
Kurzfassung der Bachelorarbeit

Name: Fabian Schecker

Thema: Analyse von Einflüssen auf die Akzeptanz des Systems „eHighway“

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze
M.Sc. Danny Wauri

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, Einflussfaktoren und deren Wirkungen auf die Akzeptanz des Systems eHighway zu ermitteln. Zudem sollen Konzepte ausgearbeitet werden, welche diese Wirkungen bestmöglich abschätzen bzw. abbilden, bevor diese in einem letzten Schritt schließlich noch auf deren praktische Umsetzbarkeit hin untersucht werden sollen.

Zu Beginn der Arbeit werden die eben genannten Ziele im Detail erläutert und es wird ein Einblick in die Motivation genannt, welche zum Ausarbeiten einer Bachelorarbeit zu diesem Thema führte. Zu diesen Motivationen zählt einerseits das Interesse an Innovationen, welche bei dem in der Arbeit behandelten System eHighway zum Einsatz kommen. Zu diesen Innovationen zählen unter anderem jene, welche im Bereich der Fahrzeugtechnik notwendig werden. Hierbei spielt insbesondere die Entwicklung von leistungsfähigen dieselektrischen Hybrid-Lkw eine entscheidende Rolle. Aber auch Entwicklungen im Bereich der Stromversorgung, der Stromabnehmer oder aber auch der Oberleitung spielen bei diesem System eine entscheidende Rolle. Andererseits bilden die möglichen umwelttechnischen Verbesserungen eine wichtige Motivation zur Wahl dieser Thematik. Hierbei lässt sich ebenfalls in mehrere Umweltverbesserungen unterscheiden, welche durch die Verwirklichung des Systems eHighway erreicht werden könnten. So lässt sich einerseits mit einer Verbesserung der Luftqualität in Ballungsgebieten rechnen, welche aufgrund der zurückgehenden Abgasbelastungen erreicht werden könnte. Andererseits könnten durch solche Projekte in Kombination mit dem Ausbau erneuerbarer Energien eine Begrenzung der globalen Erwärmung erreicht werden. Eine weitere Umweltbelastung, welche durch das System eHighway entgegengewirkt werden könnte, ist die Belastung durch Verkehrslärm, unter der vor allem Anwohner und Anlieger der Fernstraßen zu leiden haben.

Um einen Einblick in den Aufbau des Systems eHighway zu gewährleisten, soll dieser nun im zweiten Kapitel näher erläutert werden. Zu diesem Zweck wird das Gesamtsystem eHighway in mehrere Teilsysteme unterteilt, um diese getrennt von einander zu erläutern. Bei diesen Teilsystemen wird in besonderem Maße auf den Aufbau der Fahrzeuge sowie der elektrischen Anlage eingegangen. Die elektrische Anlage unterteilt sich ihrerseits wiederum in die Stromversorgung und in die Fahrleitung. Bei der Wahl der Stromversorgung für das System eHighway wurden die verschiedensten Faktoren berücksichtigt, um festzulegen, ob in der Vorzugsvariante die Oberleitung mit Wechsel- oder mit Gleichspannung versorgt werden sollte. So wurden der Platzbedarf für Trafos und Wechselrichter einerseits in den Fahrzeugen und andererseits in den Unterwerken jeweils für die beiden Spannungssysteme verglichen. Zusammen mit dem Wirkungsgrad und schutztechnischen Überlegungen führten diese Vergleiche zu dem Schluss, dass für das System eHighway nur ein Gleichspannungssystem in Frage kommt. Die Fahrleitung besteht aus der eigentlichen Oberleitung und aus der Trageinrichtung, welche diese über der Fahrbahn hält. Bei den Masten der Trageinrichtung stehen sowohl Gabelständer als auch Rundrohrmasten zur Auswahl. Auch hier sind deren Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Die Oberleitung besteht aus zwei Kettenwerken, welche ihrerseits jeweils aus einem Fahrdrabt und bis zu zwei Tragseilen bestehen.

Das Teilsystem des Fahrzeugs unterteilt sich wiederum in den Stromabnehmer und den Antrieb des Fahrzeugs. Bei der Wahl des Stromabnehmers wurde eine Kombination aus bahntypischen Modellen und Modellen, welche von Trolley-Bussen bekannt sind, gewählt. Wichtig bei der Ausstattung der Stromabnehmer ist es, dass diese sowohl aktiv Fahrbewegungen und Höhenunterschiede der Fahrbahn ausgleichen als auch selbstständig an- bzw. abbügeln können. Auch sollte ein Auskragen vor dem Führerhaus des Lkw aus Sicherheitsgründen vermieden werden. Bei der Beschreibung des Antriebs sollen neben den eigentlichen Antriebskomponenten wie dem Fahrmotor und dem Getriebe auch weitere Baugruppen erläutert werden. Zu diesen zählen insbesondere der Energiespeicher, der Generator, der Anschluss an den Stromabnehmer und die Hilfsbetriebe. In der Vorzugsvariante soll der eben erwähnte Fahrmotor rein elektrisch betrieben werden. Der verbaute Dieselmotor soll lediglich den Generator speisen, welcher die so gewonnene elektrische Energie an den Elektromotor weiter gibt.

Zusätzlich zu diesen beiden großen Teilsystemen sollen der Vollständigkeit halber noch das Teilsystem des Betriebs und das des Fahrwegs erwähnt werden. Zum Fahrweg zählen u.a. mechanische Schutzeinrichtungen, die beispielsweise im Bereich der Oberleitungsmasten notwendig werden könnten. Unter den Betrieb des Systems eHighway fällt einerseits das Leiten des neuen elektrischen Betriebs sowie die Nutzerverwaltung und Energieabrechnung. Andererseits wird auch die Instandhaltung der Infrastrukturen und hierbei insbesondere der Oberleitungen zum Teilsystem Betrieb gezählt.

In *Kapitel 3* sollen nun Unterschiede erläutert werden, welche im Vergleich zu konventionellen Fernstraßen ohne Oberleitungsinfrastruktur auftreten. Daher soll zunächst der Ist-Zustand dieser konventionellen Fernstraßen und deren Verkehr dargestellt werden. Bei diesem wird insbesondere auf die momentanen Umweltbelastungen eingegangen, welche vom Verkehr auf Fernstraßen erzeugt werden. Aber auch der Verkehrsraum und der lichte Raum, der über Fernstraßen genau festgelegt ist, soll in diesem Absatz beschrieben werden. Anschließend kann der Vergleich mit den Fernstraßen des Systems eHighway erfolgen. Hier wird sowohl auf die möglichen Verbesserungen der Umweltbelastungen durch den Schwerverkehr als auch auf eventuelle Eingriffe in das Lichtraumprofil eingegangen. Letzteres könnte insbesondere durch die Fahrleitungen und das restliche Kettenwerk der Oberleitungen entstehen.

Wenn die Unterschiede zwischen konventionellen Fernstraßen und den neuen Fernstraßen des Systems eHighway verdeutlicht wurden, können nun im *Kapitel 4* die Beteiligten dieses Systems aufgeführt werden. Diese Beteiligten sollen zur besseren Unterscheidung in Akteure, Nutzer und Betroffene unterteilt werden. Unter den Akteuren sollen alle Beteiligte zusammengefasst werden, welche durch ihr Handeln einen direkten Einfluss auf das System eHighway haben. Zu den Akteuren zählen unter anderem der Betreiber der Oberleitungsinfrastruktur, das Bundesministerium für Umwelt, Lkw-Hersteller, sowie Stromanbieter und Stromabnehmer. Im Anschluss an die Akteure sollen die direkten Nutzer des Systems eHighway beschrieben werden. Bei diesen wird zwischen Busunternehmen, Speditionen und den Fahrern der eLkw bzw. der Elektrobusse unterschieden. Die letzte Gruppe der Beteiligten bilden die Betroffenen, d.h. diejenigen welche durch die Installation oder den Betrieb des Systems eHighway in irgendeiner Weise beeinträchtigt werden. Zu den wichtigsten Betroffenen zählen die Allgemeinheit, die Anwohner und Anlieger, Rettungsdienst, Straßenbetriebsdienst und die Fahrer der herkömmlichen Lkw sowie des MIV.

Im Anschluss können nun Einflussfaktoren ermittelt werden, welche sich auf die Akzeptanz des Systems eHighway durch die vorher benannten beteiligten Gruppen auswirken. Dies erfolgt in *Kapitel 5*. Zunächst sollen jedoch die Begriffe der Akzeptanz und der des Einflussfaktors definiert werden. Im Anschluss werden die Einflussfaktoren ebenfalls nach drei unterschiedlichen Kategorien unterteilt

aufgelistet. Die erste Kategorie bilden die internalen Einflussfaktoren. Zu diesen werden alle Einflussfaktoren gezählt, welche sich auf die individuellen Merkmale der Beteiligten beziehen. So zählen Ängste, Innovationsbereitschaft, persönliches Umweltbewusstsein, soziodemografische Faktoren, individuelles Verhalten und Unerfahrenheit der Verkehrsteilnehmer zu diesen. Dem gegenüber stehen externalen Einflussfaktoren, welche aus Eingriffen und Zuständen des Umfelds d.h. aus Veränderungen durch das System eHighway resultieren. Zu den wichtigsten externalen Einflussfaktoren werden in dieser Arbeit die Ausbaustandards, das Fahrverhalten der eLkw, der Lärm, die Nutzvolumenverluste, zusätzliche Belastungen, optische Irritationen sowie Platz- und Sicht-Einschränkungen gezählt. Die letzte und kleinste der drei Kategorien bilden die Einflussfaktoren, welche direkt von Beteiligten auf andere Beteiligte ausgeübt werden. Zu diesen zählen neben der Herkunft des Stroms auch mögliche Anweisungen, welche die eLkw-Fahrer von den Speditionen erhalten. Nachdem alle relevanten Einflussfaktoren ermittelt wurden, sollen diese noch tabellarisch den Beteiligten zugeordnet werden.

In *Kapitel 6* können nun die Wirkungen der Einflussfaktoren ermittelt werden. Auch hier wird zunächst der Begriff der Wirkung definiert, bevor eine Auflistung der verschiedenen Wirkungen vorgenommen werden kann. Zu diesen Wirkungen zählen u.a. die ökologische und ökonomische Effizienz, der Gaffer-Effekt, die Auswirkungen auf die Gesundheit, die Veränderung der Luftqualität und des Verkehrsablaufs, die Bereitschaft zum Umrüsten sowie die Beeinträchtigung der Nutzbarkeit. Nun muss noch das Auftreten von Wirkungsketten anhand einiger Beispiele erläutert werden. So kann die Wirkung eines Einflussfaktors die Ursache für eine weitere Wirkung sein. Auch kann es hierbei vorkommen, dass mehrere Einflussfaktoren dieselbe Wirkung haben. Daher werden die Einflussfaktoren und deren Wirkungen noch einmal tabellarisch aufgelistet.

Nun können Konzepte erarbeitet werden, um die zuvor ermittelten Wirkungen bestmöglich abzuschätzen bzw. abzubilden. Zu diesem Zweck wird zu Beginn von *Kapitel 7* zunächst das methodische Vorgehen erläutert, welches bei der Ausarbeitung der Konzepte angewandt wurde. Hierbei wird zum einen darauf eingegangen, auf welche Weise die Konzepte gefunden wurden und zum anderen wie die Konzepte und die Wirkungen, welche sie beschreiben sollen, im Verhältnis stehen können. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels sollen nun die verschiedenen Konzepte genannt und beschrieben werden. Hierbei werden Experteninterviews, Markthochlaufberechnungen, Messungen, Simulationen, Testfahrten, Umfragen und Videoüberwachungen als günstige Konzepte zur Wirkungsermittlung der Einflussfaktoren genannt. Im Anschluss auf deren Auflistung sollen die Konzepte schließlich noch den verschiedenen Wirkungen zugeordnet werden. Dies erfolgt anhand von morphologischen Kästen und einer Tabelle, in der alle Wirkungen und deren Konzepte gemeinsam aufgeführt sind.

Im letzten Kapitel des Hauptteils sollen nun noch die im vorherigen Kapitel ausgearbeiteten Konzepte zur Wirkungsermittlung auf deren praktische Umsetzbarkeit hin überprüft werden. Hierbei spielen unter anderem rechtliche Grundlagen, sowie ein effektives Vorgehen und Komplikationen bei der Konzeptanwendung eine wichtige Rolle. Zudem sollen die Aussagekraft der Ergebnisse überprüft werden, welche durch die Anwendung der verschiedenen Konzepte erarbeitet werden.

Abschließend soll in dieser Arbeit ein Fazit aufgeführt werden, in welchem die ausgearbeiteten Ergebnisse der vorhergehenden Kapitel kritisch untersucht werden. Hierbei sollen die wichtigsten Ergebnisse kurz zusammengefasst und erläutert werden. Auch soll in diesem Fazit ein Ausblick erfolgen, in welchem Umfang und auf welche Weise das in dieser Thesis entwickelte Wissen in zukünftigen und weiterführenden Arbeiten genutzt werden kann.

Abstract of the bachelor thesis

Name: Fabian Schecker

Topic: Analysis of Influences on the Acceptance of the System “eHighway”

Supervisor: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze
M.Sc. Danny Wauri

The aim of this bachelor thesis is to determine the influencing factors and their effects on the acceptance of the system eHighway. In addition, concepts are to be elaborated which estimate or depict these effects in best possible, before eventually investigate their practical convertibility in a final step.

At the beginning of this thesis, the mentioned aims are explained in detail and an insight into the motivation is given, which led to the development of a bachelor thesis on this topic. On the one hand, these motivations include the interest in innovations that are used in the system eHighway. These innovations include, among others, necessary innovations in the field of vehicle technology. The development of high-performance diesel-electric hybrid trucks in particular plays a key role here. But also developments in the field of power supply, the pantograph or even the overhead line are very important for this system. On the other hand, the possible environmental improvements are an important motivation for choosing this topic. Several environmental improvements, which could be achieved by the implementation of the system eHighway can be differed. On the one hand, it can be expected to improve the air quality in conurbations, which could be achieved due to exhaust emissions. On the other hand, such projects in combination with the expansion of renewable energies could limit global warming. Another environmental impact that could be counteracted by the system eHighway is the impact of traffic noise, which residents near Highways suffer of.

In order to gain an insight into the structure of the system eHighway, this will be explained detail in the *second chapter*. For this purpose, the entire system eHighway is divided into several subsystems, which are explained separately. In these subsystems, particular attention is paid to the structure of the vehicles and the electrical system. The electrical system itself is divided in the power supply and overhead line. When selecting the power supply for the eHighway system, various factors have been taken into account to determine whether the overhead line should be supplied with AC or DC in the preferred version. The space requirements for transformers and inverters were compared on the one hand in the vehicles and on the other hand in the substations for the two voltage systems. Together with the efficiency and safety considerations, these comparisons lead to the conclusion that only DC system is possible for the eHighway system. The catenary consists of the actual overhead line and the carrying device, which keeps them above the roadway. The masts of the carrying equipment include both, fork stands and round masts. Again, their advantages and disadvantages are to be weighed against each other. The overhead line consists of two catenary units, which each consist of a contact wire and up to two suspension cables.

The subsystem of the vehicle is in turn divided into the pantograph and the drive of the vehicle. When selecting the pantograph, a combination of standard models and models known from trolleybuses was chosen. Important in the equipment of pantographs is that they can both actively compensate for driving movements and height differences of the road surface as well as being able to step on and off independently. Also, for safety reasons a protrusion should be avoided in front of the cab of the truck. In the description of the drive, besides the traction motor and the transmission, other modules are

explained. These include in particular the energy storage, the generator, the connection to the pantograph and the auxiliary operations. In the preferred variant the just mentioned traction motor should run all electrically. The built-in diesel engine is only intended to feed the generator, which gives the electrical energy to the electric motor.

In addition to these two large subsystems, for the sake of completeness, the subsystem of the operation and that of the infrastructure are to be mentioned. The track includes among other things mechanical protective devices, which could be necessary for example in the area of overhead line masts. On the one hand, the operation of the eHighway system entails the management of the new electrical operation as well as user administration and energy billing. On the other hand, the maintenance of the infrastructures and in particular the overhead line to the subsystem operation is counted.

Chapter 3 will explain differences that occur in comparison to conventional trunk roads without overhead line infrastructure. Therefore, first the actual state of these conventional highways and their traffic will be shown. In particular, it deals with the current environmental impacts generated by traffic on highways. Also the traffic space and the clear space, which is precisely defined over highways, will be described in this paragraph. Subsequently, the comparison can be made with the highways of the eHighway system. It addresses both, possible improvements in the environmental impact of heavy traffic and possible interference with the clearance gauge. Last could arise in particular by the catenaries and the rest of the catenary of the other overhead lines.

If the differences between conventional highways and the new highways of the eHighway system have been clarified, the participants in this system can now be listed in *Chapter 4*. These stakeholders should be divided into actors, users and persons concerned for better distinction. Among the actors, all participants are to be summarized, who by their actions have a direct influence on the system eHighway. The actors include, among others, the operator of the overhead line infrastructure, the Federal Ministry for the Environment, truck manufacturers, as well as electricity providers and pantographs. Following the actors, the direct users of the eHighway system will be described. In these, a distinction is made between bus companies, freight forwarders and the drivers of e-trucks and electric buses. The last group of participants is those affected, those which are in any way impaired by the installation or operation of the eHighway system. The main stakeholders include the general public, local residents, ambulance service, road service and the drivers of conventional trucks and the normal cars.

Subsequently influencing factors can be determined, which have an effect on the acceptance of the system eHighway by the previously named participating groups. This is done in *Chapter 5*. First, the concepts of acceptance and influencing factor are to be defined. After that, the influencing factors are also subdivided into three different categories. The first category is the internal influencing factors. These include all influencing factors that relate to the individual characteristics of the participants. Fears, willingness to innovate, personal environmental awareness, social-demographic factors, individual behavior and inexperience of road users are among them. On the other hand, there are external influencing factors which result from interventions and conditions of the environment, so from changes in the eHighway system. Among the most important external influencing factors in this work are the expansion standards, the driving behavior of the e-trucks, the noise, the useful volume losses, additional loads, visual irritations as well as space and visibility restrictions. The last and smallest of the three categories of the influencing factors, are exerted directly by participants to other participants. In addition to the origin of the electricity, these include possible instructions which e-truck drivers receive from the shipment. After all relevant influencing factors have been determined, these should be assigned to the participants in tabular form.

In *chapter 6* the effects of the influencing factors can be determined. Again, the concept of the effect is defined before a list of the different effects can be made. These effects include among others the ecological and economic efficiency, the gazer effect, the health effects, the changes in air quality and the flow of traffic, the willingness to retool and the impairment of usability. Now the occurrence of impact chains has to be explained with the help of some examples. Thus, the effect of an influencing factor can be the cause of another effect. It can also happen that several influencing factors have the same effect. Therefore, the influencing factors and their effects are listed again in tabular form.

Concepts can now be developed to best estimate or picture the previously determined effects. To this end, at the beginning of *Chapter 7*, we will first explain the methodology used in the elaboration of the concepts. On the one hand, it will be discussed in which way the concepts were found and on the other hand how the concepts and the effects that they should describe can be related. In the further course of these chapters, the various concepts will be mentioned and described. Here, expert interviews, market start-up calculations, measurements, simulations, test drives, surveys and video surveillance are called favorable concepts for determining the effects of the influencing factors. Following on from their list, the concepts should finally be assigned to the different effects. This is done on the basis of morphological boxes and a table in which all effects and their concepts are listed together.

In the last chapter of the main part, the concepts of impact analysis elaborated in the previous chapter are to be checked for their practicability. Among other things, legal foundations as well as an effective procedure and complications in the concept application, play an important role. In addition, the meaningfulness of the results is to be checked, which is developed by applying the various concepts.

Finally, a conclusion will be given in this thesis in which the elaborated results of the previous chapters are critically examined. Here the most important results should be briefly summarized and explained. Also, in this conclusion, an outlook is to be made to what extent and in what way the knowledge developed in this thesis can be used in future and further work.