

---

## Kurzfassung

---

Name: Pia Adamus  
Thema: Konzeption eines Abrechnungssystems für die Nutzung externer elektrischer Energieversorgungssysteme auf Autobahnen  
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze  
Dipl.-Ing. Jürgen Wilke  
M.Sc. Regina Linke

---

Fast 75 Prozent des Straßengüterverkehrs wird durch den Lastkraftwagen abgedeckt. Kein anderes Verkehrsmittel ist so universell und flexibel einsetzbar. Deshalb übernimmt der Lkw in der Wirtschaft eine tragende Rolle. Dieser produziert jedoch durch Verwendung des Verbrennungsmotors CO<sub>2</sub>-Emissionen, was negativ in die Klimabilanz eingeht. Da die Güterverkehrstransporte laut aktueller Prognosen stetig steigen und die fossilen Ressourcen endlich sind, wurde ein europaweites Abkommen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen getroffen. Für die Einhaltung der Klimaziele wurde unter anderem ein alternatives, umweltfreundliches Antriebskonzept der Lkw entwickelt. Auf Grundlage der Erfahrungen mit der Oberleitungsinfrastruktur der Bahn wurde eine Möglichkeit gefunden, die Effizienz der Bahn mit der Flexibilität des Lkw zu verknüpfen. Dazu wurden weltweit mehrere Teststrecken geplant, um Praxiserfahrungen zu sammeln. Hierzu zählt unter anderem das Pilotprojekt ELISA in Hessen.

Die Umsetzung erfolgt mittels eines Stromabnehmers, dem sogenannten Pantographen. Dieser befindet sich am Lkw und kann während der Fahrt über Oberleitungen Strom abnehmen, die auf Fernverkehrsstraßen errichtet werden. Dabei besteht sowohl die Möglichkeit, mit Strom zu fahren, als auch die fahrzeuginternen Batterien ohne Unterbrechung der Fahrt aufzuladen. Der Bau dieser Infrastruktur ist bereits vollendet, unbekannt hingegen ist, wie der Strom abgerechnet werden kann. Zur Erstellung eines Gesamtkonzeptes werden in der vorliegenden Arbeit drei Hauptaspekte miteinander verknüpft – die Gesetzeslage, die Tarife und die Abrechnungssysteme.

Der erste Teil dieser Arbeit behandelt grundlegende Aspekte bezüglich des Systems eHighway und der rechtlichen Rahmenbedingungen. Die Teststrecke besteht dabei aus den Komponenten der Energieeinspeisung, der Umspannstationen, der Masten, der Oberleitungen und den Fahrzeugen, den Hybrid-Oberleitungs-Lkw, welche neben dem konventionellen Antrieb, ebenso über einen elektrischen Motor mit Batterie verfügen. Um einen Überblick für den Stromnetzausbau zu erhalten, ist zu beachten, wie viel Strom auf der Strecke benötigt wird. Die Gesetzeslage ist in drei Themengebiete unterteilt – energiebezogen, straßenbezogen und technikbezogen. In diesem Zusammenhang ergeben sich Anforderungen an ein Tarif- und Abrechnungssystem.

Im nächsten Schritt folgt die Ergründung der Tarifsysteme, welche in streckenbezogene, gebührenbezogene und verbrauchsabhängige Tarife unterteilt werden. Diese gliedern sich in sechs verschiedene Tarifarten, die bezüglich ihrer aktuellen Umsetzbarkeit und ihrer zukünftigen Anwendung mit mehreren Oberleitungsstrecken betrachtet werden. Dabei wird

---

---

deutlich, dass vor allem verbrauchsabhängige Tarife aussichtsreich sind, da sie am Genauesten die Nutzung widerspiegeln. Weiterhin stellen entfernungsabhängige Tarife eine gute Alternative dar. In Hinblick auf das System eHighway werden mögliche Kombinationen der ermittelten Tarife gebildet, um das bestmögliche Potential aus den Tarifen zu schöpfen. Hierbei ergeben sich wiederum vier vielversprechende Varianten. Die Kombination des Zeit- und Verbrauchstarifs, welche auf der Basis der Umsetzung des Taxameters ermittelt wurde, ist von den Kombinationstarifen am erfolgversprechendsten.

Um einen Tarifstrukturrahmen zu schaffen, muss ebenso die Bildung des Stromtarifs betrachtet werden. Dieser setzt sich meistens aus einem pauschalen Grundpreis und einem verbrauchs-bezogenen Arbeitspreis zusammen. Dabei wurde festgestellt, dass sich der Strompreis je Kilowattstunde mit steigendem Verbrauch einem durchschnittlichen Wert annähert, welcher jedoch regional unterschiedlich sein kann.

Für die Modellierung eines geeigneten Abrechnungssystems sind drei Teilbereiche strukturiert zu betrachten – die Abrechnung nach Wegekosten (Maut), nach Netzkosten und nach Gebühren.

Die Maut kann dabei manuell – mit Vignetten, Mautstation oder Portalen – oder automatisch abgerechnet werden. Die automatische Abrechnung ist dabei zukunftsorientierter. Sie erfolgt entweder mit einer Kennzeichenerfassung oder mit einer On-Board-Unit (OBU). Wird eine OBU als Bordgerät im Fahrzeug eingebaut, kann diese mit der Infrastruktur kommunizieren. Drei Systemarten werden dabei verwendet – das Mikrowellensystem, das Satellitensystem und das Mobilfunksystem. Kombiniert man mehrere dieser Systeme, wird die Erfassungsrate der mautpflichtigen Fahrzeuge erhöht.

Erfolgt die Abrechnung auf Grundlage der Netzkosten, wird die automatische Abrechnung per Kabel oder Funk in Betracht gezogen. Mit der sogenannten Smart-Meter-Technologie kann der Strom exakt erfasst werden, sodass die Verbrauchsdaten kontinuierlich genau einem Zeitpunkt zugeordnet werden.

Gebühren können mittels fester Sätze, Rahmensätze oder Zeitgebühren abgerechnet werden, welche die tatsächliche Inanspruchnahme einer staatlichen Einrichtung oder Leistung beschreiben.

Die Auswertung der Recherche zeigt unter anderem eine Gegenüberstellung der Tarif- und Abrechnungssysteme unter Einbezug der zu beachtenden Gesetzeslage. Daraus ergibt sich, dass drei Abrechnungssysteme als geeignet eingestuft werden. Dazu zählen die automatische Mautabrechnung mittels OBU sowie mittels Kennzeichenerfassung und die automatische Abrechnung der Netzkosten. Alle drei Systeme bieten mindestens vier Tarifabrechnungsmöglichkeiten an, wodurch eine hohe Flexibilität gewährleistet ist. Je flexibler ein System ist, desto mehr Gesetze, Verordnungen und Richtlinien werden jedoch relevant.

Bei näherer Analyse der Systeme wurden zwei Umsetzungsvarianten ermittelt. Zum einen kann das bestehende Lkw-Mautsystem mit einer optimierten OBU ausgestattet werden,

---

---

welche die mautpflichtige Strecke erkennt und anschließend mittels Entfernungs- oder Einheitstarif abrechnet. Zum anderen kann der Strom durch eine OBU auf Basis des Taxameters bezahlt werden. Das Bordgerät erkennt dabei den Stromfluss und ordnet diesen einem geringeren oder höheren Tarif zu. Diese werden anschließend mit der Nutzungsdauer multipliziert, um einen verbrauchsbezogenen Endpreis zu erhalten.

Für die Umsetzung bietet sich ein Geschäfts- und Betreibermodell an, da sich eine direkte Abrechnung bei den jeweiligen Stromanbietern schwierig gestaltet. Dazu kann bei der Integration in das bestehende System das Konzept der Toll Collect GmbH verwendet werden, welches derzeit zur Erhebung der Lkw-Maut in Gebrauch ist. Bei Abrechnung mittels Netzkosten muss ein neues Konzept erstellt werden, welches Leistung, Tarif, Erfassung, Zuordnung und die Kontrolle beinhaltet.

Bei der Einführung dieser Konzepte müssen Gesetzesanpassungen in Betracht gezogen werden, welche je nach gewähltem Konzept variieren. Darunter fallen die Eingliederung einer neuen Emissionsklasse in die Lkw-Mautverordnung, die Anpassung der EEG-Umlage im Erneuerbaren-Energien-Gesetz, die Ergänzung der MID Richtlinie um ein eventuell neu eingeführtes Bordgerät sowie eine allgemeine neue Richtlinie für eine OBU, die zeit- und verbrauchsbezogen abrechnet.

---

---

## Abstract

---

Name: Pia Adamus  
Topic: Conception of a billing system for the use of external electrical energy supply systems on highways  
Tutors: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze  
Dipl.-Ing. Jürgen Wilke  
M.Sc. Regina Linke

---

Nearly 75 percent of road freight traffic is covered by trucks. No other vehicle is so universally and flexibly ready for use. That's why the truck plays a major role in the economy. However, the truck produces CO<sub>2</sub> emissions by using the internal combustion engine, which is negative in the carbon footprint. According to current forecasts, freight transport is steadily rising and fossil resources are finite. Therefore, a Europe-wide agreement has been developed to reduce greenhouse gas emissions. An alternative, environmentally friendly drive concept for trucks was developed to comply with the climate goals. On the basis of experience with the catenary infrastructure of the railway, a possibility was found to combine the efficiency of the railway with the flexibility of the truck. For implementation, several test tracks were planned worldwide to gain practical experience. These include the pilot project ELISA in Hessen.

The implementation takes place with a pantograph. This device is located on the truck and takes power while driving by using overhead power lines, which are built above highways. So not only can be driven by electricity, but also the possibility of charging the batteries without interrupting the ride is given. The construction process of this infrastructure is already completed. However, it is unknown how the electricity can be billed. In order to create an overall concept, this thesis combines three main aspects - the legal situation, the tariffs and the accounting systems.

The first part of this thesis deals with the basics, which describe the system eHighway as well as the legal framework. The test section consists of components of the power supply, the substations, the masts, the overhead power lines and the vehicles, the hybrid trolleybus (HO truck). They feature an addition to the conventional drive, the electric motor with battery. To get an overview of the power development, it is relevant how much power is needed on the track. The legal situation is divided into three subject areas - energy-related, road-related and technology-related. This results in requirements for a tariff and billing system.

The next step is to explore tariff systems, which are subdivided into distance-based, fee-based and consumption-based tariffs. This results in six different fare types. First, these are considered in terms of their current feasibility and their future application with multiple trolley routes. In this context, consumption-based tariffs seem promising, as they reflect usage most accurately. Furthermore, distance-based tariffs are a good alternative. In order to get the best possible potential of the tariffs with regard to the eHighway system, possible combinations of the determined tariffs are formed. This results in four variants. The combination of the time and consumption tariff, which was determined on the basis of the implementation of the taximeter, is the most promising of the combined tariffs.

---

---

To form a tariff structure framework, the formation of the electricity tariff must also be considered. This usually consists of a fixed basic price and a consumption-related labor price. It was analyzed that the average electricity price per kilowatt hour is achieved with increasing consumption. This can vary regionally.

For the modeling of a suitable billing system, three subareas are to be considered in a structured way - the billing according to infrastructure costs (toll), electricity network costs and fees.

The toll can be settled manually – with vignettes, toll station or portals – or automatically. The automatic billing is more future-oriented. It takes place either with license plate recognition or with an on-board unit (OBU). If an OBU is installed as an on-board device in the vehicle, it can communicate with the infrastructure. Three types of OBU-systems are used - the microwave system, the satellite system and the mobile radio system. Combining several of these systems increases the recognition rate of toll vehicles.

If billing is based on electricity network costs, automatic billing by cable or by radio is considered. The electricity can be accurately recorded with the so-called smart meter technology. This gives the opportunity to assign the consumption data continuously to a point in time.

Fees can be charged by using fixed rates, frame rates or time fees, which describe the actual use of a government agency or service.

The evaluation of the research shows a comparison of the tariff and accounting systems. For this, the legal situation needs to be observed. As a result, three accounting systems seem appropriate. These include automatic toll billing using an OBU, as well as license plate recognition and automatic billing of electricity network costs. All three systems offer at least four tariff billing options, ensuring high flexibility. However, the more flexible a system is, the more laws, regulations and guidelines become relevant.

Upon closer analysis of the systems, two implementation variants were determined. On the one hand, the existing truck toll system can be expanded with an adapted OBU, which recognizes the toll route and then settles it using a distance or unit tariff. On the other hand, the electricity can be paid by an OBU based on the taximeter. The OBU detects the current electrical flow and assigns it to a lower or higher tariff. These are then multiplied by the duration to obtain a final consumption price.

For implementation, a business and operator model can preferably be introduced, because direct billing with the respective electricity providers turns out to be difficult. For this purpose, either the concept of Toll Collect GmbH can be used to integrate into the existing system, or a new concept based on the electricity network billing can be created, which includes performance, tariff, registration, assignment and control.

When introducing these concepts, legislative adjustments should be considered. These contain

---

---

the inclusion of a new emission class in the “Lkw-Mautverordnung”, the adjustment of the EEG surcharge in the “Erneuerbare-Energien-Gesetz”, the supplementing of the Measuring Instruments Directive with a possibly newly introduced OBU, as well as a general new guideline for an OBU, which bills based on consumption.

---