

Systematisierung und Möglichkeiten des automatischen Zugbetriebs

Der automatische Zugbetrieb ist ein Überbegriff für ein Bündel von technischen und betrieblichen Maßnahmen, die den Bahnbetrieb durch Automatisierung effizienter machen. Dabei gibt es wesentliche Unterschiede zwischen dem Sprachgebrauch in den Systemen der Eisenbahnen und der Light Rail Sparte. Dieser Artikel will zur Systematisierung beitragen und aktuelle Entwicklungen aufzeigen.



Die meisten ATO-Systeme (ATO, Automatic Train Operation¹⁾) sind in erster Linie so ausgelegt, dass sie den Triebfahrzeugführer unterstützen, um die Risiken im Zusammenhang mit Ausfällen oder Notfällen zu verringern. In zweiter Linie erhöhen sie zusätzlich den Effizienzgrad des Fahrbetriebes. Die Bezeichnung „automatischer“ Zugbetrieb ist dabei nicht zwangsläufig zu verwechseln mit dem fahrerlosen Betrieb von Zügen.

Zur Abgrenzung werden unterschiedliche Automatisierungsgrade (Grade of Automation, GoA 1–4) nach Vorgabe der UITP (Union Internationale des Transports Pub-

lics) definiert. Diese sind in der IEC 62267 Norm festgehalten. Bild 1 setzt die vier Automatisierungsgrade in Zusammenhang zueinander.

Je nach GoA kann der Umfang der Automatisierung die Bremssteuerung, die Fahrsteuerung zur Geschwindigkeitskontrolle, die Fahrsteuerung und Türsteuerung am Haltepunkt, bis zur möglichen Fernsteuerung für den fahrerlosen Betrieb umfassen. Allen Automatisierungsgraden gemein ist, dass diese auf einem Zugsicherungssystem aufsetzen. Widersprechen die Folgen von Fahrempfehlungen oder Fahrbefehle dem zulässigen Geschwindigkeitsprofil, so kommt es zur Intervention. Jenseits der CBTC (Communication-Based Train Control) Technologie ist die künftig am häufigsten zu erwartende Lösung, die Funktion ATO-over-ETCS (European Train Control System).



Dipl.-Ing. Andreas Wickmann
Senior Consultant
quattron management consulting GmbH, Frankfurt am Main
andreas.wickmann@quattron.com

1) In diesem Text werden grundsätzlich die englischen Fach-Abkürzungen verwendet, da sie fast durchgehend in der Literatur verwendet werden. In der ersten Nennung werden sie einmal ausgeschrieben.

Zu beachten sind erhebliche definitorische Unterschiede zwischen der Verwendung von ATO im Bereich der Eisenbahnen nach UIC und bei ATO Systemen in Metro-, Schnellbahn- und Monorail-Systemen gemäß UITP Standard. Während im Light-Rail-Bereich ATO, d.h. ganz allgemein der Automatisierte Fahrbetrieb, eine begriffliche Klammer bildet (Bild 1), ist ATO im Voll-Bahn-Bereich eher ein Teilaspekt, der unter der Klammer der Automatisierten Zugsteuerung (ATC) subsummiert wird (Bild 2).

Vereinfacht ausgedrückt, übersetzt ATO hier lediglich die Disposition im ATS in Fahr-/Bremsbefehle.

Abweichend von der für die Eisenbahnen typischeren Form soll im Folgenden in diesem Artikel ATO jedoch entsprechend der UITP-Definition als Oberbegriff für ein Zusammenspiel der Sub-Systeme verwendet werden. ATO soll hier für den automatisierten Fahrbetrieb über die GoA 2–4 stehen.

Die technischen Ausprägungen von ATO-Systemen

Die automatische Zugsteuerung (ATC) ist, wie in Bild 2 dargestellt, eine allgemeine und übergeordnete Bezeichnung von au-

Grades of Automation			
GoA1 - NTO	GoA2 - STO	GoA3 - DTO	GoA4 - UTO
Non-automated train operation	Semi-automated train operation	Driverless train operation	Unattended train operation
Zugbetrieb ohne ATO	Halb-automatischer Zugbetrieb	Fahrerloser Zugbetrieb	Unbegleiteter Zugbetrieb
Manuelles Fahren mit FAS*Empfehlung	Automatisierter Fahrbetrieb (ATO**)		
Lokführer im Führerstand, immer noch verantwortlich für Zugfahrt	Zugbegleitpersonal verantwortet einige Betriebsprozesse	Kein Personal an Bord für betriebliche Aufgaben	
*DAS: Driver-Advisory System (EN) *FAS: Fahrerassistenzsystem (DE)		**ATO: Automatic Train Operation	

1: Übersicht Automatisierungsgrade nach UITP

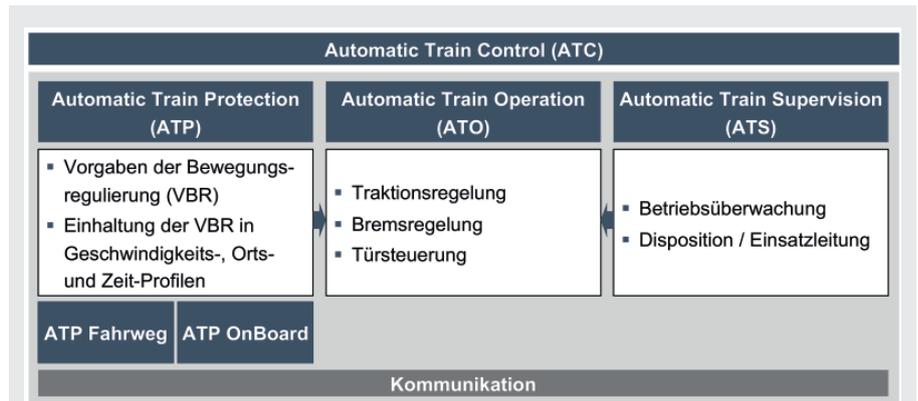
Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

tomatisierten Regelungssystemen für die Eisenbahnen. Grundsätzlich wird hierbei der Geschwindigkeits-Steuerungs-Mechanismus als Reaktion auf die externen Eingaben verwendet. Die Sub-Systeme ATO, ATP und ATS arbeiten zusammen, um den Zug innerhalb der definierten Toleranzen seines Fahrplans zu halten. Das Zusammenspiel der Sub-Systeme passt die Betriebsparameter wie z.B. das Verhältnis von Leistung zu Leerlauf während der Fahrt an und regelt die Verweilzeit im Bahnhof, um den Zug auf den für ihn festgelegten Fahrplan-Slot zu bringen. Der in Bild 2 dargestellte Kommunikations-Layer funktioniert hierbei als zusätzliches Sub-System, ohne das die anderen Systeme nicht miteinander interagieren würden.

Die automatische Zugsicherung (ATP) ist wiederum ein Überbegriff für Implementierungen der in einigen Zügen installierten Zugsicherungssysteme, um Kollisionen zu verhindern. Dies können z.B. ETCS oder CBTC Systeme im Light Rail Bereich sein. Wenn der Lokführer die Signal- oder Geschwindigkeitsbeschränkung nicht beachtet, erzeugt das System einen Übergang in einen sicheren Zustand, indem es den Zug z.B. automatisch abbremst. Bei den Eisenbahnen im Europäischen Raum ist ETCS die konkrete Realisierung eines Zugsicherungssystems.

Das ATP-System verwendet die Zielgeschwindigkeitsanzeige und akustische Warnungen, um den Lokführer zu alarmieren, wenn sie in Gefahr geraten, das zugewiesene Geschwindigkeitsprofil zu überschreiten. Wenn der Triebfahrzeugführer nicht auf die Warnungen reagiert, betätigt das ATP selbständig die Bremsen. Es berücksichtigt die Geschwindigkeit und die Position des Zuges relativ zum oberen Ende seiner vorgegebenen Beschränkungen bei der Ausgabe der Warnungen und beim Betätigen der Bremsen. Das ATP-System kann intermittierend sein, schützt vor Signalüberschreitungen, bietet aber keine kontinuierliche Geschwindigkeitsüberwachung.

Das beim ATP durchaus noch übliche manuelle Fahren kann die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit in der Nähe der Geschwindigkeitsbegrenzungskennlinie halten. Der Hauptunterschied zwischen manuellem Fahren und ATO zeigt sich während des Bremsens, wo ATO eine höhere durchschnittliche Verzögerung als weniger konsistentes manuelles Fahren bieten kann. Ein erheblicher Vorteil wird durch die Ausreizung der ETCS-Bremskurven erreicht,



2: Systematische Einordnung ATO

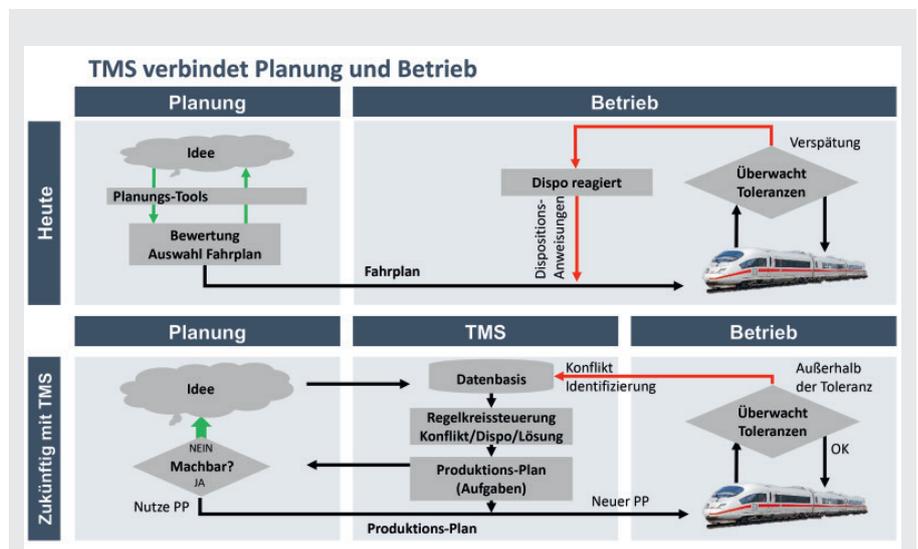
wodurch möglichst nah entlang der Emergency Brake Intervention (EBI) gebremst werden kann. Diese erfordert eine Einleitung der Bremsung erst rund 7 Sekunden später als bei Bremsung ab Indication Curve. Diese Fahrweise kann durch einen Triebfahrzeugführer kaum erreicht werden, da bereits beim Überschreiten der Warning Curve akustische Warnmeldungen zu einer Reizüberflutung führen würde. Durch den Einsatz von ATO ist der Beginn der Annäherungsfahrtzeit nicht mehr zwangsläufig durch die Indication Curve definiert, weil diese Restriktion für eine Maschine nicht gilt.²⁾

Betrachtet man die Betriebs-Leitstelle als ein zusätzliches System, kann man sagen, dass damit ein zusätzliches Zug-Über-

wachungssystem (ATS) eingesetzt wird. ATS wird oft auch als Verkehrsmanagementsystem (TMS, Traffic Management System) bezeichnet. In Bild 3 wird gezeigt, wie das TMS eine Regelkreis-Steuerung zwischen Produktions-Planung und Betrieb ermöglicht. Mit der Einbeziehung des TMS kommt man in Richtung eines geschlossenen Regelkreises, der es ermöglicht, eine automatisierte Konflikterkennung und -lösung in der bereichsweiten Disposition mit den Fahrsteuerungsimpulsen an das Fahrzeug zu verbinden. Sie bieten ein großes Potenzial für die direkte Umsetzung von Verkehrsmanagementstrategien.

Die Vision für die Zukunft ist, dass diese Verkehrsmanagementstrategien direkt über das TMS in der Betriebsleitstelle gesteuert werden. Die Zugsteuerung wird dabei ganz oder teilweise von einem Fahrrechner übernommen. Die größten Fort-

2) Vgl. Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart Abschlussbericht, S.284



3: Angestrebte Verzahnung von Planung und Betrieb durch TMS

schritte auf dem Pfad zunehmender Automatisierung lassen sich realisieren, wenn das streckenseitige ATO-System vom TMS so genutzt werden kann, dass quasi eine Fernsteuerung des Zuges möglich wird. So lässt sich ein größerer Regelkreis zwischen Planung und Betrieb installieren. Hierbei wird der Übergang von einem fest hinterlegten Fahrplan zu einem dynamischen Produktions-Plan vollzogen. Dabei erfolgt über eine automatische Konflikterkennung beim über- oder unterschreiten vordefinierter Toleranzbereiche eine systemische Lösungsfindung in der bereichsweiten Disposition.

Ebenso lassen sich über das ATO-OB gemäß Journey Profile implizit viele kleine Regelkreise, wie das Abgleichen der optimalen Trajektorien mit dem TMS nutzen, um ein effizienteres Fahrprofil zu erreichen. So lassen sich dann die technischen Stärken des ATO durch ein TMS optimal ausschöpfen. Untersuchungen im Rahmen der Studie ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart haben nachgewiesen, dass die Mindestzugfolgezeit durch den Einsatz von ATO mit ETCS homogen um rund 10 Sekunden in verschiedenen Bereichen reduziert werden konnten. Im Vergleich zu ETCS ohne ATO konnte die Mindestzugfolgezeit nochmals um bis zu neun Prozent gesenkt werden. In Summe ließ sich mit ATO und ETCS die Mindestzugfolgezeit gegenüber dem Null-Fall um bis zu 41 % im besonders belasteten Bereich senken.³⁾

Neben den unterschiedlichen Sub-Systemen und deren Ausprägungen ist es für eine Betrachtung der technischen Darstellungen auch wesentlich, einen Blick auf

die Hardwareseitige Architektur zu werfen. Die ATO-Steuerungs-Logik teilt sich grundsätzlich auf in fahrzeugseitige ATO-OB (On Board) und streckenseitige ATO-TS (Track Side) Komponenten. ATO und ETCS nutzen beide Systeme, die sich sowohl in Fahrzeug-Seitige und Fahrweg-Seitige Komponenten aufteilen. Im Fahrzeug sind zwei Komponenten als Fahrrechner zur Fahr- und Bremssteuerung installiert. Dabei liest ATO-OB seine Daten sowohl aus dem ATO-TS als auch zusätzlich aus ETCS-OB. Dies wird häufig als ATO-over-ETCS bezeichnet.

Vorteile des automatischen Betriebes

Die mit dem automatisierten Fahren grundsätzlich einhergehenden Vorteile sind eine konsequente Kontrolle der Zuggeschwindigkeitsprofile einschließlich einer Echtzeitoptimierung. Wie oben erläutert, kann der automatische Betrieb die Takt-Häufigkeit von Zügen, d.h. die Anzahl der Züge pro Zeit, erhöhen und bietet eine bessere Wiederherstellung des Regelbetriebs nach Verzögerungen und kann so die Pünktlichkeit im System verbessern. Dementsprechend führt ATO im Wesentlichen zu einer Erhöhung der Kapazität eines in seinen Strecken fest definierten und quasi nicht erweiterbaren Systems. So können bis zu einem gewissen Grad Baumaßnahmen zur Erweiterung der Strecke vermieden werden, da fahrerlose Züge durch ihre Automatisierung zusätzliche Kapazitäten auf den vorhandenen Strecken schaffen.

Ein ATO bietet im Zusammenspiel mit einem TMS eine viel größere Flexibilität des Fahrplans, der so zu einem Produktions-Plan erweitert wird. So können Zugfrequenzen besser auf die Nachfrage

in Spitzen- und Nebenzeiten abgestimmt werden. ATO minimiert außerdem den Gesamt-Energieverbrauch, d.h. es trägt dazu bei, die laufenden Betriebskosten zu senken. ATO kann z.B. für ein bestimmtes Fahrprofil die Geschwindigkeit steuern und die Bremsvorgänge optimieren. Sanftere Änderungen der Beschleunigung und Verzögerungen im Vergleich zur manuellen Steuerung können die Lebensdauer von Radsätzen und Traktions-/Bremsausrüstung verlängern und können so nicht nur Kapital- und Wartungskosten senken, sondern nebenbei dadurch auch den Fahrgastkomfort verbessern.

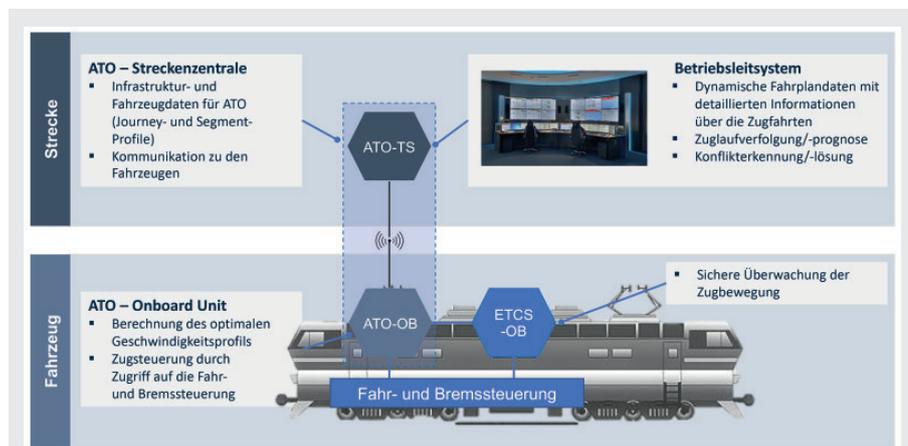
Grundsätzlich verschieben sich mit steigendem Automatisierungsgrad die Kosten zu Gunsten des Personalkostenblocks und zu Lasten der Kapitalkosten. Hier spielen jedoch so viele und individuelle Parameter rein, wie z.B. die Gefäßgröße (Länge der Züge), Anzahl der Fahrzeuge, Auswirkung von Taktverdichtungen und Art der verwendeten Technik, dass es nahezu unmöglich ist, allgemeingültige Kostensätze abzuleiten.⁴⁾ Ein ebenfalls großer Einfluss ergibt sich aus dem GoA Level und der jeweils steigenden Vorhaltekosten für die menschliche Eingriffsmöglichkeit im Falle eines Störfalls.

Das Ansteigen der Automatisierungsgrade

ATO erlaubt, in seinem Zusammenspiel mit den anderen Sub-Systemen über die Entlastung eines Triebfahrzeugführers hinaus zu gehen und einen Zugbetrieb auch fahrerlos zu gestalten. ATO kann daher mit verschiedenen Automatisierungsgraden betrieben werden und lässt sich im halbautomatischen Zugbetrieb (STO nach GOA2); dem fahrerlosen Zugbetrieb (DTO nach GOA3) und dem unbeaufsichtigten Zugbetrieb (UTO gem. GOA4) unterscheiden.

Der halbautomatische Zugbetrieb STO erfordert weiterhin, dass sich ein Fahrer im Trieb-Fahrzeug befindet. DTO umfasst die automatische Abwicklung aller Aspekte des Zugbetriebs mit einem geschulten menschlichen Bediener (Fahrer) an Bord des Zuges. Die Rolle des Fahrers wird in eine an Bord tätige Rolle für die Fahrgäste geändert. Er kann den Fahrgästen helfen (Verbesserung der Servicequalität) und die Fahrscheinkontrolle durchführen (Verringerung der Kosten dieser Aufgabe, wenn sie derzeit von getrennten Mitarbeitern

3) Ebenda S. 291



4: Schema Zusammenspiel TMS, ATO und ETCS

4) „Betriebskosten automatisierter ÖV-Systeme“, Sinner & Weidmann, ETR Swiss, 10/2019

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

ausgeführt wird). Das Personal kann durch seine Anwesenheit dazu beitragen, die wahrgenommene persönliche Sicherheit der Fahrgäste zu verbessern. Tatsächlich kann er im Notfall stets die gesamte Kontrolle im Zug übernehmen.

Unbegleitete fahrerlose Züge fahren automatisch, ohne dass Personal an Bord erforderlich ist. Alle Vorgänge werden von einer Vielzahl von Ferntechnologien überwacht, von CCTV-Systemen (Closed-Circuit Television), d.h. per Videoüberwachung und On-Bord-Telemetrie bis hin zu automatischen Erkennungssystemen. Diese Funktionen werden von einem Kontrollzentrum überwacht, das alle Züge und potenziellen Gefahren verfolgt. Solche UTO-Betriebssysteme sind heutzutage in der Regel noch in sich geschlossene Transport- bzw. Verkehrssysteme, wie z.B. People-Mover an Flughäfen. Alle Funktionen des Fahrzeugs werden automatisch gesteuert. Ein ATP ist installiert, um Kollisionen zu verhindern. Die Fahrzeuge werden mit einem TMS effektiv in den Parametern ihres Produktionsplans gesteuert und ihr gesamtes Bewegungsprofil wird mitsamt der Türsteuerung von den Betriebs-Leitzentrale aus geregelt.

UTO-Systeme in U-Bahnen und geschlossenen Metro-Bahn-Systemen

Viele Metros und U-Bahnen auf dieser Welt fahren an oder zumindest in der Nähe ihrer Kapazitätsgrenzen. Ein Zuwachs der Fahrgastzahlen auf bestehenden Linien ist oft kaum mehr möglich. Die Automatisierung ist in vielen Fällen kostengünstiger als der (oft unterirdische) Bau neuer Strecken oder der Verlängerung von Bahnsteigen. In solchen Fällen ist perspektivisch die vollständige Automatisierung oft der einzige Weg, um die Betriebsleistung des U-Bahn- oder Metro-Systems noch erhöhen zu können, denn die Kapazität, gemessen in der Zahl der beförderten Fahrgäste, wird durch fahrerlose Züge erhöht. So werden heute neu zu bauende U-Bahn-Systeme in aller Regel als UTO-Systeme ausgeschrieben und errichtet.

UTO-Systeme von U-Bahn-Linien finden sich in Europa u.a. bereits in Barcelona, Budapest, Kopenhagen, Lausanne, London, Mailand, Nürnberg, Paris, Rom und Toulouse. Die Wiener U-Bahn wird 2024 eine neue U-Bahnlinie als UTO-System in Betrieb nehmen. Außerhalb Europas sind vollautomatische Systeme z.B. in Delhi, Doha, Dubai, Peking, Osaka, Riad, Sao Paulo, Seoul, Shanghai, Singapur und Tokio im Einsatz, um nur einige zu nennen.



5: Kopenhagen fahrerlose Metro

Quelle: youtube

Viele Fluggäste kennen vollautomatische Fahrzeuge auch schon von diversen Flughäfen, wo Airport Trains zwischen einzelnen Terminals und Parkhäusern auf dem Flughafengelände pendeln, wie z.B. in Deutschland an den Flughäfen in Düsseldorf oder Frankfurt oder weltweit z.B. in Hongkong, London Heathrow, New York JFK, Paris CDG oder Zürich.

Fazit

Die zunehmende Automatisierung des Zugbetriebes ist aus heutiger Sicht unumkehrbar. ATO-Systeme sind dabei, sich immer weiter auszubreiten, von überwiegend GoA2 bei den Eisenbahnen bis zu vollautomatischen GoA4 in vielen singulären UTO-Systemen. In der ganzen Welt lassen sich positive Erfahrungswerte ableiten. Der automatische Zugbetrieb ist sparsamer, energieeffizienter und kann mehr Kapazitäten auf baulich unveränderten Strecken erzeugen. ●

Summary

Systematization and possibilities of automatic train operation

The automatic rail operation is an umbrella term for a bunch of technical and operational measures which will make the rail operation more efficient by automation. Hereby, there are considerable differences between the language use in the railway systems and the Light Rail branch. This article shall contribute to the systematization and show current developments.

Literatur

- [1] Abrach & Schneider, „Automatic Train Operation (ATO) Roadmap/Grundlegendokument“, www.smartrail40.ch, 05/2018
- [2] Bilal Üyümez, „Potenziale einer Mensch-Maschine Kooperation bei Störungen im automatisierten Betrieb“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 10/2019
- [3] Brandenburger & Grippenkov & Naumann & Thomas-Friedrich, „Der Faktor Mensch im Kontext der Automatisierung des Bahnsystems“, Eurail Ei, 10/2018
- [4] Ingenieurgemeinschaft, „Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart“, „Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart“, Abschlussbericht, 01/2019
- [5] Jens Nolte, „ATO 2 DB: Basic Phase 1 Test Cases Public“, SBB, BLS, 10/2018
- [6] Martin Randelhoff, „Automatisierter Bahnbetrieb und fahrerlose Züge: Eine Einführung (Technik, Vorteile, Hürden, Umsetzungszeitraum)“, www.zukunft-mobilitaet.net, 11/2014
- [7] Matthias Striebich, „Automatisierter U-Bahnbetrieb in der Praxis“, Ei, 08/2019
- [8] Michael Meyer zu Hörste, „Aspekte der Migration zur Voll-Automatisierung des Bahnbetriebs“, Signal+Draht, 07+08/2017
- [9] Michael Ruffer, „Automatisiertes Fahren auf der Schiene“, Ei, 02/2020
- [10] Nießen & Schindler & Valée, „Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb – Potentiale für den Schienenverkehr“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 04/2017
- [11] S. Napoli, „Branchenlösung ATO auf GoA2(+)\“, www.smartrail40.ch, 05/2018
- [12] Sinner & Weidmann, „Betriebskosten automatisierter ÖV-Systeme“, ETR Swiss, 10/2019
- [13] Stephan Anemüller, „Automatisierung des Bahnbetriebs: Weltenwechsel in Detailarbeit“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 01+02/2019
- [14] Tibor Weidner, „Vernetzte Fahrerassistenzsysteme – aktuelle Entwicklungen bei der DB Netz AG“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 03/2020
- [15] Tobias Melzer, „Konzeption neuer Technologien für autonomes Fahren“, Ei, 02/2020
- [16] Markus Wachter, „ATO GoA 2 over ETCS L1 LS – Erste Erkenntnisse bezüglich Kompatibilität mit GoA2-TSI Normenentwürfe“, SOB, www.smartrail40.ch, 10/2019
- [17] www.blog.wienerlinien.at/u5-vollautomatischerbetrieb, 11/2018
- [18] www.mobility.siemens.com/ch/de/unternehmen/newsroom/automatic-train-operation-phase-zwei, 05/2020