

## Kurzfassung

Um die Energieeffizienz zu erhöhen und die Emissionen zu senken, spielt der Einsatz von elektrischen Bussystemen im öffentlichen Personennahverkehrssektor eine wichtige Rolle. Technischer Fortschritt führte zu neuen Elektrifizierungskonzepten, sodass derzeit unterschiedliche Technologiealternativen zur Verfügung stehen. Für Verkehrsunternehmen sind die Einführung emissionsfreier Technologien und die Substitution bestehender Dieselflotten mit erheblichen Veränderungen und Risiken verbunden. Die Implementierung erfordert den Aufbau neuer Infrastrukturen, die wiederum inhärent von der Fahrzeugbeschaffenheit abhängig sind. Dies bedeutet für Flottenbetreiber im Hinblick auf die Technologiewahl und ein dynamisches Marktumfeld vielfältige Entscheidungen, die den Beschaffungsprozess dadurch deutlich von der bisherigen Praxis unterscheidet. Die Herausforderungen für die Verkehrsunternehmen bestehen nunmehr in der Bewertung der Technologiealternativen für eine nachhaltige und effiziente Flottenumstellung. Entscheidend für die erfolgreiche Umstellung ist dabei die wirtschaftliche Umsetzbarkeit, die vor dem Hintergrund restriktiver finanzieller Rahmenbedingungen nach Bewertungsmethoden und Optimierungen verlangt.

In dieser Arbeit wird eine Methode zur Technologiebewertung für die Elektrifizierung des Busverkehrs im ÖPNV entwickelt, die der technologischen Diversität der Bussysteme und der betrieblichen Heterogenität eines Linienbusbetriebs praxisrelevant Rechnung trägt. Sie dient zur Herbeiführung eindeutiger strategischer Beschaffungsentscheidungen sowohl für initiale Linienelektrifizierungen als auch für vollständig zu elektrifizierende Linienbusnetze. Das Vorgehen zeichnet sich durch einen integrativen Ansatz auf Basis eines Gesamtkostenmodells zur monetären Quantifizierung technologischer und betrieblicher Einflussfaktoren aus. Die Modellierung von Marktunsicherheiten im Kontext der Kostenentwicklungen von essenziellen Systemkomponenten sowie die Berücksichtigung technologischen Fortschritts ermöglichen darüber hinaus einen transparenten Umgang mit Investitionsrisiken. Die Auslegung der relevanten fahrzeug- und infrastrukturseitigen Systemparameter erfolgt mittels Optimierung bei gleichzeitiger Identifizierung von Synergieeffekten auf Liniennetzebene. Die Anwendung der Methode zur Technologiebewertung wird an der Elektrifizierung des Berliner Linienbusnetzes demonstriert.

## Abstract

The deployment of electric bus systems within the public transport sector plays an important role to increase energy efficiency and to abate emissions. Technological advances have led to new electrification concepts, thus different technologies are currently available. The introduction of innovative zero emission vehicles and the substitution of existing diesel fleets involve considerable changes and risks for transport authorities. The implementation requires the installation of new infrastructure, which in turn is inherently dependent on the vehicle configuration. Fleet operators are faced with a variety of decisions with regard to technology selection and the dynamic market environment, leading to a significantly different procurement process from current practice. The challenges lie in the evaluation of technology alternatives for a sustainable and efficient fleet transition. The economic feasibility is crucial for a successful conversion, which requires assessment methods and optimization tools against the backdrop of restrictive financial conditions.

In this thesis, a methodology is developed for the electrification of urban bus public transport, which takes into account the technological diversity of bus systems and operational heterogeneity of regular bus operation. The approach serves to initiate clear strategic procurement decisions both for initial route electrification and entire networks. The procedure is characterized by an integrative approach based on a total cost model for the monetary assessment of technological and operational factors of influence. Furthermore, the modelled market uncertainties in the context of cost trends of essential system components as well as the consideration of technological progress enable a transparent management of investment risks. The determination of relevant system parameters for vehicle and infrastructure is carried out through an optimization model while identifying synergy effects at network level. The application of the technology assessment approach in operational practice is demonstrated for the electrification of the Berlin bus network.