

## Mustergliederung einer Machbarkeitsstudie

Untersuchungsschritte	wesentliche Inhalte
<b>1. Grundlagen</b>	
<b>1.1 Hintergrund und Zielsetzung</b>	
Ausgangslage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unternehmenseinstufung               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groß-/Mittel-/Kleinunternehmen</li> <li>- Fuhrparkgröße</li> <li>- Bediengebiet</li> <li>- Linienanzahl</li> </ul> </li> <li>- bisheriger Technologieeinsatz</li> <li>- bislang durchgeführte Untersuchungen/Studien</li> </ul>
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ziele (technisch, betrieblich, wirtschaftliche, ökologisch)</li> <li>- Motivation</li> <li>- Erwartungshaltung</li> <li>- angestrebter Umsetzungsplan</li> </ul>
<b>1.2 technologische Grundlagen</b>	
elektrische Antriebskonzepte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse Elektrobustypen (BEV, (Plug-In) Hybrid, O-Bus)</li> <li>- Konfigurationsmöglichkeiten Elektrobus</li> </ul>
weitere Antriebskonzepte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse weiterer Antriebskonzepte</li> </ul>
Bewertung der Antriebskonzepte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergleich und Bewertung von BEV-, Wasserstoff-, Hybrid- und Dieselbus nach               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Speicher</li> <li>- Infrastruktur</li> <li>- Lade-/Tankzeit</li> <li>- Reichweite</li> <li>- Flexibilität</li> <li>- Lebensdauer</li> <li>- Wirtschaftlichkeit</li> <li>- Sicherheit</li> <li>- Marktreife</li> </ul> </li> </ul>
<b>1.3 Energiezuführung</b>	
elektrische Energiezuführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse Technologien zur stationär induktiven, stationär induktiven und dynamisch induktiven Ladung (Plug-In-System, Docking-System, Ladepunkt Oberleitung, Oberleitung dynamisch, Induktionsschleife/Pick-Up)</li> </ul>
chemische Energiezuführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse Technologien zur chemischen Energiezuführung (Wasserstoff, Erdgas)</li> </ul>
Bewertung der Energiezuführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergleich und Bewertung</li> </ul>
<b>1.4 Technologievergleich</b>	
Wirkungsgradkette	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ermittlung der energetischen Effizienz als Well-to-Wheel-Betrachtung (von der Erzeugung bis zum Antrieb)</li> <li>- Betrachtung und Vergleich aller / ausgewählter Technologien</li> </ul>
Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einmalige und laufende Kosten:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anschaffungskosten Fahrzeug</li> </ul> </li> </ul>

Untersuchungsschritte	wesentliche Inhalte
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für Lade- bzw. Tankinfrastruktur (Betriebshof, ggf. Strecke)</li> <li>- Energiekosten und weitere Betriebskosten</li> <li>- Betrachtung und Vergleich aller / ausgewählter Technologien</li> <li>- Betrachtungszeitraum: Lebensdauer Elektrobus 16 Jahre</li> </ul>
Umweltbewertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- als Well-to-Whell-Betrachtung (Treibhausgase, Stickoxide, Feinstaub)</li> <li>- Betrachtung und Vergleich aller / ausgewählter Technologien</li> </ul>
<b>1.5 Untersuchungsgegenstand</b>	
Festlegung bevorzugte Technologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrzeugkonzept</li> <li>- Energiezuführungskonzept</li> <li>- Ladekonzept</li> </ul>
Untersuchungsgegenstand	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchungsumfang und -anforderungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Linien (gesamtes Liniennetz, spezifische Linien),</li> <li>- betriebliche Anforderungen</li> <li>- technische Anforderungen</li> </ul> </li> </ul>
<b>2. Elektrifizierungskonzept</b>	
<b>2.1 verkehrlich-technische Betrachtung</b>	
Festlegung Laderegime	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung des für den Anwendungsfall geeigneten Ladekonzeptes (Volllader, Gelegenheitslader)</li> <li>- ggf. Ermittlung der Ladepunkte für Zwischenladung</li> <li>- Analyse der Liniendaten (Fahrplandaten-/Umlaufdaten), betrieblicher Kenngrößen, Energiebilanzierung</li> </ul>
Festlegung Fahrzeugkonfiguration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der für den Anwendungsfall geeigneten Fahrzeugkonfiguration</li> <li>- Auslegung des Energiespeichers</li> <li>- Gewichts- und Energiebilanzierung in Abhängigkeit der Konfigurationsparameter und des Gesamtenergiebedarfs: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Konfigurationsparameter: Fahrgastkapazität, Fahrzeugauflastung, Heizungs- und Klimatisierungskonzept</li> <li>- Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs unter Berücksichtigung betrieblicher, streckenspezifischer, fahrzeugkonfiguratorischer Faktoren</li> </ul> </li> </ul>
Bewertung der technisch-betrieblichen Umsetzungsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewertung der technisch-betrieblichen Machbarkeit</li> <li>- Aufzeigen elektrifizierbarer Umläufe</li> <li>- Aufzeigen notwendiger betrieblicher Anpassungen</li> </ul>
Festlegung der Ladeinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegen des geeigneten Energiezuführungssystems in Abhängigkeit von: <ul style="list-style-type: none"> <li>- technischer Umsetzbarkeit</li> <li>- Realisierbarkeit im angestrebten Zeitraum</li> <li>- Energieverbrauch</li> <li>- Energieeffizienz</li> <li>- Kosten</li> </ul> </li> </ul>
Festlegung Betriebs- und Einsatzkonzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erarbeitung eines Betriebskonzepts mit seiner jeweiligen technischen Konfiguration einer künftigen Elektrobusflotte</li> </ul>

Untersuchungsschritte	wesentliche Inhalte
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konzept als Grundlage für alle weiterführenden ökonomischen, ökologischen, technischen und betrieblichen Betrachtungen</li> <li>- Ggf. Aufzeigen von Maßnahmen, die zur Abbildung des elektrischen Busbetriebs, zu ergreifen sind</li> <li>- Bewertung der notwendigen infrastrukturellen und/oder betrieblichen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Eingriffstiefe und ihres Umsetzungsaufwands</li> </ul>
<b>2.2 ökonomische Betrachtung</b>	
Ermittlung Investitionskosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investitionskosten E-Bus-System (€): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrzeug: Grundfahrzeug, Fahrzeugausrüstung, Energiespeicher</li> <li>- Ladeinfrastruktur: LIS Betriebshof, LIS Strecke</li> <li>- Sonstiges: Werkstattausrüstung, Schulungskosten Fahrer und Werkstattpersonal, Sonstige Projektkosten</li> </ul> </li> <li>- Kostenbetrachtungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mehr-/ Minderkosten zum Referenzbus: Kostenvergleich zwischen Elektro- und Referenzbus</li> <li>- Förderung: Kostenvergleich ohne/mit Förderung</li> </ul> </li> </ul>
Gesamtkostenbetrachtung TCO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- durchschnittliche Betriebs- und Investitionskosten E-Bussystem (€/km): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrzeug: Investition Grundfahrzeug, Investition Traktionsausrüstung, Verkaufserlös Fahrzeug, Erst- und Ersatzinvestitionen Speicher, Restwert Energiespeicher, Instandhaltung Fahrzeug, Retrofit Fahrzeug, Reservefahrzeug</li> <li>- Infrastruktur: Investition Infrastruktur, Investition Werkstatt, Instandhaltung Infrastruktur</li> <li>- Betriebskosten Strecke: Fahrpersonal, Stromkosten Betriebseinsatz, Heizkosten</li> <li>- Sonstiges: Schulungen, Werkstattausrüstung, Projektkosten</li> </ul> </li> <li>- Kostenbetrachtungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Förderung: Kostenvergleich ohne/mit Förderung</li> <li>- Betrachtungszeitraum: gemäß Einsatzzeit Referenzbus, gemäß Einsatzzeit Elektrobus</li> <li>- Kostenentwicklungsszenarien: best case, middle case, worst case</li> <li>- Mehr-/ Minderkosten zum Referenzbus: Kostenvergleich zwischen Elektro- und Referenzbus</li> </ul> </li> </ul>
Bewertung der Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewertung der technisch-betrieblichen Machbarkeit</li> <li>- Aufzeigen von notwendigen betrieblichen Anpassungen</li> </ul>
<b>2.3 ökologische Betrachtung</b>	
Ausweisung von Umwelteffekten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umweltparameter: <ul style="list-style-type: none"> <li>- global wirksame Emissionen: Treibhausgas Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub></li> <li>- lokal wirksame Emissionen: Stickoxide NO<sub>x</sub>, Feinstaub PM</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Reduktionpotenzial</li> <li>- Lärmemissionen</li> </ul> </li> <li>- ökologische Betrachtungen:</li> </ul>

Untersuchungsschritte	wesentliche Inhalte
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- als Well-to-Wheel-Betrachtung</li> <li>- Emissionen während des Betriebs</li> <li>- Emissionen bei der Energieträgerbereitstellung</li> </ul>
Ermittlung von Umweltkosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermeidungskosten</li> <li>- Einsparpotenzial</li> </ul>
Bewertung der ökologischen Einsparpotenziale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewertung der technisch-betrieblichen Machbarkeit</li> <li>- Aufzeigen von notwendigen betrieblichen Anpassungen</li> </ul>
<b>3. Umstellungskonzept</b>	
<b>3.1 Betriebs- und Einsatzkonzept</b>	
Festlegung E-Bus-Systemkonfiguration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufzeigen der ermittelten für den Anwendungsfall optimalen Systemkonfiguration</li> </ul>
Festlegung der Einsatzbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufzeigen der erforderlichen betrieblichen Einsatzbedingungen</li> </ul>
<b>3.2 Fazit und Handlungsempfehlungen</b>	
Umsetzungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entscheidung für Systemumstellung: ja / nein</li> <li>- Umsetzungsplan für Systemumstellung</li> <li>- ggf. weitere Untersuchungsschritte und weiterer Handlungsbedarf</li> </ul>