

Die stetige Herausforderung des Klimaschutzes führte in den letzten Jahren zu bedeutsamen Veränderungen in der Politik und Gesellschaft. Der Begriff des anthropogenen Klimawandels ist in der allgemeinen Bevölkerung bekannt. Demzufolge spielt der Klimaschutz seit einigen Jahren eine bedeutsame Rolle zur Bewältigung der globalen Gefahr, dessen Ausmaß und Entwicklungsrate zu jetzigen Zeiten nur schwer zu erfassen ist. National und international wurde im Rahmen des Pariser Klimaabkommens beschlossen, die Reduzierung der von dem Menschen geschaffenen Treibhausgasen und Emissionen bis 2050 drastisch zu reduzieren. Der Verkehrssektor spielt dabei ausschlaggebende Rolle, da dieser zu den größten Produzenten von Treibhausgasen zählt. Dementsprechend ist das Verlangen nach einer ökologischen Verkehrswende groß. Auf Deutschland bezogen verursacht der Verkehr über 17 % der Treibhausgasemissionen. Ausschlaggebend ist vor allem der motorisierte Individualverkehr und insbesondere den damit verbundenen Freizeitverkehr. Da die Tendenz der Verkehrsleistung mit den kommenden Jahren steigend ist, bedarf es an sofortigen Handlungsdrang um die Bemühungen des Pariser Klimaschutzabkommens nachzugehen. Im Verkehrsbereich ist daher eine Mobilitätswende notwendig. Ein möglicher Ansatz dafür ist die Verlagerung auf klimafreundliche Verkehrsmittel. Eine alleinige Verwirklichung der „grünen“ Stromwende ist jedoch nicht zielführend. Anstelle dessen sollte das Verkehrsbewusstsein der Bevölkerung zunehmend gegen den motorisierten Individualverkehr gerichtet werden und die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs im Gegenzug gefördert werden. Zukunftsorientierte Maßnahmen würden die dominante Stellung des Individualverkehrs auflösen und den Modal-Split zugunsten Verkehrsmittel lenken.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Verfahren entwickelt werden um die Servicequalität der Fahrgastinformation im Öffentlichen Personenverkehr zu messen. Die Qualitätsmessung ermöglicht eine Beurteilung des Ist-Zustands mit dem Soll-Zustand. Der Vergleich bietet die Möglichkeit die Fahrgastinformation, welche grundlegend für die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel ist, zu beurteilen und zu bewerten. Anhand dieser Auswertungen kann die bereitgestellte Leistung weiter verbessert und die Kundenansprüche gemäß ihren Erwartungen bedient werden. Aktuell besteht noch kein Verfahren zur Messung der Qualität von Fahrgastinformation. Die Gestaltung einer Möglichkeit zur Qualitätsmessung könnte positive Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl der Bevölkerung haben. Denn die gegenwärtigen Hemmnisse zur Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel liegen vorwiegend in dessen Zuverlässigkeit und Flexibilität. Eine Versorgung mit qualitativ hochwertigen Fahrgastinformationen kann diesen Hemmnissen entgegenwirken. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Gestaltung eines Verfahrens zur Messung der Servicequalität in Zügen.

Als erstes bedarf es einer umfassenden Literaturrecherche. Die Grundlagen der Fahrgastinformation werden ausgearbeitet sowie eine Begriffsbestimmung aufgegriffen. Die einzelnen Funktionen und technischen Komponenten der Fahrgastinformation werden identifiziert und das Verständnis der verschiedenen Arten der Fahrgastinformation aufgearbeitet. Anschließend wird die Systemarchitektur der Fahrgastinformationssysteme im Zug auf Grundlage der VDV-Schriften untersucht und notwendige Messpunkte im System lokalisiert. Die Messpunkte zeigen signifikante Stellen im System an denen mögliche Informationsströme fließen. Zusätzlich werden die rechtlichen Grundlagen aufgefasst um notwendige Rahmenbedingungen des Informationssystems festzuhalten.

Danach werden die Informationsbedürfnisse der Reisenden ermittelt. Die Auskunft über die Bedürfnisse ist notwendig für die Auswertung der erbachten Bereitstellungsleistung der Information. Dafür werden Fahrgasterhebungen des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Darmstadt die im Zeitraum von Dezember 2018 bis April 2019 sowie vom Juli 2019 bis Oktober 2019 durchgeführt worden sind, ausgewertet. Die Auswertung von 827 Rückläufern ermöglichte eine Betrachtung der Zusammenhänge verschiedener stereotypischer Reisendengruppen, ihre Bedürfnisse und deren Informationsverhalten. Eine wichtige Erkenntnis die aus der Auswertung gezogen wird ist, dass die Informationsbedürfnisse der Reisenden unabhängig von dessen

---

Zugehörigkeit einer bestimmten Personengruppe sind. Zuvor bestand die Vermutung, dass die Fahrgäste unterschiedliche ausgeprägte Bedürfnisse nach Informationen haben.

Danach werden die einzelnen Reisephasen betrachtet und durch eine erneute Auswertung der Fahrgasterhebung, Zusammenhänge zwischen den Informationsbedarf der Reisenden in Abhängigkeit der jeweiligen Reisephase identifiziert. Eine Zugfahrt ist unterteilt in drei Phasen in denen unterschiedliche Informationsbedürfnisse vertreten sind. Die Phasen lassen sich in die Pre-, On- und Post-Trip Phase unterteilen. Jede Phase beschreibt dabei einen Zeitraum kurz vor, während und nach einer Fahrt.

Neben der Darstellung der Fahrgastinformation werden die Grundlagen des Qualitätsmanagements erarbeitet. Dazu werden anfangs die Qualitätsbegriffe definiert. Um ein weiteres Verständnis über die Qualitätsermittlung zu gewinnen folgen etablierte Verfahren der Qualitätsermittlung im Verkehrswesen.

Abgeschlossen wird die Literaturrecherche mit einer Kennzahlenrecherche. Dort werden Kennzahlen aus verschiedenen Bereichen gesammelt und erste verwendbare Kennzahlen für die Gestaltung eines Verfahrens dokumentiert.

Nach einem Zwischenfazit, welches die Ergebnisse der Literaturrecherche zusammenfassend darstellt erfolgt als zweiter Schritt die Entwicklung des Verfahrens zur Messung der Serviceleistung. Dazu wurden die zuvor gefundenen Kennzahlen näher untersucht und übernommen oder neu verfasst. Es wurden 18 Kennzahlen deklariert. Um die Messbarkeit der identifizierten Kennzahlen zu beurteilen wurden Bezugsgrößen definiert und Auswertebereiche festgelegt. Dadurch lassen sich die Kennzahlen bewerten. Anschließend wird eine Kommunikationsstruktur eines Zuges gestaltet, die den Weg einer Meldung bis zur Fahrgastinformation nachempfunden worden ist. Als Grundlage dienen die VDV-Schriften. Mit Hilfe der Kommunikationsstruktur, die als Sequenzdiagramm dargestellt ist, ist es möglich die zuvor ermittelten Messpunkte zu übertragen und weitere Messpunkte hinzuzufügen. Es wurden 16 Messpunkte lokalisiert. Die Messpunkte sind Zeitpunkte. Identifiziert wurden die Momente der Fahrzeuginitialisierung, dem Zeitpunkt an der eine Nachricht auf der Landseite erscheint, verarbeitet und weitergesendet wird, das Fahrzeug erreicht, im Fahrzeug bearbeitet wird und der Gerätestatus abgefragt wird. Zusammen mit den Messpunkten werden Berechnungsformel, Methodik und Auswertebereiche der Kennzahlen festgelegt. Grundlage für die Berechnung der Kennzahlen ist überwiegend die Auswertung zweier Messpunkte in der Informationskette. Dabei wird die Annahme getroffen, dass in der Systemstruktur die einzelnen Informationsströme dokumentiert werden und jeweils mit Zeitstempel versehen sind. Dadurch lässt sich eine Dauer durch zwei Messpunkte berechnen. Zusätzlich werden die Kennzahlen in fünf Aspekte unterteilt. Jedem Aspekt werden spezifische Kennzahlen zugeordnet. Die Aspekte sind die Betriebszeit, die Leistungsfähigkeit, die Verfügbarkeit, die Stabilität und die Wiederherstellbarkeit.

Die erarbeiteten Informationen werden in einem Kennzahlenkatalog dargestellt. Wichtig ist für die Kennzahlendarstellung die Differenzierung von Kennzahlen und Leistungskennzahlen, den sogenannte KPI. Leistungskennzahlen sind unternehmensspezifische Kennzahlen die der direkten Leistungsermittlung dienen. Leistungskennzahlen müssen eine hohe Aussagekraft haben und zielgebunden aufgestellt werden.

Das Verfahren benötigt abschließend noch Qualitätsstufen. Mit Hilfe der Leistungskennzahlen und den zuvor erarbeiteten Konformitätsbereichen wurde ein Berechnungstabelle erarbeitet, die es ermöglicht durch Auswertung der jeweiligen Leistungskennzahlen eine Qualitätsstufe darzustellen. Die Qualitätsstufe selbst richtet sich nach den Konformitätsbereichen. Jeder Aspekt erhält eine Qualitätsstufe. Die Gesamtqualitätsstufe richtet sich stets nach der schlechten ermittelten Teilstufe. Anschließend wird das Verfahren in seiner Fülle nochmals beschrieben.

---

Im letzten Teil dieser Arbeit wird mit dem entwickelten Verfahren ein Demonstrator aufgebaut. Der Demonstrator dient der Veranschaulichung des Verfahrens. Des Weiteren ist es dadurch möglich Sensitivitätsanalysen durchzuführen und das Verfahren weiter auf Robustheit zu überprüfen. Implementiert wird der Verfahren in Anylogic.

Anylogic ist eine Simulationsmodellierungssoftware, die drei Methoden der Simulationsmodellierung unterstützt. Darunter fallen die Methoden der agentenbasierten Modellierung, der ereignisorientierten Modellierung sowie der Systemdynamik. Mit Anylogic können Modelle mit mehreren Methoden erstellt werden. Dadurch ermöglicht Anylogic eine Multimethodenmodellierung.

Der Demonstrator wird dabei der erarbeiteten Kommunikationsstruktur nachempfunden. Alle relevanten Messpunkte werden dargestellt um ein vereinfachtes Fahrzeugsystem aufzubauen. Mit Hilfe weiterer Werkzeuge und Anweisungsblöcke aus der Anylogic-Bibliothek wurde neben der Kommunikationsstruktur eine simulierte Zugfahrt dargestellt sowie der Verfahren mittels Java-Code implementiert. Des Weiteren lassen sich einige Leistungskennzahlen automatisch einen Wert zuweisen, andere können händisch von den Benutzern bearbeitet werden. Mit dem Starten der Simulationen kann nun die Information erfasst und Werte zwischengespeichert werden. Mit dieser Funktion werden drei Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Eine Sensitivitätsanalyse im Standardzustand. Dieser soll den Null-Zustand nachempfunden werden. Eine zweite Analyse stellt einen maximal ausgelasteten Zustand dar. Abgeschlossen wird der Aufgabenteil mit einer weiteren Analyse von einem Zustand der sich im schlechteren Mittelfeld befindet.

Eine Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass das Verfahren funktioniert und verwertbare Ergebnisse liefert. Nichtsdestotrotz wurden fatale Fehler in der Implementierung des Demonstrators identifiziert. Hauptgrund dafür ist die Kommunikationsstruktur sowie der Versuch eine automatisierte Wertzuweisung der Leistungskennzahlen zu programmieren.

Abschließend ist festzuhalten, dass mit mehr Zeit und dem jetzigen Wissensstand der Demonstrator durchaus effektiver gestaltet werden kann. Für die Implementierung des Verfahrens werden lediglich Konformitätsbereiche benötigt. Die erstellte Tabelle zur Berechnung der Servicequalität sollte bei einer Implementierung des Verfahrens in der Wirklichkeit übernommen werden. Leistungskennzahlen sollten den Anforderungen entsprechen hinzugefügt und aktualisiert werden.

---

## Abstract

The constant challenge of climate protection has led to significant changes in politics and society in recent years. The concept of anthropogenic climate change is well known among the general population. Consequently, climate protection has been playing a significant role in managing the global threat for several years, the extent and rate of development of which is difficult to grasp at the present time. Nationally and internationally, within the framework of the Paris Climate Agreement, it was decided to drastically reduce man-made greenhouse gases and emissions by 2050. The transport sector plays a crucial role in this, as it is one of the largest producers of greenhouse gases. Accordingly, there is a great demand for an ecological change in transport. In Germany, transport accounts for over 17% of greenhouse gas emissions. This is primarily due to private motorized transport and, in particular, the associated leisure traffic. Since the tendency of the traffic performance with the coming years is rising, it requires immediate action urge around the efforts of the Paris climate protection agreement to follow. A mobility turnaround is therefore necessary in the transport sector. One possible approach is to shift to climate-friendly modes of transport. However, achieving a "green" e-mobility on its own is not conducive to achieving this goal. Instead, the traffic awareness of the population should be increasingly directed against motorized individual transport and the attractiveness of public transport should be promoted in return. Future-oriented measures would dissolve the dominant position of individual transport and steer the modal split in favor of transport modes.

The aim of this thesis is to develop a method to measure the service quality of passenger information in public transport. The quality measurement allows an evaluation of the actual state with the target state. The comparison offers the possibility to assess and evaluate the passenger information, which is fundamental for the use of public transport. On the basis of these evaluations, the provided service can be further improved and the customer demands can be served according to their expectations. Currently, there is no procedure for measuring the quality of passenger information. Designing a way to measure quality could have a positive impact on the public's choice of transportation. This is because the current barriers to the use of public transport lie mainly in its reliability and flexibility. Providing high-quality passenger information can counteract these barriers.

The focus of this thesis is on the design of a procedure to measure service quality in trains.

First, a comprehensive literature review is required. The basics of passenger information are elaborated as well as a definition of terms. The individual functions and technical components of passenger information are identified and the understanding of the different types of passenger information is worked out. Subsequently, the system architecture of the passenger information systems in the train is examined on the basis of the VDV specifications and necessary measuring points in the system are localized. The measuring points show significant places in the system where possible information flows. In addition, the legal bases are recorded in order to determine the necessary framework conditions of the information system.

Then the information needs of the travelers are determined. The information about the needs is necessary for the evaluation of the provided information service. For this purpose, passenger surveys conducted by the Institute of Transport Planning and Traffic Engineering of the Technische Universität Darmstadt in the period from December 2018 to April 2019 and from July 2019 to October 2019 are evaluated. The evaluation of 827 returns enabled a consideration of the interrelationships of different stereotypical traveler groups, their needs and their information behavior. An important finding drawn from the evaluation is that the information needs of travelers are independent of his or her membership in a particular group of people. Previously, it was assumed that passengers have different distinct needs for information.

Afterwards, the individual travel phases are considered and, through a renewed evaluation of the passenger survey, correlations between the information needs of the passengers depending on the respective travel phase are identified. A train journey is divided into three phases in which different

---

information needs are represented. The phases can be divided into the pre-, on- and post-trip phase. Each phase describes a period shortly before, during and after a journey.

In addition to the presentation of passenger information, the basics of quality management are developed. To this end, quality terms are defined at the beginning. In order to gain a further understanding of quality determination, established procedures of quality determination in the transportation sector will follow.

The literature research is concluded with a key figure research. There, key figures from different areas are collected and first usable key figures for the design of a procedure are documented.

After an intermediate summary, which summarizes the results of the literature research, the second step is the development of the procedure for measuring the service performance. For this purpose, the previously found key figures were examined more closely and adopted or new ones were written. 18 key figures were declared. In order to assess the measurability of the identified key figures, reference values were defined and evaluation ranges determined. Thus, the key figures can be evaluated. Subsequently, a communication structure of a train is designed, which has been modeled on the path of a message up to the passenger information. The VDV specifications are used as a basis. With the help of the communication structure, which is shown as a sequence diagram, it is possible to transfer the previously determined measuring points and to add further measuring points. 16 measuring points were localized. The measuring points are time points. Identified were the moments of vehicle initialization, the moment when a message appears on the landside, is processed and forwarded, reaches the vehicle, is processed in the vehicle and the device status is queried. Together with the measuring points, the calculation formula, methodology and evaluation areas of the key figures are defined. The basis for the calculation of the key figures is predominantly the evaluation of two measuring points in the information chain. The assumption is made that the individual information flows are documented in the system structure and are each time-stamped. Thus a duration can be calculated by two measuring points. In addition, the key figures are divided into five aspects. Specific key figures are assigned to each aspect. The aspects are uptime, performance, availability, stability and recoverability.

The compiled information is presented in a key figure catalog. It is important for the KPI presentation to differentiate between key performance indicators and key performance indicators, the so-called KPIs. Key performance indicators are company-specific indicators that are used to directly determine performance. Key performance indicators must have a high informative value and be set up in a target-oriented manner.

Finally, the process requires quality levels. With the help of the key performance indicators and the conformity ranges worked out before, a calculation table was compiled, which makes it possible to represent a quality level by evaluating the respective key performance indicators. The quality level itself is based on the conformance areas. Each aspect receives a quality level. The overall quality level is always based on the poorest sub-level determined. Subsequently, the procedure is described again in its fullness.

In the last part of this thesis, a demonstrator is built using the developed method. The demonstrator serves to illustrate the procedure. Furthermore, it is possible to perform sensitivity analyses and to further test the robustness of the method. The method is implemented in Anylogic.

Anylogic is a simulation modeling software that supports three methods of simulation modeling. These include the methods of agent-based modeling, event-based modeling, and system dynamics. With Anylogic, models can be created using multiple methods. Thus, Anylogic enables multi-method modeling.

The demonstrator is modeled on the elaborated communication structure. All relevant measurement points are represented to build a simplified vehicle system. With the help of further tools and instruction blocks from the Anylogic library, in addition to the communication structure, a simulated

---

---

train journey was represented and the method implemented using Java code. Furthermore, some performance metrics can be assigned a value automatically, others can be edited manually by the users. By starting the simulations, the information can now be captured and values can be cached. Three sensitivity analyses are performed with this function.

A sensitivity analysis in the default state. This is to emulate the zero state. A second analysis represents a maximally utilized state. The task is concluded with a further analysis of a state that is in the worse midfield.

An evaluation of the results shows that the procedure works and provides usable results. Nonetheless, fatal flaws in the implementation of the demonstrator were identified. The main reason for this is the communication structure as well as the attempt to program an automated value assignment of the performance indicators.

In conclusion, with more time and the current level of knowledge, the demonstrator can definitely be made more effective. Only conformance domains are needed to implement the process. The table created to calculate quality of service should be adopted when implementing the procedure in reality. Performance metrics should be added and updated to meet requirements.