
Kurzzusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es die verkehrlichen Aspekte, die bei der Dimensionierung oberleitungsgebundener Energiesysteme auf Autobahnen von Relevanz sind, zu erfassen und zu beschreiben. Weiterhin sollen zu diesen Aspekten Ansätze aufgezeigt werden, die eine Untersuchung ebendieser zulassen.

Dazu wird zunächst beschrieben, worum es sich bei oberleitungsgebundenen Energiesystemen, welche im Folgenden schlicht als Oberleitungssystem bezeichnet werden, handelt.

Zur Zeit werden in Deutschland über 70 % der Gütertransportleistung auf der Straße erbracht. Somit trägt der Straßengüterverkehr die Hauptlast des deutschen Transportsystems. Da im Straßengüterverkehr hauptsächlich Dieselmotoren zum Einsatz kommen, ist dieser auch für ca. ein Drittel der CO₂-Emissionen durch den Verkehrssektor verantwortlich. Eine Verringerung dieser Emissionen ist nicht zu erwarten, da technische Neuerungen, die den Ausstoß der Emissionen verringern, durch eine wachsende Verkehrsleistung kompensiert werden und eine Verlagerung auf andere Verkehrsträger auf Grund der hohen Auslastung ebendieser und der Notwendigkeit eines Vor- und Nachlaufs mit dem Straßengüterverkehr nicht möglich ist.

Auf Grund aktueller Klimaschutzbestrebungen, wie zum Beispiel dem Pariser Abkommen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) und dem daraus entstandenen Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung, ist es das Ziel die Treibhausgasemissionen des Verkehrs bis zum Jahr 2030 um 55 % und bis zum Jahr 2050 um 80 - 95 % gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Weiterhin sollen bis zum Jahr 2030 ein Drittel der Fahrleistungen im Straßengüterverkehr über elektrische Antriebe oder strombasierte Kraftstoffe erfolgen.

Um die Treibhausgasemissionen im Straßengüterverkehr zu reduzieren, stehen eine Reihe alternativer Antriebe bzw. Kraftstoffe zur Verfügung. Die direkte Nutzung elektrischer Energie durch batterieelektrische Fahrzeuge hat dabei eine hohe Energieeffizienz. Allerdings ist die Speicherung der Energie, insbesondere im Straßengüterverkehr, problematisch, da für eine ausreichende Reichweite dieser Fahrzeuge eine entsprechend große Batterie verwendet werden muss, welche die mögliche Zuladung der Fahrzeuge zu stark einschränken würde und die langen Ladedauern zu langen Standzeiten führen würden. Durch die Verwendung von Hybridsystemen (Fahrzeug) und elektrischer Straßensysteme können diese Einschränkungen umgangen werden.

Das System eHighway ist ein oberleitungsgebundenes Energiesystem und somit ein elektrisches Straßensystem. Es ermöglicht die Energieversorgung von beispielsweise Lkw, die mit einem Stromabnehmer ausgestattet sind, durch ein Oberleitungssystem, das beispielsweise über dem rechten Fahrstreifen einer Autobahn errichtet wird. Dieses System wird mit Hilfe von Unterwerken, die beispielsweise an das Mittelspannungsnetz angeschlossen sind, mit elektrischer Energie versorgt. Dieses System wird zur Zeit erprobt und es gibt innerhalb Deutschlands drei Versuchsstrecken. Eine Versuchsstrecke im Rhein-Main-Gebiet (ELISA), eine Versuchsstrecke in Schleswig-Holstein (FESH), welche sich auf einer Autobahn befinden und eine Versuchsstrecke, die diesen Sommer auf einer Bundesstraße in Baden-Württemberg (eWayBW) in Betrieb genommen werden soll.

Durch eine umfassende Literaturanalyse wird zunächst, anhand verschiedener Ansätze, die den Energiebedarf von Fahrzeugen oder den des Verkehrs beschreiben, die für die Dimensionierung des Oberleitungssystems relevante physikalische Größe ermittelt. Diese ist der Leistungsbedarf bzw. die daraus resultierende Leistungsspitze, welche, um die Ausdehnung des Oberleitungssystems zu berücksichtigen, auf dessen Ausdehnung bezogen werden kann.

Anschließend wird anhand eines Vergleichs der in der Literatur gefundenen Ansätze zur Beschreibung der Aspekte des Energiebedarfs einzelner Fahrzeuge oder des Verkehrs, auf Grund des Zusammenhangs zwischen Energie und Leistung, eine an das Oberleitungssystem angepasste Aufstellung der Aspektgruppen, die den Leistungsbedarf dieses Systems beeinflussen erstellt. Demnach wird das Oberleitungssystem durch die folgenden Aspektgruppen beeinflusst: fahrzeugbezogene Aspekte, wetterbezogene Aspekte, fahrerbezogene Aspekte, rechtliche Aspekte, streckenbezogene Aspekte, oberleitungssystembezogene Aspekte und verkehrliche Aspekte. Diese Aspekte wirken zum Teil erst auf das sich unter der Oberleitung befindliche Fahrzeug und dadurch auf den Leistungsbedarf des

Oberleitungssystem, aber auch zum Teil direkt auf dessen Leistungsbedarf. Dabei stehen diese Aspekte zum Teil in einer engen Beziehung und sie beeinflussen sich durch teils komplexe Wechselwirkungen gegenseitig.

Nachfolgend werden die verkehrlichen Aspekte, deren Betrachtung in der Literatur nur oberflächlich erfolgt, genauer betrachtet. Dazu werden zunächst die Einflussmöglichkeiten des Verkehrs auf den Leistungsbedarf eines Fahrzeugs anhand der Fahrwiderstandsgleichung untersucht. Dabei kann festgestellt werden, dass der Verkehr durch eine Beeinflussung der Geschwindigkeit und Beschleunigung bzw. Verzögerung des Fahrzeugs auf dessen Leistungsbedarf wirken kann.

Zunächst werden die in der Literatur bereits aufgeführten verkehrlichen Aspekte genauer betrachtet. Dadurch können, unter anderem mit Hilfe der Zustandsformen des Verkehrsablaufs und dem Fundamentaldiagramm, einige verkehrliche Aspekte identifiziert werden, die den Leistungsbedarf eines Oberleitungssystems beeinflussen können, indem sie Geschwindigkeit und Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsvorgänge einzelner Fahrzeuge beeinflussen, oder aber die Geschwindigkeit des Verkehrsstroms auf Grund des Verkehrsaufkommens beeinflussen.

Auf Grund dieser Feststellungen findet nachfolgend eine genauere Betrachtung der zuvor ermittelten Aspekte statt. Dazu werden diese zunächst in Untergruppen aufgeteilt, die sich anfangs mit den makroskopischen Aspekten, also Aspekten, die den Verkehrsstrom betreffen, und anschließend mit den mikroskopischen Aspekten, also Aspekten, die die Bewegung von einzelnen Fahrzeugen berücksichtigen, auseinandersetzen. In dieser genaueren Betrachtung findet anhand der Einflüsse dieser Aspekte auf die gefahrene Geschwindigkeit und das Aufkommen von Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen eine Bewertung von deren Relevanz statt.

Damit können unter den makroskopischen verkehrlichen Aspekten als relevante Einflussgrößen auf den Leistungsbedarf eines Oberleitungssystems die mittlere, momentane Geschwindigkeit sowie die Dichte der Oberleitungs-Lkw auf der elektrifizierten Strecke ermittelt werden. Die Dichte ist allerdings eine Größe, welche aus der an einem Querschnitt gemessenen Verkehrsstärke und der mittleren, momentanen Geschwindigkeit bestimmt wird, welche auch aus einer lokalen Messung am Querschnitt der Strecke berechnet wird. Die Dichte der Oberleitungs-Lkw ist weiterhin von deren Anteil am Verkehrsaufkommen bzw. deren Marktdurchdringung abhängig.

Unter den mikroskopischen verkehrlichen Aspekten sind die Bewegungen der einzelnen Fahrzeuge, die sich zum Teil gegenseitig beeinflussen und somit die Geschwindigkeit und Beschleunigung bzw. Verzögerung der einzelnen Fahrzeuge beeinflussen die relevanten Aspekte. Diese Bewegungen können grob unterteilt werden in die freie Fahrt, die Annäherung an ein langsames oder stehendes Fahrzeug und die Folgefahrt bzw. Kolonnenfahrt. Eine Zuordnung dieser mikroskopischen Aspekte zu den makroskopischen bzw. die Häufigkeit deren Auftretens in Abhängigkeit der makroskopischen Aspekte ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Anschließend, an die Ermittlung der verkehrlich relevanten Aspekte, die die Auslegung eines Oberleitungssystems beeinflussen, werden mit Hilfe einer Literaturanalyse verschiedene Ansätze betrachtet, die eine Erfassung des Energiebedarfs (Treibstoffverbrauch bzw. Emissionen) erlauben. Diese Ansätze zur Erfassung des Energiebedarfs werden auf die Betrachtung des Leistungsbedarfs übertragen. Dadurch kommt es teilweise dazu, dass Leistungsspitzen nicht mehr erfasst werden können, wodurch diese Ansätze unbrauchbar werden. Allerdings erscheint durch den Ansatz der Durchschnittsgeschwindigkeit zumindest eine Betrachtung der makroskopischen verkehrlichen Aspekte möglich. Die Betrachtung der mikroskopischen verkehrlichen Aspekte ist allerdings nicht möglich, da diese spezifische verkehrliche Situationen beschreiben und diese in den beschriebenen Ansätzen keine oder nur geringe Berücksichtigung finden und nicht explizit untersucht werden.

Da eine Untersuchung der mikroskopischen verkehrlichen Aspekte mit Hilfe der dargestellten Untersuchungsansätze nicht ausreichend möglich erscheint, werden darauf folgend Szenarien erstellt, die eine Untersuchung dieser Aspekte durch Feldversuche erlauben. Diese Szenarien bauen auf der Unterteilung der mikroskopischen verkehrlichen Aspekte auf. Die Beschreibungen dieser Szenarien geben einen kurzen Einblick darin, wie diese aufgebaut sind und erfasst werden können. Dabei können aus den vorgestellten Szenarien eine Vielzahl von Unterszenarien abgeleitet werden und aus den

möglichen Ergebnissen dieser, durch neues Zusammensetzen der einzelnen Abläufe der Szenarien, neue geschaffen werden, um so die Zahl der nötigen Versuchsfahrten zu verringern.

Abstract

The aim of this paper is to identify and describe the traffic-related aspects that are relevant for the dimensioning of overhead line power systems on highways. Furthermore, approaches to these aspects shall be shown, which allow an investigation of these aspects.

For this purpose, it will first be described what an overhead line power system is.

At present, more than 70 % of freight transport in Germany is carried by road. So, road freight transport bears the main burden of the German transport system. Since road freight transport mainly uses diesel combustion engines, it is also responsible for about one third of CO₂-emissions of the transport sector. A reduction of these emissions is not expected, since technical innovations that reduce emissions are compensated by an increasing transport performance and a shift to other modes of transport is not possible due to the high utilization of these modes and the necessity of a pre-run and follow-up-run with road freight transport.

Due to current climate protection efforts, such as the Paris Agreement of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the resulting Climate Protection Program 2030 of the German government, the goal is to reduce greenhouse gas emissions from transport by 55 % until the year 2030 and by 80 – 95 % until the year 2050 compared to the levels of the year 1990. Furthermore, by the year 2030, one third of road freight transport should be powered by electric drives or electricity-based fuels.

A number of alternative drive systems or fuels are available to reduce greenhouse gas emissions in road freight transport. The direct use of electrical energy with battery electric vehicles has a high energy efficiency. However, storing the energy is a problem, especially in road freight transport, because a correspondingly large battery has to be used to achieve a sufficient range for these vehicles, which would limit the possible payload of the vehicles too much and the long charging times would lead to long idle times. By using hybrid systems (in vehicles) and electric road systems, these limitations can be avoided. The system eHighway is an overhead line power system and so it is an electric road system. It allows power to be supplied to trucks equipped with a power receiver while it is connected to an overhead line power system. This system is supplied with electrical energy through substations connected to the medium-voltage grid, for example. This system is currently being tested and there are three test tracks in Germany. A test track in the Rhine-Main-Area (ELISA), a test track in Schleswig-Holstein (FESH), which are located on a highway, and a test track that will be put into operation this summer on a federal road in Baden-Württemberg (eWayBW).

Based on a comprehensive literature analysis, various approaches describing the energy demand of vehicles or that of traffic are used to determine the physical quantity relevant for dimensioning the overhead line power system. This quantity is the power demand or the resulting power peak, which, in order to take into account the extension of the overhead line power system, can be related to its extension.

After that, based on a comparison of the approaches found in the literature, describing the aspects of the energy demand of individual vehicles or of traffic, a list of the aspect groups that influence the power demand of an overhead line power system is created, adapted to it, due to the correlation between energy and power. Accordingly, the overhead contact line system is influenced by the following aspect groups: vehicle-related aspects, weather-related aspects, driver-related aspects, legal aspects, route-related aspects, overhead line power system-related aspects, and traffic-related aspects. Some of these aspects first affect the vehicle under the overhead line power system and so the power demand of the overhead line power system itself, but some of them also directly affect the power demand of the overhead line power system. In some cases, these aspects are closely interrelated and they influence each other through complex interactions, which can be quite complex sometimes.

In the following, the traffic-related aspects, whose consideration in the literature is only superficial, will be examined in more detail. So, the influence of traffic on the power demand of a vehicle is first examined using the driving resistance equation. In doing so, it can be determined that traffic can affect the power demand of a vehicle by influencing its speed and acceleration or deceleration.

First, the traffic-related aspects already listed in the literature are examined in more detail. Because of that, with the help of the state forms of traffic flow and the fundamental diagram, some traffic-related aspects can be identified which can influence the power demand of an overhead line power system by influencing speed and acceleration or deceleration of individual vehicles, or by influencing the speed of traffic flow due to the volume of traffic.

Based on these findings, a more detailed consideration of the previously identified aspects will be made. For this purpose, the identified traffic-related aspects are divided into subgroups, which deal with the macroscopic aspects, in example aspects that affect traffic flow, and then with the microscopic aspects, in example aspects that take the movement of individual vehicles into account. In this examination, an evaluation of the relevance of these aspects take place based on the influences of them on the vehicles speed and the occurrence of acceleration and deceleration processes.

So, the macroscopic traffic-related aspects are, the mean, instantaneous speed and the density of eTrucks (trucks that are able to use the overhead line power system) underneath the overhead line power system. They can be determined as the relevant influencing variables on the power demand of an overhead line power system. However, the density is a variable that depends on traffic volume measured at a cross-section and the mean, instantaneous speed, which is also calculated from a local measurement at the cross-section of the roadway. Further, the density of eTrucks is dependent on their share of traffic volume and their market penetration.

Among the microscopic traffic-related aspects, the relevant traffic-related aspects are the movements of the individual vehicles, which partly influence each other and so they affect the speed and acceleration or deceleration of the individual vehicles. These movements can be divided into free travel, approaching a slow or stationary vehicle, and following another vehicle or travelling in a platoon. An assignment of these microscopic aspects to the macroscopic ones or the frequency of their occurrence depending on the macroscopic aspects is not possible within the scope of this paper.

After determining the relevant traffic-related aspects that influence the dimensioning of an overhead line power system, various approaches are considered with the aid of a literature analysis that allow the energy demand (fuel consumption or emissions) to be evaluated. These approaches to evaluate energy demand are transferred to the consideration of power demand. In some cases, this means that power peaks can no longer be recorded and so these approaches are useless. However, by using the approach of average speed, at least a consideration of macroscopic traffic-related aspects seems possible. The consideration of the microscopic traffic-related aspects, seems not possible, because they describe specific traffic situations that are not or only slightly taken into account in the described approaches and won't be explicitly investigated.

Since an investigation of the microscopic traffic-related aspects does not seem to be possible with the help of the presented approaches, scenarios are created allowing an investigation of these aspects with the help of field tests. These scenarios are created on the use of the microscopic traffic-related aspects. The descriptions of these scenarios provide an insight into how they are structured and how they can be captured. A large number of sub-scenarios can be created by these scenarios and even new ones can be created from the possible results of the presented scenarios by reassembling the individual sequences of them in order to reduce the number of necessary test runs.