



Martina Zeiner, BSc

**ATO (Automatic Train Operation)
Optimierung durch erhöhte Automatisierung auf der Vollbahn**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Umwelt und Verkehr

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. Dr.techn., Matthias Landgraf

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Zweitbetreuer

Dipl.-Ing. BA BSc MA, Martin Smoliner

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

28.05.2018

Datum

Unterschrift



ATO (Automatic Train Operation) – Optimierung durch erhöhte Automatisierung auf der Vollbahn

Masterarbeit

Abgabedatum 28.05.2018

Martina Zeiner
BSc
01030343
mzeiner@student.tugraz.at

Betreuer:
Matthias Landgraf
Dipl.-Ing. Dr.techn.
m.landgraf@tugraz.at

Martin Smoliner
Dipl.-Ing. BA BSc MA
martin.smoliner@tugraz.at



Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit, Leiter des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft an der Technischen Universität Graz, und Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Marschnig für das Bereitstellen und Ermöglichen dieser Masterarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meinen Betreuern Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Landgraf und Dipl.-Ing. BA BSc MA Martin Smoliner. Die mir, zu jedem Zeitpunkt, entgegengebrachte Hilfsbereitschaft, fachlichen Anregungen sowie Ratschläge haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso bedanke ich mich bei Frau Dipl.-Ing. BSc Melanie Messner für das Bereitstellen der Daten, welche den praktischen Teil dieser wissenschaftlichen Arbeit erst ermöglichen.

Ein großes Dankeschön möchte ich all meinen Freunden und Studienkollegen zukommen lassen. Besonders möchte ich mich bei meiner Lernrunde bedanken, mit deren Hilfe ich jede noch so große Herausforderung gemeistert habe und auch abseits des Lernens spaßige Stunden verbringen durfte. Herzlichen Dank auch an meine Mädelsrunde für den immerwährenden Beistand in jeglichen Lebenssituationen und die geniale Studienzzeit. Auch möchte ich mich bei all jenen bedanken, die meine Auslandssemester in Frankreich und Chile zu einer unvergesslichen Erinnerung gemacht haben.

Der wohl größte Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben. Danke für die großartige Hilfe, die ihr mir immer entgegengebracht habt.

Ebenso möchte ich ein großes Dankeschön an meinen Freund und meine Schwestern aussprechen, die immer die richtigen aufmunternden Worte gefunden haben und mir mit Geduld und Motivation zur Seite gestanden sind.

Kurzfassung

Automatisierung ist bereits in vielen Bereichen der Eisenbahn präsent. Um gesteckte Klimaziele zu erreichen und ein attraktives Verkehrsangebot zu bieten, ist die Vollbahn gefordert die Automatisierung weiter voranzutreiben und ATO (Automatic Train Operation) gezielt einzusetzen.

Im Rahmen der Masterarbeit wird daher analytisch untersucht, welche Automatisierungsstufe (Grade of Automation, GoA) für welche Systeme auf der Vollbahn sinnvoll ist, damit die durch Automatisierung möglichen Potentiale ausgeschöpft werden können. Grundlage dafür bietet eine ausführliche Literaturrecherche mit Fokus auf rechtliche, betriebliche und technische Anforderungen und Voraussetzungen der vier unterschiedlichen Automatisierungsstufen. Angefangen von Systemen zur Unterstützung des Fahrens (GoA1) bis hin zu selbstfahrenden Zügen (GoA4). Für den Personen- und Mischverkehr kann festgestellt werden, dass bereits durch die ersten zwei Automatisierungsstufen Energieeinsparungen sowie Kapazitätssteigerungen möglich sind. Die Potentiale im Güterverkehr, insbesondere im Verschubbetrieb, können durch den Einsatz von intelligenten Güterzügen in Stufe 4 genutzt werden. Dadurch kann vor allem die Sicherheit erhöht und eine Kostensenkung erzielt werden.

Gestützt auf die Ergebnisse aus einem Energieberechnungsprogramm, welches den Energieverbrauch unterschiedlicher Fahrweisen berechnet, wird der Nutzen von Fahrerassistenzsystemen und ATO hinsichtlich des Energieeinsparungspotentials untermauert. Der Vergleich mit realen Messdaten für einen simulierten Streckenabschnitt zeigt, dass neben einer energiesparenden Fahrweise auch eine netzübergreifende Disposition notwendig ist, um Konflikte frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Aus dem deskriptiven Teil der Arbeit sowie auch aus der praxisnahen Energieberechnung geht hervor, dass mehr Automatisierung auf dispositiver Ebene (netzübergreifendes Traffic Management System) unumgänglich ist, wenn Verbesserungen hinsichtlich Energie und Kapazität erreicht werden sollen. Zudem haben diese auch Einfluss auf die Kosten sowie die Zufriedenheit der Kunden/innen. Pünktlichkeit, Einhaltung der Fahrpläne, zusätzlicher Informationsfluss sowie kostengünstigere Angebote schaffen einen Mehrwert für Nutzer/innen und folglich für die Bahn selbst.

Abstract

Automation is already present in many areas of the railway sector. In order to achieve set climate goals and offer an attractive transport service, it is essential to advance automation and systematically apply ATO (Automatic Train Operation).

Therefore, the aim of this master thesis is to investigate and analyse the potentials of higher automation (Grades of Automation, GoA) with regard to different systems. The investigation is based on detailed literature research which focuses on legal, operational, and technical requirements for the four Grades of Automation. The four levels of automation range from supporting systems (GoA1) to automotive trains (GoA4). For passenger and mixed traffic, it can be stated that energy saving and capacity increases can already be achieved with the first two Grades of Automation. The potential in freight transport, especially in shunting operations, can be exploited through the use of intelligent freight trains in GoA4. Subsequently, this leads to higher safety and cost reduction.

The results of an energy analysis program calculating the energy consumption of different driving behaviours underpin the benefits of DAS (Driver Advisory Systems) and ATO. The comparison of real measured data for a simulated railway section shows that, in addition to an energy-efficient driving style, cross-network scheduling is necessary in order to detect and avoid conflicts at an early stage.

The outcome of both the descriptive part of this thesis and the analytical part, make it clear that it is absolutely essential to elaborate automation on a dispositive level (cross-network Traffic Management System) if energy and capacity improvement are to be achieved. Moreover, these enhancements have an influence on costs, not to mention the satisfaction of customers. Hence, punctuality, adherence of timetables, additional information flow, along with cost-effective offers, bring added value to the customer and consequently boost the railway sector.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Struktur der Masterarbeit.....	2
2	Automatic Train Operation.....	4
2.1	Automatisierungsgrade der Bahn - Grades of Automation (GoA).....	4
2.2	Ziele von Automatic Train Operation auf der Vollbahn.....	6
3	Automatisierung unterschiedlicher Verkehrsträger.....	7
3.1	Status Quo im Schienenverkehr.....	7
3.2	Status Quo auf der Vollbahn.....	8
3.2.1	Status Quo bei der U-Bahn.....	9
3.3	Status Quo im Straßenverkehr.....	9
3.3.1	Status Quo bei LKWs.....	10
3.4	Status Quo im Luftverkehr.....	11
3.5	Status Quo im Schiffsverkehr.....	12
3.6	Automatisierung auf der Vollbahn im Vergleich.....	12
4	Anforderungen aufgrund von ATO.....	15
4.1	Rechtliche Rahmenbedingungen und normative Anforderungen.....	16
4.1.1	Interoperabilität.....	17
4.1.2	Einbindung ATO in TSI ZZS.....	19
4.1.3	Zertifizierung und Genehmigungen.....	21
4.1.4	Nationale gesetzliche Grundlagen.....	22
4.2	Betriebliche Anforderungen.....	23
4.2.1	Allgemeine Regeln zur Durchführung einer Zugfahrt.....	23
4.2.2	Zugsicherung und -beeinflussung.....	25
4.2.2.1	Signalgesteuerter Betrieb.....	26
4.2.2.2	Anzeigesteuerter Betrieb.....	27
4.2.2.3	ATO over ETCS.....	29
4.2.3	Effiziente Betriebsführung(-sstrategie).....	29
4.2.4	Migrationsstrategie.....	33
4.2.5	Rangieren.....	33
4.2.6	Rückfallebenen.....	35
4.3	Technische Anforderungen.....	37
4.3.1	ATO over ETCS (Level 2).....	37
4.3.2	Fahrweg.....	40
4.3.2.1	Freie Strecke.....	42
4.3.2.2	Knoten, Bahnhofsbereiche.....	43
4.3.3	Fahrzeug.....	44
4.3.3.1	Fahrzeugseitige Hinderniserkennung.....	45
4.3.3.2	Fahrzeugseitige ATO Einheit.....	46
4.4	Migration.....	49
5	Potentiale und Wirkung von ATO.....	52
5.1	Kapazität.....	52
5.1.1	Dynamische Kapazitätsoptimierung.....	53
5.1.2	Fahren im „Moving Block“.....	57
5.2	Servicequalität.....	58
5.3	Sicherheit.....	59
5.4	Energie.....	60
5.4.1	Energieverbrauch bei der Bahn.....	60
5.4.2	Allgemeine Maßnahmen zu Energieeinsparung.....	61
5.4.3	Energiesparende Fahrweise durch ATO.....	62

Inhaltsverzeichnis

5.4.4	Energieberechnung für eine energiesparende Fahrweise	63
5.4.4.1	Grundlagen zur Energieberechnung	67
5.4.4.2	Eingangsparameter der Energieberechnung der fünf Untersuchungsfälle	71
5.4.4.3	Vorgehensweise der Energieberechnung der fünf Untersuchungsfälle	72
5.4.4.4	Ergebnisse der Energieberechnung	73
5.5	Kosten	78
5.6	Systembezogene Potentiale und Strategien.....	79
6	Ausblick und Zusammenfassung	83
7	Literaturverzeichnis	85