

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# MACHBARKEITSSTUDIE

Busse mit emissionsfreien Antrieben

Untersuchtes Unternehmen:

Grasmann-Reisen GmbH  
Marienbrunner Str. 18  
97840 Hafenlohr  
Deutschland

Konzepterstellung

IZAAC. ENERGY GmbH  
Bei den Mühlen 69A  
20457 Hamburg

# 1 ZUSAMMENFASSUNG

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die GRASMANN-REISEN GMBH am Standort Hafenlohr beauftragte eine umfassende Machbarkeitsstudie zur sukzessiven Elektrifizierung ihrer Busflotte. 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 und der lokalen Energiebereitstellung. Das Konzept soll sowohl ökologisch als auch ökonomisch optimiert werden und die Zukunftssicherung des Betriebsstandorts gewährleisten. Flankierend wurden die Möglichkeiten lokaler emissionsfreier Energieerzeugung am Standort sowie deren bestmögliche Einbindung in die Betriebsabläufe untersucht.

## 1.2 Technische Machbarkeit

Die Analyse der bestehenden Umläufe zeigt, dass eine vollständige Elektrifizierung ohne Fahrzeugmehrbedarf technisch realisierbar ist. Alle Dieselumläufe können durch geringfügige Anpassungen so gestaltet werden, dass sie mit dem aktuellen Stand der Batterietechnologie fahrbar sind. Das empfohlene Ladekonzept als Depotlader kombiniert nächtliche Ladung mit strategischen Tagesladefenstern am Betriebshof und kann als zukunftsichere Lösung implementiert werden.

Die aktuellen Fahrleistungen mit ihren teilweise langen Stand- bzw. Ladezeiten der Fahrzeuge über Nacht bieten ausreichend Spielräume, um marktpreisorientiert laden zu können. Der Faktor der Zwischenladung im Tagesverlauf bietet zusätzliches Potential zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Eine Streckenladung ist nicht erforderlich.

## 1.3 Stufenweise Umsetzung

**Stufe 1 (ab 2025):** Teilausbau mit 8 E-Bussen

- Aufbau der Grundinfrastruktur am Betriebshof mit Netzanschluss von 200–300 kVA (variantenabhängig) bei Transformator-Nennleistung von 630 kVA
- Gesamtenergiebedarf: ca. 301 MWh elektrische Energie (Referenz Diesel: ca. 90.000 Liter bzw. ca. 880 MWh)
- Reduktion des Gesamtenergiebedarfs gegenüber Dieselbetrieb um über 50 %

**Stufe 2 (ab 2035):** Vollausbau auf 33 Elektrobusse am Betriebshof

- Vollständige Elektrifizierung der Fahrzeugflotte gemäß der modellierten Vollausbaustufe
- Gesamtenergiebedarf: ca. 1.600 MWh elektrische Energie (Referenz Diesel: ca. 462.000 Liter bzw. ca. 4.500 MWh)
- Optimale Ausnutzung der Infrastrukturinvestitionen durch Skaleneffekte über die größere Fahrzeugflotte
- Netzanschlussleistung von 450–630 kVA (variantenabhängig) bei Transformator-Nennleistung von 1.200 kVA erforderlich

## 1.4 Energiesystemvarianten

Vier verschiedene Energiesystemkonfigurationen wurden detailliert analysiert:

- **Variante 1:** Reiner Netzbezug (kurzfristig wirtschaftlichste Lösung)

- **Variante 2:** Netzbezug mit stationärem Batteriespeicher (540 kWh Stufe 1, 666 kWh Stufe 2)
- **Variante 3:** Netzbezug mit 54 kWp (Stufe 1) bzw. 145 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 42 % (Stufe 1) bzw. 59 % (Stufe 2 Variante 3) und in Kombination mit dem Batteriespeicher bis zu 97 % (Stufe 2 Variante 4) möglich sind. Der Autarkiegrad bleibt mit ca. 7,6 % (Stufe 1) bzw. 5,4 % bis 8,7 % (Stufe 2) jedoch verhältnismäßig gering. Die Eigenstromerzeugung verbessert dennoch die Wirtschaftlichkeit und Unabhängigkeit des Systems erkennbar und unterstützt die lokale Wertschöpfungstiefe.

## 1.5 Wirtschaftliche Bewertung

Das elektrische Energieversorgungssystem weist aufgrund höherer Investitionskosten in Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur und Werkstattertüchtigung einen Kostennachteil gegenüber dem aktuellen Dieselsystem auf. Die reinen Energiekosten zum Betrieb der Busse sinken durch die Elektrifizierung jedoch um rund 34 % (Stufe 1) bzw. 38 % (Stufe 2), während der Gesamtenergiebedarf durch die höhere Effizienz der Elektromotoren um über 50 % reduziert wird.

### Mehrkostenanalyse Stufe 1 gemäß Wettbewerbskalkulation:

- Ohne Förderung: ca. +21 % gegenüber Dieselbetrieb
- Mit Bundes-Fahrzeugförderung: ca. +11,1 %
- Mit zusätzlicher Landesförderung Bayern für die Infrastruktur: ca. +7,2 %

Beim Vollausbau (Stufe 2) verbessert sich das Verhältnis deutlich, da die Infrastrukturinvestitionen über eine größere Fahrzeugflotte amortisiert werden und die spezifischen Kosten pro Bus sinken. Die Kostenstruktur in Variante 3 (Spotmarktbezug mit eigener PV-Erzeugung) erweist sich in beiden Stufen als wirtschaftlichste elektrifizierte Variante.

## 1.6 Ökologischer Nutzen

Die Elektrifizierung führt im Vollausbau zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von bis zu 96 % bei Bezug von zertifiziertem Grünstrom mit Herkunftsnachweisen. Die verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen durch die fossilen Zusatzheizer der Fahrzeuge. Durch die Integration eigener PV-Erzeugung wird der ökologische Fußabdruck zusätzlich verbessert und die lokale Wertschöpfung erhöht.

## 1.7 Empfehlungen

1. **Kurzfristig:** Start mit Variante 1 (reiner Netzbezug zu Spotmarkt-Preisen) bzw. Variante 3 (Netzbezug mit PV-Anlage) für die wirtschaftlichste Anfangsphase. Eine stationäre Batterie ist bei der derzeitigen Spotmarkt-Preisspreizung in Stufe 1 nicht wirtschaftlich darstellbar.
2. **Langfristig:** Ausbau zu Variante 3 mit erweiterter PV-Anlage (Vollausbau 145 kWp) zur Erhöhung der Eigenverbrauchsquote und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Die Empfehlung kann bei Bedarf nach erhöhter Autarkie um Variante 4 ergänzt werden.
3. **Infrastruktur:** Vorausschauender Aufbau der Infrastruktur bereits in Stufe 1 mit Auslegung auf den späteren Vollausbau (mind. 630 kVA Netzanschluss, 1.200 kVA Transformator-Nennleistung), um Folgekosten zu minimieren. Die Netzanschlussleistung ist frühzeitig beim Verteilnetzbetreiber zu beantragen.
4. **Fahrzeugauswahl:** Empfehlung für Fahrzeuge mit Zusatzheizung zur Erhöhung der Betriebsflexibilität und Reichweitensicherheit, auch wenn diese im Regelbetrieb nicht zwingend genutzt werden müssen.