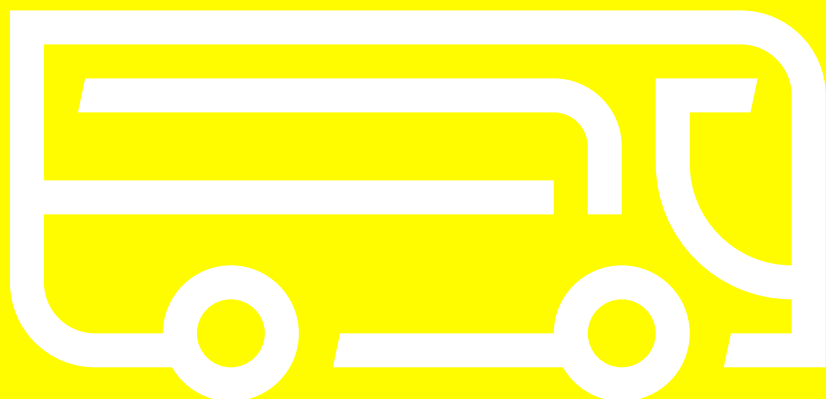




Ergebnisse Mission XVII

Entscheidungshilfe für den Einsatz von Strom und Wasserstoff im öffentlichen Busnahverkehr

Technisch-wirtschaftliche Anforderungen für
die Elektrifizierung von Busflotten



Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Ziele der Mission	3
2. Anforderungen für die Elektrifizierung von Busflotten	5
2.1 Ausschreibung des Linienbündels/Konzession	5
2.2 Routenplanung	5
2.3 Infrastruktur	6
2.4 Ladeinfrastruktur	7
2.5 Wasserstoff-Tankstellen Infrastruktur	8
2.5.1 Optionen für Wasserstoffbetankung	8
2.5.2 Zeitplan	8
2.6 Fahrzeug	9
2.7 Service und Betrieb der Fahrzeuge	10
2.8 Personal	11
3. Danksagung	12
4. Abkürzungsverzeichnis	12
5. Impressum	13

1. Hintergrund und Ziele der Mission

Die Clean Vehicles Directive (CVD) der EU beeinflusst den ÖPNV auch in Deutschland: Ab 2026 müssen 65 % der neu beschafften Busse klimafreundlich, davon die Hälfte emissionsfrei sein. Doch welcher Antrieb passt zu welcher Flotte? Die e-mobil BW unterstützt Busbetreiber und Kommunen im Rahmen des Strategiedialog Automobilwirtschaft BW (SDA) mit einer praxisnahen Entscheidungshilfe zu technischen und wirtschaftlichen Anforderungen. Die Orientierungshilfe unterstützt bei der Wahl zwischen Batterie- und Wasserstoffantrieb, inklusive wichtiger Bewertungen zu Infrastruktur, Werkstattkonzepten und Schulungen des Personals. Mit dem Strategiedialog Automobilwirtschaft BW hat die Landesregierung 2017 ein themen- und sektorenübergreifendes Arbeitsformat etabliert, in dem Akteurinnen und Akteure aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Arbeitnehmerverbänden, Verbraucherorganisationen, Umweltverbänden und Zivilgesellschaft eng zusammenarbeiten, um den Herausforderungen der Automobilwirtschaft im aktuellen Strukturwandel proaktiv zu begegnen. Dazu gehört auch die Umstellung auf batterieelektrische Antriebe, Brennstoffzellenantriebe oder Antriebe mit Wasserstoff-Verbrennungsmotor. Diese drei Antriebsarten erfüllen die EU-Vorgaben für emissionsfreie Fahrzeuge.

Das Netzwerk Null-Emissions-Busse

Um in Baden-Württemberg den Umstieg auf emissionsfreie Busse im ÖPNV zu unterstützen und das Land als Vorreiter in diesem Bereich zu positionieren, wurde das Netzwerk „Null-Emissions-Busse“ ins Leben gerufen. An runden Tischen zu Themen rund um die CVD beteiligen sich das Verkehrsministerium Baden-Württemberg, baden-württembergische Verkehrsunternehmen und verkehrsrelevante Aufgabenträger, der Verband deutscher Verkehrsunternehmen Baden-Württemberg e.V. (VDV BW) und der Verband Baden-Württembergischer Omnibusunternehmer e.V. (WBO), der Landkreistag Baden-Württemberg sowie der Städtetag Baden-Württemberg.

Das Netzwerk Null-Emissions-Busse und die e-mobil BW unterstützen baden-württembergische Verkehrsunternehmen und Busbetreiber bei der Antragstellung verschiedener Förderprogramme und bei generellen Fragestellungen in der Umsetzung der CVD. Das Unterstützungsangebot umfasst die Analyse der technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von emissionsarmen und emissionsfreien Bussen im jeweiligen Verkehrsbetrieb, inkl. der Lade- und Tankinfrastruktur und eine Hilfestellung bei den individuellen Förderanträgen (LGVFG-Förderung) und Ausschreibungen für die Beschaffung der Fahrzeuge.

Kontakt:

- Fabian Haas, e-mobil BW GmbH, M: 0160 94602625, Fabian.Haas@e-mobilbw.de
- Heinz Handtrack, proconman, M: 0151 52562717, Heinz.Handtrack@t-online.de

Fahrzeugklasse	Beschaffungsquoten für „saubere Fahrzeuge“ im 1. Referenzzeitraum 02.08.2021–31.12.2025	Beschaffungsquoten für „saubere Fahrzeuge“ im 2. Referenzzeitraum 01.01.2026–31.12.2030
Busse (> 5 t zul. Gesamtmasse)	45%	65%
Davon emissionsfreie Busse*	22,5% *	32,5% *

*d.h. Fahrzeuge, die weniger als 1 g CO₂/km ausstoßen – wie z.B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge

Tabelle 1: Beschaffungsquoten des Gesetzes über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (SaubFahrzeugBeschG)

Die Beschaffungsquoten, wie in Tabelle 1 dargestellt, gelten für die Bundesverwaltung sowie für die einzelnen Länder und deren Zuständigkeitsbereiche. Sie betreffen Verträge über den Kauf, das Leasing oder die Anmietung von Straßenfahrzeugen sowie öffentliche Dienstleistungsaufträge und Dienstleistungsverträge über Verkehrsdienste. Gemäß dem SaubFahrzeugBeschG gilt ein Fahrzeug als „sauber“, wenn es mit alternativen Kraftstoffen wie Strom, Wasserstoff, nachhaltigen Biokraftstoffen, synthetischen Kraftstoffen oder Gas angetrieben wird. Auch Plug-in-Hybridbusse sind in diesem Sinne „sauber“. Als emissionsfrei gelten Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor oder mit einem Verbrennungsmotor, der weniger als 1 g CO₂/kWh oder 1 g CO₂/km ausstößt. Dazu zählen batterieelektrische Busse, Wasserstoffbusse und Trolleybusse.

Mit der Umstellung auf Busse mit Elektro- oder Wasserstoffantrieb ergeben sich für die Entscheider und Fahrzeugbetreiber umfangreiche Fragestellungen, die weit über das bisher notwendige Wissen für Fahrzeug- und Betriebsentscheidungen hinausgehen. Dazu gehören beispielsweise Bewertungen und Entscheidungen zur eigenen und externen Infrastruktur für die Energieversorgung, zur Schulung des Personals sowie zu betriebseigenen Werkstätten. Um bei der Wahl der passenden emissionsfreien Antriebsform zu helfen, entwickelte die e-mobil BW diese Entscheidungshilfe. Unterstützt von erfahrenen Betreibern, Aufgabenträgern und Multiplikatoren zeigt diese die relevanten Parameter für den Einstieg in einen Null-Emissions-Busverkehr auf. Anschließend wird die Matrix den Entscheidungsträgern und Betreibern des ÖPNV vorgestellt und mit ihnen diskutiert werden.

Die CVD bringt veränderte Planungs- und Kontrollverantwortungen für öffentliche Auftraggeber bei der Fahrzeugbeschaffung und den Betriebshöfen mit sich. Die Beschaffung und der Betrieb emissionsfreier Busse im ÖPNV im Rahmen der Quotenregelung der CVD stellen die Verkehrsunternehmen in Baden-Württemberg vor erhebliche

wirtschaftliche Herausforderungen, da bisherige Finanzierungsinstrumente nicht mehr tragfähig sind. Ohne diskriminierungsfreie Förderinstrumente, auf die alle Verkehrsunternehmen zugreifen können, sind strukturelle Veränderungen im ÖPNV in Baden-Württemberg zu erwarten. Auf Landesebene erfolgte im März 2025 die Aufnahme des SaubFahrzeugBeschG in das Landesmobilitätsgesetz, welches die Umsetzung und Überwachung des SaubFahrzeugBeschG rechtlich festhält und zusätzliche Finanzierungsinstrumente für Kommunen bereithält. Die Kontrollfunktion der Quotenerfüllung obliegt nun dem Regierungspräsidium Karlsruhe.

Neben den Vorgaben des SaubFahrzeugBeschG auf der Nachfrageseite regelt die Flottenemissionsverordnung (EU 2024/1610) auf der Anbieterseite Grenzwerte in Gramm CO₂ pro gefahrenem Kilometer. EU-Parlament, EU-Rat und EU-Kommission haben sich darauf geeinigt, dass die CO₂-Emissionen bei Reise- und Überlandbussen mit einer technisch zulässigen Gesamtmasse von über 7,5 t ab 2030 um 43 %, ab 2035 um 64 % und ab 2040 um 90 % reduziert werden müssen. Bei Stadtbussen soll eine Reduktion um 100 % ab dem Jahr 2035 erfolgen, mit einem Zwischenziel von 90 % ab dem Jahr 2030. Gemäß aktueller Regulatorik ist davon auszugehen, dass der Verkauf von Dieselmotoren seitens der Hersteller ab 2030 nur noch in geringem Umfang möglich sein wird. Busunternehmen wird daher empfohlen, sich sehr zeitnah um den Ausbau der Infrastruktur und perspektivisch um die Umstellung ihrer gesamten Flotte auf emissionsfreie Antriebe zu kümmern, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.

2. Anforderungen für die Elektrifizierung von Busflotten

Im Folgenden werden verschiedene Entscheidungskriterien zur Transformation des Antriebs im ÖPNV analysiert. Im Einzelnen werden die Themen Ausschreibung, Routenplanung, Lade- und Tankstelleninfrastruktur, Fahrzeug, Service und Betrieb sowie Personal behandelt.

2.1 Ausschreibung des Linienbündels/Konzession

Thema	Details
CVD/SaubFahrzeugBeschG (Unterstützung durch e-mobil BW bei generellen Fragestellungen in der Umsetzung der CVD)	<ul style="list-style-type: none"> – Beschaffungsquoten ab 01.01.2026 – 31.12.2030: 65% der Beschaffungen müssen saubere Fahrzeuge sein, 32,5% müssen emissionsfrei sein, Quoten gelten bundeslandweit, nicht pro Vergabe – Ein Fahrzeug gilt nach dem SaubFahrzeugBeschG als „sauber“, wenn es mit alternativen Kraftstoffen wie Strom, Wasserstoff, Biokraftstoffen, synthetischen Kraftstoffen oder Gas angetrieben wird. Auch Plug-in-Hybridbusse sind in diesem Sinne „sauber“. Emissionsfrei sind Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor oder mit einem Verbrennungsmotor, der weniger als 1 g CO₂/kWh oder 1 g CO₂/km ausstößt.
Vorlauf zwischen Ausschreibung und Betriebsaufnahme	– ca. 2 Jahre ab Ausschreibung bis Betriebsaufnahme. Randbedingung für Subunternehmer ggf. beachten
Betriebszeiträume	– i.d.R. 8-10 Jahre, vereinzelt bis zu 12 Jahre
Ausschreibungsumfang	<ul style="list-style-type: none"> – i.d.R. Linienbündel, Gesamt- oder Teilnetze – Ggf. zusätzliche Randbedingungen zu Fahrzeugen (z. B. Ersatzbeschaffung)
Mögliche Nebenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> – Förderung setzt die Verwendung von grünem Wasserstoff bzw. Ökostrom voraus. Daher sind vertragliche Nachweisdokumente zu empfehlen – Möglichkeit einer zusätzlichen Betriebskostenförderung und H₂-Beschaffung durch den Aufgabenträger eruieren und besprechen
Flächenverfügbarkeit/ bestehende Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> – Aufgabenträger soll nach Möglichkeit Hinweise für Infrastruktur in Linienbündelnähe geben und ggf. Flächen bereitstellen – Abstimmung mit Aufgabenträger zu potenziellen Standorten für eine öffentliche Infrastruktur

2.2 Routenplanung

Thema	Details
Taktanforderung	<ul style="list-style-type: none"> – HV-Zeit, NV-Zeit, Wochenende – Weitere Einsatzbedingungen bewerten: Einsatz von On-Demand-Verkehren, Bürgerbussen oder Gelegenheitsverkehren wie Schulbus oder Nahausflugsverkehr
Einsatzplanung	<ul style="list-style-type: none"> – Zwischenladung des Fahrzeugs möglich? (Siehe auch im Kapitel Infrastruktur) – Welche Änderungen für die Einsatzplanung können sich aufgrund des alternativen Antriebssystems ergeben?
Linienanforderung	– Fahrgastzahl pro Linie und Tag
Umlauf	<ul style="list-style-type: none"> – Umlauflänge pro Linien und Tag – Lade- bzw. Tankzeiten berücksichtigen
Wichtige Betriebsparameter für alternative Antriebe	<ul style="list-style-type: none"> – Pausenplanung (z. B. zur Ladung an geeigneten Haltestellen) – Topografie, Höhenmeter bzw. maximale Steigung – Geschwindigkeitsanforderung
Möglicher Zusatzenergiebedarf	<ul style="list-style-type: none"> – Weitere Energiebedarfe wie z. B. Klimatisierung, Heizung, Kneeling oder Vorkonditionierung bewerten – Einfluss der Jahreszeiten bzgl. des primären Energiebedarfs detailliert bewerten – Maximale Verbrauchswerte ermitteln und bewerten

2.3 Infrastruktur

Thema	Details
Energieangebot von Strom und/oder Wasserstoff (Kontaktstellung durch e-mobil BW bzgl. H2-Tankstellenbetreibern und -projektierer)	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Zeitfenster stehen im Betriebsablauf für Beladung und Betankung zur Verfügung - Grundsätzlich bezüglich Infrastruktur immer langfristig denken und die gesamte Fahrzeugflotte betrachten, da ab 2030 aus Herstellersicht 90% der Stadtbusse emissionsfrei sein müssen, ab 2035 100% - Daneben sind die möglichen Ausbauplanungen der Netzbetreiber oder Tankstellentreiber zu berücksichtigen - Lade-/Energiemanagementsysteme nutzen - Batteriespeichersysteme, Bidirektionales Laden und Autonomes Fahren am Betriebshof berücksichtigen
Lade-/Tankzeitfenster und Ableitung notwendiger Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> - Abschätzung Ladeleistung in kW - Abschätzung gesamte Betankungsleistung in kg pro Tag und pro Stunde (Back-to-back-Bewertung)

2.4 Ladeinfrastruktur

Thema	Details
Ladeinfrastruktur im Betriebshof	<ul style="list-style-type: none"> - Netzbetreiber, Abstand zu nächstem Anschluss an das Mittelspannungsnetz - Heutige Anschlussleistung Betriebshof, Netzertüchtigung/Anschluss an Mittelspannungsnetz, Errichten zusätzlicher Trafostationen, Betriebshofmanagementsystem z. B. zur Stellplatzzuordnung, Last- und Lademanagementsystem - ggf. Neuerrichtung einer Netzübergabestation (Aufgabe des Netzbetreibers); wichtig: langfristige Strategie für Elektrifizierung der Gesamtflotte, Netzanschluss beantragen, der für End-Ausbau benötigt wird (ggf. nicht bekannt je nach Ausschreibung) - Netzanschluss kann kritischer Zeitfaktor werden! - Der Umbau des Betriebshofs unterliegt i.d.R. Restriktionen, daher ggf. Einschränkungen hinsichtlich Ladeinfrastruktur (z.B. Abstand zwischen Fahrzeugen: Diesel nah beieinander; bei BEV mehr Platz zwischen Fahrzeugen notwendig/Brandschutz: bei Neubau wird in Brandabschnitten gebaut) - Voll-/Depotladen; Gelegenheitsladen: Endstellenladung im Betriebs-/Stadtgebiet notwendig - Umrüstung Betriebshöfe: Planungs-, Genehmigungs-, Beschaffungs-, und Bauzeiten: 18-28 Monate
Ladetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Generell: Plug-in-Technik (Stecker), Dockingstation (Pantograph), künftig evtl. induktiv, Bidirektionales Laden - Ladeschnittstelle Plug-In-Technik: aktuell: Combined Charging System-(CCS-)Schnittstelle in der Variante Combo-2 (europäische Variante); künftig auch MCS-Schnittstelle (bspw. an Wendestellen) - Standardisierung und Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur und Bus (Lademanagementsystem) <p>Diskussion der Ladetechniken:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pantograph (Bottom-Up oder per Ladeschienen auf dem Fahrzeug): Betriebshofresilienz, bietet bei Depotladen hohes Automatisierungspotenzial, um direkt autonomes Fahren in die Betriebshofplanung zu integrieren; höhere Ladeleistungen, einfachere Bedienung: nur richtig einparken und einen Knopf drücken. - Kabelgebundene Ladestationen: mobil oder festverbaut, kostengünstiger, geringere betriebliche Ausfallrisiken, (noch) geringere Ladegeschwindigkeit im Vergleich zu Pantograph unterschätztes Risiko der Beschädigung der Ladesäulen bei Parkvorgang - Gelegenheitsladen führt zu mehr Resilienz bei Stromausfall an einem Betriebshof, Klärungsbedarf mit umliegenden Gemeinden und Bezirken zu Endhaltestellen und Ladeinfrastruktur - Möglichkeiten für Zwischenladung pro Linie sowie Gelegenheitslader an Endhaltestelle, Pulsloader unterwegs klären: Platz für Pantographeninstallation, Knotenpunkte mit höherer Auslastung? statisches Netz oder häufigere Linienverschiebungen?
Ladebedarf und Verbrauchsrichtwerte (Unterstützung e-mobil BW)	<ul style="list-style-type: none"> - Verbrauchsrichtwerte können nur Anhaltswerte sein, da neben dem Routenverlauf z.B. auch saisonaler Verbrauchseinfluss besteht. Daher sind frühestmöglich eigene Versuchsfahrten bzw. eine externe Beratung zu empfehlen. - Verbrauchsrichtwert 12m Solobus: 130 kWh/100km - Verbrauchsrichtwert 18m Gelenkbus: 170 kWh/100km
Platzbedarf	<ul style="list-style-type: none"> - Bei Steckerladung höherer Platzbedarf von ca. 80 cm von eingestecktem Stecker bis zum nächsten Bus - Flächennebenbedarfe beachten z. B. für Anfahrten - Empfehlung der NOW GmbH: 10 % Stellplatzverlust einplanen
Anzahl notwendiger Ladepunkte	<ul style="list-style-type: none"> - Paralleles Laden erlaubt gleichzeitiges Laden von zwei oder mehr Fahrzeugen - Geringe Steckeranzahl reduziert Flexibilität - Sequenzielles Laden ist günstiger, da kein Rangieren notwendig, aber: Fahrzeuge können nicht gleichzeitig geladen werden
Energie	<ul style="list-style-type: none"> - Integration Energiemanagementsystem - Batteriespeicher zur Optimierung des Stromeinkaufs - Bidirektionales Laden
Lärmemission (Genehmigung)	<ul style="list-style-type: none"> - Ladeinfrastruktur und Kühlaggregate der Busse, die nachts laufen, können laut sein, Nähe zu Wohngebiet relevant, Lärmschutz
Förderung (Unterstützung e-mobil BW)	<ul style="list-style-type: none"> - Bewertung möglicher öffentlicher Förderungen - Mögliche Wechselwirkungen auf die Zeitplanung betrachten - LGVFG Förderung betrachten (bis zu 75% der zuwendungsfähigen Investitionskosten, zuzüglich Planungskostenpauschale)
Alternative Möglichkeiten der Projektfinanzierung	<ul style="list-style-type: none"> - Finanzierungsmodelle: Leasing der Infrastruktur, Pay-per-use - (Halb-) öffentliches Laden

2.5 Wasserstoff-Tankstellen Infrastruktur

Thema	Details
Bedarf (Siehe auch eBusTool, www.ebustool.de)	<ul style="list-style-type: none"> - Verbrauchsrichtwerte können nur Anhaltswerte sein, da neben dem Routenverlauf z.B. auch saisonaler Verbrauchseinfluss besteht. Daher sind frühestmöglich eigene Versuchsfahrten sowie Simulationen bzw. eine externe Beratung zu empfehlen. - Verbrauchsrichtwerte für 12m Solobus und 18m Gelenkbus sind 7 bis 10 kg/100km
Bereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Folgende Aspekte möglichst gut absichern! - Lieferant, Zweitlieferant ermitteln und bewerten. Bei Fremdbelieferung möglichst angfristige Lieferverträge vereinbaren. - Option von „take or pay“ mit Lieferanten bewerten, erlaubt dem Lieferanten ggf. bessere Planungssicherheit und dem Abnehmer ggf. geringere Preise - Zertifizierung des grünen Wasserstoffs - Belieferungsform evaluieren (per Trailerbelieferung oder Pipeline) - Bewertung der Option vor Ort H2-Erzeugung und Speichermengen, auch für evtl. zukünftige Ausbaupläne. Bewertung möglicher Vorteile hinsichtlich längerfristiger Planbarkeit - Lieferpreise möglichst absichern - Busbetankung grundsätzlich bei 350 bar

2.5.1 Optionen für Wasserstoffbetankung

Thema	Details
Bewertung von öffentlichen Tankstellen (Unterstützung e-mobil BW)	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfung, wo und welche geeigneten H2-Tankstellen vorhanden sind, öffentliche Tankstellen sind ggf. initial die günstigere Lösung - Bewertung, wo eine Ersatztankstelle lokalisiert ist - H2-Tankstellenausfall sollte mit Abnahmevertrag geregelt sein - Bewertung von Optionen einer redundanten Auslegung und Bewertung gegenüber der Versorgungssituation
Depottankstelle	<ul style="list-style-type: none"> - Option der Depottankstelle nur für größere Busflotten bewerten - Maximal vor Ort gespeicherte H2-Menge sollte nach Möglichkeit kleiner 5t bleiben (siehe BlmSchV) - Platzbedarf inklusive Schleppkreis und Speicher, Trailer Stellplätze (Wechseltrailersystem) bewerten - Bewertung und Planung von zusätzlichem Volumen mittels stationären oder mobilen Speichers vor Ort
Option mobile Tankstelle am Depot	<ul style="list-style-type: none"> - Achtung: Mobile Gasfüllanlagen benötigen das gleiche Genehmigungsverfahren wie stationäre

2.5.2 Zeitplan

Thema	Details
Genehmigung	<ul style="list-style-type: none"> - Betriebssicherheitsverordnung nach §118 BetrSichV (LASI49) oder Genehmigungsverfahren (nach BlmschV für > 5t) - Details siehe §118 BetrSichV oder 4. BlmschV bzw. siehe auch Checkliste H2-Tankstellen (kann bei Interesse bei der e-mobil BW angefordert werden) - Frühzeitig Kontakt zur zuständigen Behörde aufnehmen. Als aktueller Erfahrungswert sollten mindestens 2 Jahre eingeplant werden - Aktive Unterstützung des Aufgabenträgers einfordern - Ggf. Unterstützung durch erfahrenes Unternehmen
Förderung	<ul style="list-style-type: none"> - Ermittlung der aktuellen Möglichkeiten im Bundesland oder von Bund, ggf. auch EU
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> - Lieferzeiten der Anlagen und Komponenten, potenziellen Einfluss auf Förderrandbedingungen sorgfältig bewerten; mehrere Anbieter bewerten. - Insbesondere können notwendige Transformatoren Lieferzeiten über 12 Monaten aufweisen - Baustellenarbeiten evaluieren - Gesamte Investitionshöhe ermitteln

2.6 Fahrzeug

Thema	Details
Lieferzeiten	– Lieferzeiten sind beim Hersteller kritisch zu hinterfragen. Ggf. vertragliche Festlegung anfragen
Anforderungen	– Neben Standardanforderungen wie Anzahl der Sitz- und Stehplätze auch Sonderanforderungen definieren, (Siehe z.B. auch Infrastruktur bzw. zusätzlicher Energiebedarf) – Achtung: Kosten für Lagerhaltung, Wartung o.ä. könnten beeinflusst werden
Emissionen bzw. Emissionsfreiheit	– Bestätigung des Herstellers einholen
Hersteller (Vernetzung durch e-mobil BW)	– Referenzen mit Erfahrungsbasis beim Hersteller anfragen – Kontaktdaten von Ansprechpartner in Ausschreibungen fordern – Ggf. eigene Recherche zu Betriebserfahrungen
Abschreibedauer	– Es ist zu bewerten, ob für neue Technologien mit neuen Lieferanten eine kürzere Abschreibedauer sinnvoll ist, z.B. über den Förderzeitraum
Restwert	– Aktuell sind keine belastbaren Erfahrungswerte bekannt – Ebenso ist zu beachten, dass daher ein Weiterverkauf dadurch gegenwärtig schwierig ist – Austausch- oder Nachrüstooptionen mit Hersteller kritisch hinterfragen
Ersatzteilbevorratung	– Fahrzeugangebot nach Möglichkeit mit Erstbevorratung an Ersatzteilen – Erstbevorratung im Angebot durch OEM benennen lassen – Generell Lieferzeiten erfragen und vertraglich fixieren
Personalkosten	– ggf. mit Anzahl der Busse anpassen
Energieverbrauch und Reichweiten (Unterstützung e-mobil BW)	– BEV-Reichweite ist von vielen Faktoren abhängig (z.B. Fahrer, Außentemperatur, Geschwindigkeit) – Durch Heizen im Winter kann sich der Energieverbrauch im Vergleich zu reinem Fahren nahezu verdoppeln – Referenzen mit Erfahrungsbasis beim Hersteller anfragen – Preissituation Strom und Wasserstoff mit lokalem Netzbetreiber oder H2-Infrastrukturbetreiber klären – Siehe auch Richtwerte im Teil Infrastruktur
Erlös aus CO ₂ -Zertifikaten	– Erlös aus CO ₂ -Ersparnis durch BEV oder H2-Busse berechnen und in Wirtschaftlichkeitsberechnung einpreisen
THG-Erlöse	– Für BEV und H2-Fahrzeuge Dreifachanrechnung berücksichtigen
Wartungskosten	– Ggf. längere Standzeiten der Busse in einer Werkstatt berücksichtigen
LIS-Kosten/ H2-Infrastrukturkosten	– Kosten für LIS bzw. H2-Infrastruktur – ggf. als Fahrzeugumlage darstellen

2.7 Service und Betrieb der Fahrzeuge

Thema	Details
Wartungskosten	<ul style="list-style-type: none"> - Wartungskosten von BEV- oder H2-Bussen können gegenüber Dieselfahrzeugen etwas reduziert sein - Grober Richtwert: Reduktion von 15% für BEV und von 5% für H2-Busse - Die Standzeiten sind ggf. länger und somit Reservebusse vorzuhalten - Belastbare Referenzen bzw. Ansprechpartner von Hersteller anfordern
Störungsmeldung Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Fahrzeug mit einer Störungsmeldung darf nicht in die Halle einfahren - Mit Hersteller Regelung vereinbaren
Havariekonzept	<ul style="list-style-type: none"> - Detailliertes Konzept erarbeiten, was im Falle eines Unfalls zu beachten ist: Rollen und Aufgaben von Busfahrer, Feuerwehr, Polizei, Abschleppdienst - H2-Fahrzeuge: Ausfallzeiten beachten und Serviceverträge mit Herstellern bewerten. In der Regel werden an allen H2-Kernkomponenten keine eigenen Arbeiten übernommen. Dazu Fahrzeughersteller und Tankstellenhersteller kontaktieren.
Tägliches Servicekonzept	<ul style="list-style-type: none"> - Anspruch aus Betriebsablauf ermitteln - Reinigung kann bei Laden an öffentlicher LIS herausfordernd sein
Umgang mit Batterien und/oder Brennstoffzellenantrieben	<ul style="list-style-type: none"> - Siehe entsprechende Wartungskonzepte des Herstellers. Dies muss im Werkstattkonzept enthalten sein, da es sicherheitsrelevant ist
Batterietemperaturüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> - Klärung mit Fahrzeughersteller
Interne Werkstatt	<ul style="list-style-type: none"> - Bewertung des Arbeitsumfangs, der intern durchgeführt werden soll. Der Arbeitsumfang orientiert sich an einem heutigen Bus und bekannter Werkstattumgebung - BEV: Stadtbuss hat i.d.R. Batterien auf dem Dach, Überlandbusse im Heck im Bodenbereich - H2-Fahrzeuge: Tanks und Aggregate i.d.R. auf dem Dach - Lösung für Dacharbeitsplatz inkl. Krananlage intern oder extern finden - Bei externem Partner eine praktikable Abschleppoption zu diesem Partner festlegen
Externe Werkstatt	<ul style="list-style-type: none"> - Umfang der externen Arbeiten festlegen. Hierbei kritisch Umgang mit Batterie oder H2-Stack/Tanksystem betrachten. Erfahrung anderer Betreiber anfragen.
Umbau bzw. Erweiterung	<ul style="list-style-type: none"> - Anzahl der Wartungsplätze. Ggf. Betrachtung auch für höhere Buszahlen. - Bezüglich Kosten Erfahrung anderer Betreiber oder von Werkstätten mit Erfahrung anfragen. - Zusätzlichen Platzbedarf berücksichtigen z. B. Einbau von Dachkränen und Arbeitsplätzen auf Höhe der Busdächer
Spezialwerkzeuge und Schutzausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> - Bedarf an Spezialwerkzeugen für Arbeiten an Hochvoltanlagen sowie persönliche Schutzausrüstungen bewerten
Hochvolt-Schulungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> - Nach Möglichkeit „inhouse“-Schulungen durchführen
H2-Sicherheit für Werkstattinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> - H2-Warnanlage, Belüftungskonzepte, Notfallkonzepte - Gibt es hier sinnvolle Vorgaben bzw. Erfahrungen? - Grundlegende Entscheidung treffen, was in eigener Werkstatt gemacht werden soll. Geeignete Schutzmaßnahmen für Arbeiten an Wasserstoffleitungen oder -anlagen sowie den Betrieb der Anlagen durch Betreiber festlegen
Wartung von Ladeinfrastruktur und H2-Tankstelle	<ul style="list-style-type: none"> - Falls eine inhouse Wartung nicht möglich ist, externe Lösung finden

2.8 Personal

Thema	Details
Personalstruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine und fahrzeugspezifische Schulung - Vorausschauende Personalveranstaltungen und Personalvertretungen mit Diskussion durchführen
Schulungen für Fahrpersonal	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Fahrer sollte als interner Ausbilder geschult werden, mit dem Ziel als Multiplikator zu wirken („Train the trainer“). Dies erfolgt i.d.R durch qualifiziertes Fachpersonal des Herstellers oder durch Fahrlehrer. Aufwand hierfür ca. 2-3 Arbeitstage. - Weitere Fahrer können durch diesen Ausbilder qualifiziert werden. Aufwand ca. 0,5 Arbeitstag
Schulung Werkstattpersonal	<ul style="list-style-type: none"> - HV-Schulung ist zwingend notwendig für Werkstattpersonal, ein Ausbildungskonzept für Bestandsmitarbeiter wird empfohlen - Qualifizierte Anbieter sind am Markt, siehe Internet: www.hv-schulungen.de oder Fahrzeughersteller - Bildung von Gruppen für Sonderthemen. Möglichst wenig „Hoheitswissen“ zulassen. - Weiterbildung als „wiederkehrende Maßnahme“ vorsehen - Sicherheitsschulung für Werkstatt: Diese geht über die heute übliche Sicherheitsunterweisung hinaus. <p>Auch hierfür ist die Ausbildung einer speziellen Person sinnvoll.</p>
Zusätzlicher Personalbedarf	<ul style="list-style-type: none"> - Zu betrachten anhand der ermittelten Anzahl an Bussen und der Werkstattstruktur. Siehe auch VDV 881.

3. Danksagung

Die Erstellung dieser Analyse wäre ohne die tatkräftige Unterstützung zahlreicher Personen nicht möglich gewesen. Wir danken ihnen herzlich für die fachliche Beratung, die zügige Klärung offener Fragen und die Mitwirkung an der finalen Textfassung. Mit ihren langjährigen Erfahrungen unterstützten diese Analyse Dr. Frank Koch (EE ENERGY ENGINEERS GmbH), Yunus Keskin und Sebastian Menges (Rhein-Neckar-Verkehr GmbH), Steffen Raff (Stuttgarter Straßenbahnen AG), Heinz Handtrack (proconman), Oliver Gutt (GP Joule Hydrogen GmbH) und Andreas Mayer (WSW mobil GmbH). Wir bedanken uns ausdrücklich für diese Unterstützung.

4. Abkürzungsverzeichnis

BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BEV	Battery Electric Vehicle
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
CCS	Combined Charging System
CVD	Clean Vehicles Directive
HV	Hochvolt
IEC	International Electrotechnical Commission
LGVFG	Landesgemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
LIS	Ladeinfrastruktur
MCS	Megawatt Charging System
NOW GmbH	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
SaubFahrzeugBeschG	Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge
THG	Treibhausgase

5. Impressum

Herausgeber

e-mobil BW GmbH

Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive

Baden-Württemberg

www.e-mobilbw.de

Autoren

e-mobil BW GmbH

Fabian Haas, Dr. Volker Banhardt, Cara Schwark-Fiedler

Layout/Satz/Illustration

markentrieb – Die Kraft für Marketing und Vertrieb

