

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

MACHBARKEITSSTUDIE

Busse mit emissionsfreien Antrieben

Untersuchtes Unternehmen:

Werner Vogel Omnibusunternehmen
Große Bauerngasse 62
91315 Höchstadt a.d.Aisch
Deutschland

Konzepterstellung

IZAAC. ENERGY GmbH
Bei den Mühlen 69A
20457 Hamburg

Disclaimer:

Alle folgenden Hinweise und Empfehlungen gelten nur als Richtwerte und sollen dabei helfen, fundierte Entscheidungen zu treffen, bei Lieferanten die richtigen Fragen stellen zu können oder auch die korrekten Begriffe zu verwenden. Die nachfolgenden Details haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sollen zur Orientierung dienen.

In keinem Fall sind die Verfasser in irgendeiner Stufe vertraglich, deliktisch, verschuldensunabhängig, haftpflichtig, gewährleistungspflichtig oder anderweitig haftbar für besondere, zufällige oder Folgeschäden wie z. B. Verzögerung, Unterbrechung, Produktverlust, Verlust erwarteter Gewinne oder Einnahmen.

1 ZUSAMMENFASSUNG

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Das Werner Vogel Omnibusunternehmen beauftragte die IZAAC.ENERGY GmbH mit der Durchführung einer umfassenden Machbarkeitsstudie zur sukzessiven Elektrifizierung der Busflotte am Standort Höchststadt a.d.Aisch. 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 Unternehmen verfügt aktuell über einen Fuhrpark von 98 Fahrzeugen (85 Solobusse und 13 Gelenkbusse) und strebt eine zukunftsorientierte Positionierung als innovativer Betrieb an.

1.2 Technische Machbarkeit

Die Analyse der bestehenden Umläufe zeigt, dass eine vollständige Elektrifizierung technisch realisierbar ist. Durch geringfügige Anpassungen der Umläufe können alle Dieselumläufe mit dem aktuellen Stand der Batterietechnologie elektrisch gefahren werden. Das empfohlene Ladekonzept basiert auf Depotladung am Betriebshof und stellt eine zukunftssichere Lösung dar. Als Referenzfahrzeuge wurden MAN Lion's City E Busse zugrunde gelegt, die auch bei End-of-Life der Batterien ausreichende Reichweiten für die geplanten Umläufe aufweisen.

Die aktuellen Fahrleistungen mit ihren teilweise langen Standzeiten der Fahrzeuge über Nacht bieten ausreichend Spielräume für marktpreisorientiertes Laden. Das Potenzial zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit liegt insbesondere in der Zwischenladung im Tagesverlauf sowie der Integration eigener Photovoltaik-Stromerzeugung.

1.3 Stufenweise Umsetzung

Stufe 1 (ab 2026): Teilausbau mit 25 Elektro-Solobussen

- Fokus auf ausgewählte Umläufe mit hoher Fahrleistung aus den Linienbündeln 2 und 5
- Jahresfahrleistung: ca. 2.066.446 km (durchschnittlich 82.658 km pro Bus)
- Aufbau der Grundinfrastruktur mit 1.500 kVA Netzanschluss
- Gesamtenergiebedarf: ca. 2.875 MWh elektrische Energie
- Fahrzeugauswahl: MAN Lion's City 12 E mit Zusatzheizung zur Erhöhung der Betriebsflexibilität
- Drei zusätzliche Fahrzeuge erforderlich gegenüber Dieselbetrieb aufgrund von Reichweitenrestriktionen und Umlaufteilungen

Stufe 2 (ab 2035): Vollausbau auf 101 Elektrobusse

- Komplette Flottenerweiterung auf alle Fahrzeugkategorien
- Erhöhung der Netzanschlussleistung auf 3.300 kVA
- Gesamtenergiebedarf: ca. 8.100 MWh elektrische Energie
- Energieeffizienzsteigerung um über 50% gegenüber Dieselbetrieb
- Optimale Ausnutzung der Infrastrukturinvestitionen
- Annahme verbesserter Batterietechnologie mit 50% höherer Reichweite ermöglicht 1:1-Umstellung der Umläufe

1.4 Energiesystemvarianten

Vier verschiedene Energiesystemkonfigurationen wurden detailliert analysiert und in beiden Ausbaustufen modelliert:

- **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 400 kWp (Stufe 1) bzw. 600 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 69% (Stufe 1) bzw. 75% (Stufe 2) in Variante 3 möglich sind. Der Autarkiegrad liegt bei 11% (Stufe 1) bzw. 6,3% (Stufe 2). In Kombination mit Batteriespeichern (Variante 4) steigt die Eigenverbrauchsquote auf 86% (Stufe 1) bzw. 91% (Stufe 2), jedoch rechtfertigen die hohen Investitionskosten diese Variante wirtschaftlich nicht ohne zusätzliche Förderung.

Für beide Ausbaustufen wurde zusätzlich die technische Machbarkeit von Gleichstromnetzen (DC-Netze) untersucht, die gegenüber Wechselstromnetzen Vorteile bei den elektrischen Verlusten bieten. Die höheren Investitionskosten (+25%) amortisieren sich jedoch unter aktuellen Rahmenbedingungen nicht.

1.5 Wirtschaftliche Bewertung

Das elektrische Energieversorgungssystem birgt aufgrund höherer Investitionskosten einen Kostennachteil gegenüber dem aktuellen Dieselsystem. Die Energiekosten sinken um bis zu 28%, während der Gesamtenergiebedarf durch die höhere Effizienz der Elektromotoren um über 50% reduziert wird.

Mehrkostenanalyse Stufe 1 (25 Busse):

- Ohne Förderung: +36,5% gegenüber Dieselbetrieb
- Mit Bundesfahrzeugförderung (6 Busse): +20,32%
- Mit zusätzlicher Landesinfrastrukturförderung (40%): +15,7%

Die Kostensteigerung resultiert hauptsächlich aus den Linienfixkosten (+140,9%), die durch die höheren Fahrzeugbeschaffungspreise (+354,5% im Vergleich zu Bestandsdieselfahrzeugen) und die notwendige Fahrzeugmehrung getrieben werden. Die variablen Linienkosten liegen hingegen um 11,8% unter denen des Dieselbetriebs.

Beim Vollausbau (Stufe 2) verbessert sich die relative Wirtschaftlichkeit deutlich, da die Infrastrukturinvestitionen über eine größere Fahrzeugflotte amortisiert werden und spezifische Kosten für Mittelspannungstechnik sinken.

1.6 Ökologischer Nutzen

Die Elektrifizierung führt bei Bezug von zertifiziertem Grünstrom mit Herkunftsnachweisen zu einer CO₂-Reduktion von 93% beim Vollausbau. Im Teilausbau werden durch die Umstellung von 25 Bussen bereits erhebliche CO₂-Einsparungen realisiert. Die verbleibenden Emissionen resultieren aus den Dieselmotoren 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 3 (Netzbezug mit PV-Anlage zu Spotmarkt-Preisen) für optimale Wirtschaftlichkeit in der Anfangsphase. Diese Variante bietet den geringsten Kostennachteil bei gleichzeitiger ökologischer Verbesserung durch Eigenstromerzeugung.
2. **Langfristig:** Kontinuierliche Optimierung der Umlaufplanung zur Maximierung der PV-Direktladung in den Mittagsstunden (12-15 Uhr). Prüfung einer erweiterten PV-Dimensionierung nach Optimierung der Ladefenster.
3. **Infrastruktur:** Vorausschauender Aufbau der gesamten Infrastruktur bereits in Stufe 1, um Folgekosten zu minimieren. Frühzeitige Beantragung der erforderlichen Netzanschlussleistung von mindestens 3.300 kVA für den Vollausbau. Unterirdische Kabelverlegung mit Leerrohren für das gesamte Grundstück zur Ermöglichung flexibler Erweiterungen.
4. **Fahrzeugauswahl:** Empfehlung für MAN Lion's City E Fahrzeuge mit Dieselmotoren zur Erhöhung der Betriebsflexibilität und Reichweitesicherheit. Die Zusatzheizung sollte zunächst nur als Absicherung dienen, solange die Umläufe ohne diese fahrbar bleiben, kann auf deren Nutzung verzichtet werden.

5. **Werkstatt:** Qualifikation der eigenen Werkstatt für grundlegende Wartungs- und Reparaturarbeiten, ggf. als Regiewerkstatt in Zusammenarbeit mit dem Fahrzeughersteller. Investition in notwendige Werkstattausstattung (ca. 380.000 €) und Mitarbeiterqualifikation (HV-Schulungen).
6. **Förderung:** Ausschöpfung aller verfügbaren Fördermöglichkeiten, insbesondere der Landesinfrastrukturförderung (40%) zur Reduzierung der Mehrkostenbelastung auf 15,7%.
7. **Netzentgelte:** Prüfung der Möglichkeit individueller Netzentgelte nach § 19 Abs. 2 StromNEV bei atypischer Netznutzung zur weiteren Kostenreduzierung, insbesondere bei kontinuierlichem Ladebetrieb über 24 Stunden.
8. **Zeitplanung:** Einkalkulierung einer Umsetzungszeit von ca. 1,5 Jahren ab Förderbewilligung bzw. Ausschreibungsgewinn. Mit den richtigen Partnern kann dieser Zeitraum auf 1 Jahr reduziert werden.