

# Einsatz von BZ-APU in Bussen



Machbarkeitsstudie zum Einsatz von  
Brennstoffzellen-Auxiliary Power Units (BZ-APU) in Bussen

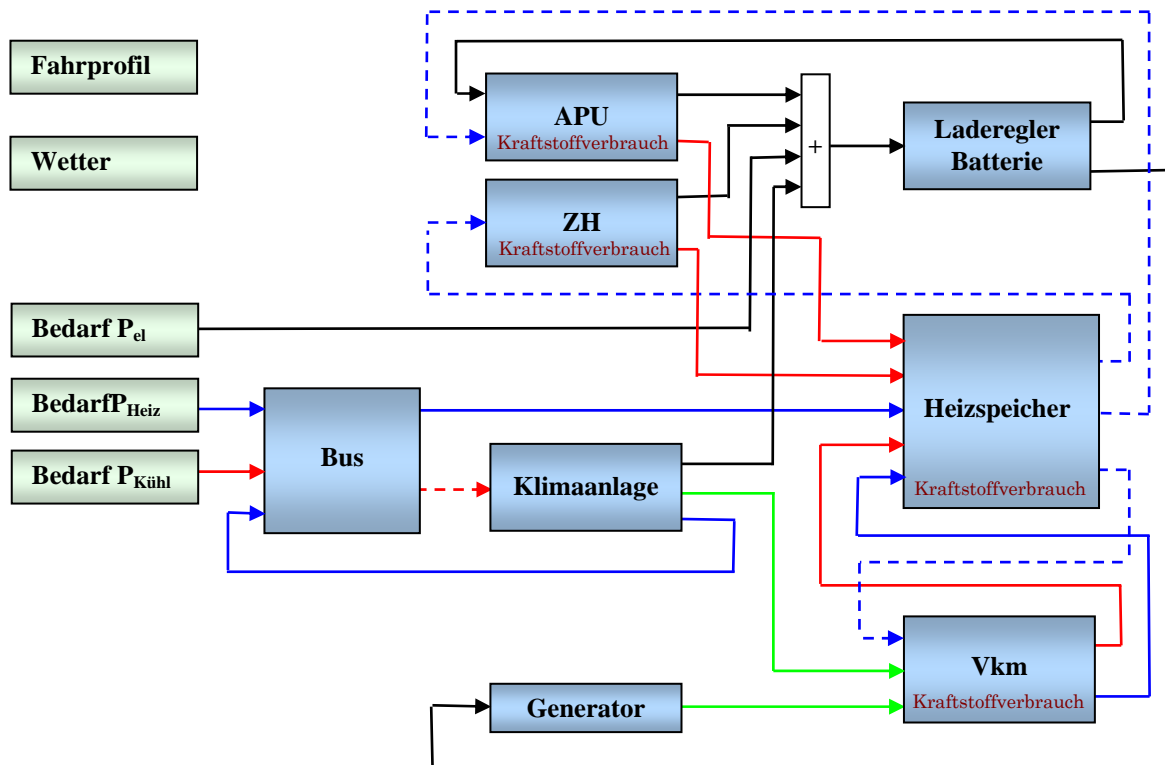
## 1 Abstract

Die Systeme zur Raumkonditionierung in Reise- und Linienbussen sollen unabhängig vom Betriebszustand des Fahrzeugs und äußeren Bedingungen ein behagliches Raumklima erzeugen. Mitunter können diese Systeme im Stand nur bei laufendem Motor betrieben werden, wie z.B. die Klimaanlage. Die Verbrennungskraftmaschine läuft in diesem Fall aufgrund des niedrigen Leistungsbereiches nur mit einem schlechten Wirkungsgrad. In diesem Projekt wurden die Möglichkeiten der effizienteren Energienutzung und der Emissionseinsparung durch den Einsatz von Brennstoffzellen-Auxiliary Power Units (BZ-APU) in Bussen untersucht.

## 2 Allgemeiner Kontext und Zielsetzung

Dazu wurde, ausgehend von einer messtechnischen Analyse eines Linienbusses der Münchener Stadtwerke, ein Simulationsmodell unter MATLAB/SIMULINK erstellt. Für die Ermittlung der elektrischen, thermischen und mechanischen Lastgänge dienten Messdaten. Abhängig von den Witterungsbedingungen konnten insgesamt fünf typische Lastprofile für die Jahreszeiten Winter, Frühjahr und Sommer ermittelt werden. Im Modell wurden die wesentlichen Erzeuger sowie die jeweils vorhandenen Speichersysteme für die elektrische, thermische und mechanische Energie implementiert (siehe unten stehendes Schema des Signalflussplans). Dazu wurde vorrangig auf Herstellerangaben der ebenfalls am Projekt beteiligten Firmen MAN Nutzfahrzeuge AG und der Webasto AG zurückgegriffen.

Für die Ermittlung der Einsatzpotenziale der BZ-APU wurden drei verschiedene Auslegungsvarianten berücksichtigt. Dabei handelte es sich um den konventionellen Betrieb des Busses, als zweites um eine Betriebsart mit kleiner elektrischer Nennleistung der APU und einem elektrischen Klimakompressor, sowie als dritte Variante eine APU mit großer elektrischer Leistung bei der zusätzlich zum elektrischen Klimakompressor noch eine elektrische Zusatzheizung Verwendung findet. Um darüber hinaus auch die Möglichkeiten von verschiedenen Brennstoffzellentechnologien zu ermitteln, wurden in den Simulationen sowohl SOFC- (Solide Oxide Fuel Cell) als auch PEMFC- (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) Systeme betrachtet. Beide Brennstoffzellensysteme wurden im Modell als dieselbetriebene Varianten mit Reformern implementiert.



Modellschema zur Simulation der Energieflüsse in einem Bus (Signalflussplan)

— = elektrische Signale

- · - · - = Steuersignale

— = thermische Signale

— = mechanische Signale

### 3 Ergebnisse

In den Simulationsrechnungen haben sich für den Linienbetrieb in den meisten Fällen keine Kraftstoffverbrauchseinsparungen durch den Einsatz einer BZ-APU ergeben. Bei sehr kalten Witterungsbedingungen konnten mit einer SOFC große elektrische Leistung Einsparungen von bis zu 3 % gegenüber dem konventionellen Betrieb ausgemacht werden. Bei sehr heißen Bedingungen hingegen ergab sich bei gleicher BZ ein Mehrverbrauch von bis zu 10 %. Dieser Mehrverbrauch ist durch eine vom konventionellen Fall unterschiedliche Betriebsweise der Klimaanlage mit elektrischem Kompressor bedingt. Die ständige Möglichkeit zur Klimatisierung, auch im Stand bei abgeschaltetem Motor sorgt für ein besseres Raumklima im Vergleich zur konventionellen mechanischen Klimaanlage, welche nur bei laufendem Motor betrieben werden kann.

Aufgrund des größeren Bedarfs der Brennstoffreformierung beim PEM-BZ-System ergibt sich im Vergleich zur SOFC ein etwas schlechterer Systemwirkungsgrad. Dies sorgt in Verbindung mit der geringeren thermischen Leistung des Systems speziell im Winter für einen Mehrverbrauch von bis zu 15 %, wiederum verglichen mit dem konventionellen Betrieb. Wegen der geringeren thermischen Leistung wurde die PEM-APU mit einer größeren elektrischen Nennleistung ausgelegt um in Verbindung mit der elektrischen Zusatzheizung die gleiche thermische Gesamtleistung der konventionellen

Zusatzheizung bereitstellen zu können. Im Sommer ergeben sich etwa die gleichen Kraftstoffverbräuche wie beim SOFC-System, da sich, aufgrund des allgemein besseren Teillastwirkungsgrades von BZ-Systemen, bei der größer ausgelegten PEM-APU ein ähnlich großer Systemwirkungsgrad ergibt wie bei der SOFC-APU.

Als weiterer Betriebsfall wurde in den Simulationsrechnungen auch der Stillstand über mehrere Stunden betrachtet. Dieser Fall tritt speziell bei Reisebussen sehr häufig auf. Aus den Berechnungen ergab sich für beide BZ-Systeme bei sehr heißen Temperaturen ein Einsparpotenzial von bis zu 60 %. Wie zuvor bereits erläutert war die SOFC-APU bei sehr kalten Temperaturen wiederum effizienter, so dass Kraftstoffeinsparungen von etwa 30 % erreicht werden konnten. Die APU mit PEM-BZ hingegen ergab im letzteren Fall einen zusätzlichen Verbrauch von ca. 10 % verglichen mit dem konventionellen System. Als Ursache für die große Einsparung im Sommer kann der deutlich bessere Gesamtwirkungsgrad der APU mit elektrischem Klimakompressor ausgemacht werden. Im Winter macht sich bei der SOFC der bessere elektrische Wirkungsgrad und die gleichzeitige Nutzung von elektrischer und thermischer Energie bemerkbar. Bei der PEM-APU wirken sich die oben erwähnte geringere thermische Leistung und die damit verbundene größere Auslegung negativ aus.

Da die BZ-Systeme nach Definition der Euro-Norm keine oder nur sehr geringe Emissionen aufweisen, können beide BZ-APU im Stillstand eine deutliche Reduktion der Schadstoffemissionen von annähernd 100 % herbeiführen. Eine dynamische Simulation der Schadstoffemissionen der Verbrennungskraftmaschine im Fahrbetrieb wurde nicht durchgeführt. Eine Abschätzung auf Grundlage der ermittelten mechanischen Energien ergab jedoch ein Einsparpotential von etwa 10 %. Die Reduktion der mechanischen Energie wurde dabei durch die Substitution der mechanischen Verbraucher Generator und Klimakompressor erreicht.

Auftraggeber:	ZAE Bayern e.V.; MAN Nutzfahrzeuge AG; Webasto AG
Ansprechpartner:	Dipl.-Phys. Ing. F. Hauptmann
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Manfred Schwärzer Dipl.-Ing. Martin Eichinger Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Kraus