

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

MACHBARKEITSSTUDIE

Busse mit emissionsfreien Antrieben

Untersuchtes Unternehmen:

Jean Schatorjé GmbH & Co. KG
Gewerbering 19
47623 Kevelaer
Deutschland

Konzepterstellung

Wendlandt Unternehmensberatung GmbH
Gerichtsstraße 4
56410 Montabaur

IZAAC. ENERGY GmbH
Bei den Mühlen 69A
20457 Hamburg

1 ZUSAMMENFASSUNG

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die JEAN SCHATORJÉ GMBH & CO. KG beauftragte eine umfassende Machbarkeitsstudie zur sukzessiven Elektrifizierung ihrer Busflotte am Betriebshof in Kvelaer. Ziel war die Entwicklung eines technisch realisierbaren und wirtschaftlich darstellbaren Konzepts für die Umstellung auf emissionsfreie Antriebe unter Berücksichtigung der bestehenden Umläufe, der erforderlichen Infrastruktur sowie der lokalen Energiebereitstellung am Betriebsstandort.

Das Konzept soll sowohl ökologisch als auch ökonomisch optimiert werden und die Zukunftssicherung des Betriebsstandorts gewährleisten. Flankierend wurden die Möglichkeiten der lokalen, emissionsfreien Energieerzeugung sowie ein passender Infrastrukturaufbau — mit besonderem Augenmerk auf die Vermeidung von Anfahrschäden und die effiziente Flächennutzung — erarbeitet.

1.2 Technische Machbarkeit

Die Analyse der bestehenden Umläufe zeigt, dass eine vollständige Elektrifizierung ohne generellen Fahrzeugmehrbedarf technisch realisierbar ist. Nahezu alle Dieselumläufe können durch geringfügige Anpassungen so gestaltet werden, dass sie mit dem aktuellen Stand der Batterietechnologie fahrbar sind. Lediglich für den Umlauf LV5 an Samstagen und Sonntagen sowie für den Ferienumlauf LV11 sind Umlaufteilungen erforderlich, die je Betriebstag den Einsatz eines zusätzlichen Elektrobusses bedingen. Der Umlauf LV8 ist an Schultagen im letzten Betriebsjahr unter Worst-Case-Bedingungen als grenzwertig einzustufen (SOC_{min} ~5 % mit MAN, ca. 13 % mit BYD B12), weshalb hier ein Fahrzeug mit einer höheren Batteriekapazität (BYD) vorgesehen ist.

Das empfohlene Ladekonzept als Depotlader kombiniert nächtliche Ladung mit strategischen Tagesladefenstern am Betriebshof. Die aktuellen Fahrleistungen bieten durch teilweise lange Standzeiten über Nacht ausreichend Spielräume für ein marktpreisorientiertes Laden. Eine Streckenladung ist aufgrund der Umlaufstruktur und der fehlenden geeigneten Infrastruktur an den Linienenden nicht notwendig.

1.3 Stufenweise Umsetzung

Stufe 1 (ab 2025): Teilausbau mit 8 E-Bussen (Umstellung von 8 Solobussen)

- Fokus auf die Umläufe mit der Bezeichnung LV (hohe jährliche Fahrleistung von ca. 600.000 km)
- Aufbau der Grundinfrastruktur mit 630 kVA-Netzanschluss (ohne Batteriespeicher) bzw. 300 kVA (mit Batteriespeicher) und 8 Ladepunkten
- Gesamtenergiebedarf: ca. 786 MWh elektrische Energie (ggf. zuzüglich Heizölbedarf für fossile Zusatzheizer)
- Fahrzeugauswahl: 7× MAN Lion's City 12m sowie 1× BYD B12 (SORT II) für den grenzwertigen Umlauf LV8 an Schultagen und die Ferienumläufe LV11 und LV5

Stufe 2 (ab 2035): Vollausbau auf 30 Elektrobusse am Betriebshof Kvelaer

- Vollständige Flottenerweiterung auf alle Fahrzeugkategorien (Solo-, Gelenk-, Mini-, Midibus und PKW-Ersatz)
- Gesamtenergiebedarf: ca. 1.455 MWh elektrische Energie
- Energieeffizienzsteigerung gegenüber dem Dieselsbetrieb von über 50 % im Gesamtenergiebedarf
- Optimale Ausnutzung der Infrastrukturinvestitionen; für den Vollausbau ist ein Netzanschluss von 1.000 kVA (ohne Batteriespeicher) bzw. 600 kVA (mit Batteriespeicher) erforderlich — frühzeitige Beantragung wird empfohlen

1.4 Energiesystemvarianten

Vier verschiedene Energiesystemkonfigurationen wurden detailliert analysiert:

- Variante 1: Reiner Netzbezug (kurzfristig wirtschaftlichste Lösung, geringster Investitionsbedarf)
- Variante 2: Netzbezug mit stationärem Batteriespeicher (666 kWh Bruttokapazität, Stufe 1 und 2)
- Variante 3: Netzbezug mit 154 kWp PV-Anlage (Stufe 1) bzw. 154 kWp PV-Anlage (Stufe 2) auf den bestehenden Dachflächen des Betriebshofs
- Variante 4: Netzbezug mit PV-Anlage und Batteriespeicher (666 kWh)

Die Modellierung zeigt, dass durch eigene PV-Stromerzeugung Eigenverbrauchsquoten von bis zu 96 % (Stufe 1, Variante 4) bzw. 97 % (Stufe 2, Variante 4) möglich sind. Bei alleinigem PV-Einsatz ohne Speicher (Variante 3) werden Eigenverbrauchsquoten von 38 % (Stufe 1) bzw. 47 % (Stufe 2) erreicht. Der Autarkiegrad beträgt dabei 8 % (Stufe 1) bzw. 5,25 % (Stufe 2) und kann durch den Einsatz des Batteriespeichers auf bis zu 19 % (Stufe 1) bzw. 10,5 % (Stufe 2) gesteigert werden. Aufgrund der im Verhältnis zum Gesamtenergiebedarf relativ kleinen PV-Anlage bleibt der absolute Beitrag zur Eigenversorgung begrenzt.

1.5 Wirtschaftliche Bewertung

Das elektrische Energieversorgungssystem birgt aufgrund höherer Investitionskosten — insbesondere bei den Fahrzeugen — einen Kostennachteil gegenüber dem aktuellen Dieselsystem. Die jährlichen Energiekosten zum Betrieb der Busse sinken jedoch um bis zu 26 %, während der Gesamtenergiebedarf durch die höhere Effizienz der Elektromotoren um über 50 % reduziert wird.

Mehrkostenanalyse Stufe 1:

- Ohne Förderung: +29 % gegenüber Dieselbetrieb
- Mit Infrastrukturförderung des Landes Hessen: +22,59 %

Beim Vollausbau (Stufe 2) verbessert sich das Kostenverhältnis deutlich, da die Infrastrukturinvestitionen für Netzanschluss und Mittelspannungstechnik über eine größere Fahrzeugflotte amortisiert werden und die spezifischen Kosten pro Bus sinken. Ohne eine grundlegende Anpassung der Vergütung durch die Aufgabenträger ist auch beim Vollausbau ein kostendeckender Betrieb ohne Förderung wirtschaftlich herausfordernd.

1.6 Ökologischer Nutzen

Die vollständige Elektrifizierung der Busflotte führt beim Vollausbau zu einer CO₂-Reduktion von 95 % (von ca. 951,8 t auf ca. 43,5 t jährlich) bei Bezug von zertifiziertem Grünstrom mit Herkunftsnachweisen. Die verbleibenden Emissionen entfallen auf die fossilen Dieselsatzheizungen, die zur Sicherstellung der Reichweite in der Übergangszeit eingesetzt werden. Durch die Integration eigener PV-Erzeugung wird der ökologische Fußabdruck zusätzlich verbessert und die lokale Wertschöpfungstiefe erhöht.

1.7 Empfehlungen

1. **Kurzfristig:** Start mit Variante 1 (reiner Netzbezug mit Spotmarkt-Preisen) für optimale Wirtschaftlichkeit in der Anfangsphase — bereits ohne optimiertes Lademanagementsystem ist der Spotmarkt-Preis nahezu auf Augenhöhe mit dem Festpreis-Tarif.
2. **Langfristig:** Ausbau zu Variante 3 (PV-Anlage, 154 kWp) für erhöhte Wirtschaftlichkeit und einen größeren Anteil lokaler, emissionsfreier Stromerzeugung. Durch weiterentwickeltes Fuhrparkmanagement und optimierte Ladefenster kann der Eigenverbrauchsanteil weiter gesteigert werden.
3. **Infrastruktur:** Vorausschauender Aufbau der gesamten Infrastruktur bereits in Stufe 1 (inkl. Leerrohren für zukünftige Kabelführungen). Den Netzanschluss für den Vollausbau (1.000 kVA) frühzeitig beim Netzbetreiber beantragen, da Reaktionszeiten erfahrungsgemäß lang sind.

4. **Fahrzeugauswahl:** Empfehlung für Fahrzeuge mit fossiler Zusatzheizung zur Erhöhung der Betriebsflexibilität und Reichweitensicherheit, auch wenn diese zunächst abgeschaltet bleibt. Für den grenzwertigen Umlauf LV8 sowie die Ferienumläufe LV11 und LV5 ist ein Fahrzeug mit höherer Batteriekapazität (z. B. BYD B12) vorzusehen.
5. **Förderung:** Beantragung der Landesförderung Hessen (Infrastrukturförderung) zur Reduktion der Mehrkostenbelastung von +29 % auf +22,59 %. Gleichzeitig sollte die Bundesförderung für Elektrobusse in Anspruch genommen werden.
6. **Vergütungsanpassung:** Proaktiver Dialog mit den Aufgabenträgern über eine Vergütungsanpassung. Erst durch eine entsprechende Anpassung der Linienentgelte wird eine vollständige wirtschaftliche Darstellbarkeit der Antriebswende möglich.