umfassende Betrachtung einer konkreten Buslinie liefert brauchbare Ergebnisse in folgender Form:

- Betrieb einer elektrischen Stadtbuslinie mit Versorgung aus dem vorhandenen Bahnstromnetz ist technisch und wirtschaftlich möglich
- bei einer Umstellung kann abschnittsweise auf durchgehende Fahrleitung des klassischen O-Busses ohne betriebliches Risiko verzichtet werden
- benötigte Fahrzeug- und Infrastrukturkomponenten sind in der gewünschten Form verfügbar
- das gewählte Beispiel der Linie 70 in Leipzig ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf zahlreiche Problemstellungen anderer Städte und Verkehrsbetriebe übertragbar

**Vielen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit**

