

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

MACHBARKEITSSTUDIE

Busse mit emissionsfreien Antrieben

Untersuchtes Unternehmen:

FRIEDRICH WÖHRLE GMBH
Hagenfeldstraße 6
75038 Oberderdingen
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 FRIEDRICH WÖHRLE GMBH, ein traditionsreiches Familienunternehmen seit 1945, beauftragte eine umfassende Machbarkeitsstudie zur sukzessiven Elektrifizierung ihrer Busflotte. Das Unternehmen betreibt aktuell 43 Fahrzeuge (35 Solobusse, 1 Gelenkbus, 7 Midibusse) mit einer Jahresfahrleistung von 2.855.683 km. Primäres Ziel der Studie ist die Zukunftssicherung des Betriebsstandorts durch Entwicklung eines technisch realisierbaren und wirtschaftlich darstellbaren Konzepts für die Umstellung auf emissionsfreie Antriebe unter Berücksichtigung der bestehenden Umläufe, der erforderlichen Infrastruktur und der lokalen Energiebereitstellung.

1.2 Technische Machbarkeit

Die detaillierte Analyse der bestehenden Umläufe bestätigt, dass eine Elektrifizierung ohne Fahrzeugmehrbedarf technisch realisierbar ist. Basierend auf aktueller Batterietechnologie (MAN Lion's City E mit 383 kWh Batteriekapazität und 212 km Reichweite am End-of-Life ohne Zusatzheizung) können alle kritischen Umläufe durch geringfügige Anpassungen elektrifiziert werden. Das empfohlene Depotlade-Konzept nutzt nächtliche Ladung kombiniert mit strategischen Tagesladefenstern am Betriebshof. Die vorhandenen Standzeiten bieten ausreichende Flexibilität für marktpreisorientiertes Laden.

1.3 Stufenweise Umsetzung

Stufe 1 (ab 2027): Teilausbau mit 10 E-Bussen (Solobusse)

- Umstellung ausgewählter Umläufe mit höchster Fahrleistung (ca. 660.000 km/Jahr)
- Aufbau der Grundinfrastruktur: 800 kVA Netzanschluss, 10 Ladepunkte
- Gesamtenergiebedarf: ca. 785 MWh elektrische Energie (Reduktion um 62% gegenüber Diesel)
- Notwendige Umlaufanpassungen: Teilung von Ferien-, Samstags- und Sonntagsumläufen aufgrund Reichweitenrestriktionen insofern notwendig

Stufe 2 (ab 2035): Vollausbau auf 43 Elektrobusse am Betriebshof

- Komplette Flottenerweiterung: 31 Solobusse, 1 Gelenkbus, 11 Midibusse
- Gesamtenergiebedarf: ca. 3.401 MWh elektrische Energie
- Erforderlicher Netzanschluss: 1.200 kVA

1.4 Energiesystemvarianten

Vier verschiedene Energiesystemkonfigurationen wurden detailliert analysiert:

- **Variante 1:** Reiner Netzbezug (kurzfristig wirtschaftlichste Lösung)
- **Variante 2:** Netzbezug mit stationärem Batteriespeicher (666 kWh)
- **Variante 3:** Netzbezug mit 200 kWp (Stufe 1) bzw. 400 kWp (Stufe 2) PV-Anlage
- **Variante 4:** Netzbezug mit PV-Anlage und Batteriespeicher

Die Modellierung zeigt, dass durch eigene PV-Stromerzeugung Eigenverbrauchsquoten von bis zu 45% (Stufe 1) bzw. 61% (Stufe 2) möglich sind. Der Autarkiegrad erreicht jedoch lediglich 11% (Stufe 1) bzw. 8%

(Stufe 2), kann aber durch Batteriespeicher auf 22% bzw. 11% gesteigert werden. Dies verbessert die Wirtschaftlichkeit und Unabhängigkeit des Systems erheblich.

1.5 Wirtschaftliche Bewertung

Das elektrische Energieversorgungssystem weist aufgrund höherer Investitionskosten einen Kostennachteil gegenüber dem aktuellen Dieselsystem auf. Die Energiekosten sinken jedoch um bis zu 20%, während der Gesamtenergiebedarf durch die höhere Effizienz der Elektromotoren um über 50% reduziert wird.

Mehrkostenanalyse Stufe 1:

- Ohne Förderung: +29,6% gegenüber Dieselbetrieb
- Mit Fahrzeugförderung: +15,7%
- Mit vollständiger Förderung (Fahrzeug + Infrastruktur): +13%

Beim Vollausbau (Stufe 2) verbessern sich die spezifischen Kosten durch Skaleneffekte bei der Infrastruktur.

1.6 Ökologischer Nutzen

Die Elektrifizierung mit zertifiziertem Grünstrom (inkl. Herkunftsnachweise) führt zu einer CO₂-Reduktion von 96%. Die jährlichen Emissionen sinken von ca. 2.063 t CO₂ (Dieselbetrieb) auf ca. 77 t CO₂ (verbleibende Dieselzusatzheizung). Durch Integration eigener PV-Erzeugung wird der ökologische Fußabdruck zusätzlich verbessert und die lokale Wertschöpfung erhöht.

1.7 Empfehlungen

1. **Kurzfristig:** Start mit Variante 3 (Netzbezug mit PV-Anlage und Spotmarkt-Bezug) als wirtschaftlichste Lösung
2. **Langfristig:** Beibehaltung der PV-Integration für maximale Eigenverbrauchsoptimierung und ggf. Erweiterung um einen Batteriespeicher
3. **Infrastruktur:** Vorausschauender Aufbau der gesamten Infrastruktur bereits in Stufe 1, frühzeitige Beantragung des 1.200 kVA Netzanschlusses
4. **Fahrzeugauswahl:** Fahrzeuge mit Dieselzusatzheizung für Betriebssicherheit, auch wenn zunächst nicht genutzt
5. **Förderung:** Aktive Beantragung aller verfügbaren Bundes- und Landesförderungen
6. **Vergütung:** Notwendige Verhandlungen mit Aufgabenträgern über Vergütungsanpassungen, da aktuelle Mehrkosten ohne Förderung nicht darstellbar sind bzw. Berücksichtigung der Mehrkosten bei Ausschreibungen

Empfohlen wird allerdings bei der zukünftigen Fahrzeugauswahl genau abzuwägen, ob die Fahrzeuge mit oder ohne fossile Zusatzheizung sinnvoller sind. Durch minimale Umlaufumstellung ist die gänzliche Verkehrsleistung vollständig elektrifizierbar. Das Ladekonzept kann als Depotlader realisiert werden. Die aktuellen Fahrleistungen mit ihren teilweise langen Stand- bzw. Ladezeiten der Fahrzeuge über Nacht bieten ausreichend Spielräume, um marktpreisorientiert laden zu können.