

Selbstfahrende Züge – ATO in der Schweiz

Dossier des Verbands Schweizer Lokführer und Anwarter (VSLF) über Automatic Train Operation (ATO) im Schweizer Eisenbahnverkehr.



Verfassende:

Hubert Giger, Präsident VSLF

Rahel Wyss, Vorstand VSLF (Ressort SBB-Personenverkehr und Kommunikation)

Mitwirkende:

Raoul Fassbind, Vorstand VSLF (Ressort SBB-Personenverkehr und Infrastruktur)

Marc Engelberger, Vorstand VSLF (Ressort Westschweiz)

Weiterführende Informationen sind zu finden unter: www.vslf.com

ATO-Dossier:



ETCS:



15. März 2025

Inhaltsverzeichnis

1. VORWORT	3
2. EINLEITUNG.....	3
3. DEFINITION VON ATO / GOA	3
3.1 ENTWICKLUNGSSTAND	3
3.2 GRUNDLAGEN	4
3.3 VORAUSSETZUNGEN.....	4
3.4 ANGABEN DES BAV.....	4
4. AUTOMATISIERUNGSGRADE (GOA) VON ATO.....	5
4.1 GRADE OF AUTOMATION 0 (ON-SIGHT TRAIN OPERATION)	5
4.2 GRADE OF AUTOMATION 1 (NON-AUTOMATED TRAIN OPERATION)	5
4.3 GRADE OF AUTOMATION 2 (SEMI-AUTOMATIC TRAIN OPERATION)	5
4.4 GRADE OF AUTOMATION 3 (DRIVERLESS TRAIN OPERATION)	5
4.5 GRADE OF AUTOMATION 4 (UNATTENDED TRAIN OPERATION)	6
5. ANWENDUNGEN VON ATO IN DER SCHWEIZ.....	6
5.1 METRO LAUSANNE / FLUGHAFEN ZÜRICH.....	6
5.2 WALDENBURGERBAHN WB.....	7
5.3 BETRIEBSVERSUCH SÜDOSTBAHN SOB.....	7
5.4 WEITERE ANWENDUNGEN VON ATO.....	8
5.5 ATO-ANWENDUNGEN BEI RANGIERFAHRTEN	8
6. AUSEINANDERSETZUNG MIT GOA2	8
6.1 KAPAZITÄTSSTEIGERUNG	8
6.2 SCHNELLERE FAHRT ENTLANG DER BREMSKURVEN DER SICHERHEITSEINRICHTUNGEN	9
6.3 HALTEORTGENAUIGKEIT	10
6.4 ENERGIEEINSPARUNG	10
6.5 VERANTWORTLICHKEIT DES LOKPERSONALS	11
6.6 GESAMTBETRACHTUNG ATO	12
7. KONFLIKTE MIT HOF (HUMAN AND ORGANISATIONAL FACTORS) BEI GOA2	12
7.1 MONOTONIE BEI DER ARBEIT DES LOKPERSONALS	12
7.2 LÖSUNGSANSÄTZE DER BAHNEN	13
7.3 SICHT DER WISSENSCHAFT	14
7.4 ZUKÜNFTIGE PERSONALGEWINNUNG DES LOKPERSONALS BEI ANWENDUNG VON ATO	15
8. LÖSUNGEN MIT ATO	16
9. FAZIT ZU ATO BEI DEN EISENBAHNEN IN DER SCHWEIZ	16
9.1 TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN MIT ATO.....	16
9.2 HOF-ASPEKTE VON ATO	17
9.3 GESAMTBETRACHTUNG.....	17
10. GLOSSAR	19
11. BIBLIOGRAFIE.....	20

1. Vorwort

Der Verband Schweizer Lokomotivführer und Anwarter VSLF besteht ausschliesslich aus aktivem oder ehemaligem Lokomotivpersonal. Dies ermöglicht dem VSLF, die technischen Entwicklungen, theoretischen Konzepte sowie praktischen Betriebsversuche objektiv und in einem direkten Zusammenhang mit der Führung der Züge und den Einflüssen und Aspekten des Eisenbahnalltags einzuordnen.

Aktuelle und weitergehende Informationen können der Homepage www.vslf.com entnommen werden. Für konkrete Anfragen oder einen Austausch steht der VSLF gerne zur Verfügung.

2. Einleitung

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Anwendungsbereiche der Automatic Train Operation ATO bei Vollbahnen in der Schweiz. Damit sind normalspurige Bahnen mit vielfältigem Rollmaterial, gemischten Verkehren, komplexer Infrastruktur, offenen Bahntrassen und freizügigen Perronanlagen gemeint.

Dieses Dossier soll dabei verschiedene Überlegungen und Absichten zu ATO/GoA bei den Schweizer Eisenbahnen hervorheben und aus praxisnaher Perspektive einordnen. Es richtet sich an alle Bahninteressierten; von den Anwender/-innen über die Gesetzgebenden bis hin zu den Verantwortlichen der Industrie. Ziel ist, die positiven und negativen Aspekte einander gegenüberzustellen und kontrovers diskutierte Fragestellungen in Bezug auf Nutzen, mögliche Herausforderungen und erwartete Konsequenzen zu beleuchten.

3. Definition von ATO / GoA

3.1 Entwicklungsstand

Die Eisenbahn scheint prädestiniert für den führerlosen Zugbetrieb. Prinzipiell werden Züge durch Schienen und Weichen gelenkt; das Lok- oder Fahrpersonal steuert einzig die Beschleunigung und Verzögerung während der Fahrt. Es ist dabei aber zusätzlich in überwachenden und kundendienstlichen Funktionen tätig.

Abgesehen von geschlossenen Systemen mit generischen Infrastrukturen wie U-Bahnen und Werkbahnen, finden sich bei Vollbahnen automatische, selbstfahrende Züge ohne Personal (GoA4) noch nicht im täglichen Betrieb. Automatische Züge mit Personal im Führerstand oder an Bord (GoA3) werden zumindest in Europa ebenfalls noch nicht im Normalbetrieb eingesetzt.

3.2 Grundlagen

Die Eisenbahn ist grundsätzlich ein sehr sicheres System¹. Die Stellwerke mit Fahrstrassenverschlüssen geben Gleise frei und die Signale zeigen dies dem Lokpersonal an. Zur Überwachung der Zugfahrt gibt es verschiedene technische Systeme. Einerseits mittels Achszählern, Isolationen oder Schienenstromkreisen zur Überprüfung der Position; andererseits mittels Zugbeeinflussungssystemen zur Sicherstellung der Einhaltung von Geschwindigkeiten und Signalbegriffen.

Prinzipiell ist das Lokpersonal für die Fahrt des Zuges verantwortlich; primär in der Beachtung der Signale und dem Ermitteln und Einhalten der geltenden Geschwindigkeiten. Sollen technische Systeme diese Aufgaben übernehmen, müssen die Informationen zu den Fahrerlaubnissen (Signale) und Geschwindigkeiten auf das Fahrzeug übertragen werden.

Ohne die vollumfängliche permanente Überwachung einer Zugfahrt sind ATO GoA3/4 nicht zu erreichen. Bei allen tieferen ATO-Automatisierungsgraden übernimmt deshalb das Lokpersonal mindestens einen Teil der Verantwortung für die Fahrt. Die Definitionen und rechtlichen Grundlagen in Bezug auf Haftbarkeiten und Verantwortlichkeiten sind jedoch noch nicht vollends ausgereift und unterliegen steter Weiterentwicklung.

3.3 Voraussetzungen

Die Fähigkeiten und Funktionen der Zugbeeinflussung werden in Leveln beziffert, aus welchen sich die Möglichkeiten des Automatisierungsgrades herleiten lassen. Für eine technisch vollständige Überwachung beispielsweise muss zwingend das Sicherheits-Level SIL4 erfüllt werden. Aktuell entsprechen in Europa bei Vollbahnen nur ETCS-Level 2, das TVM und der Linienleiter LZB diesem Level². So wäre eine führerlose Fahrt bei Vollbahnen nur in diesen Systemen möglich. Metrobahnen verwenden oftmals andere Systeme wie beispielsweise «Urbalis» von Alstom³.

Zudem ist davon auszugehen, dass für vollautomatische Betriebe das gesamte Bahntrasse vor unbefugtem Zutritt abzusperren und Perrons mit Bahnsteigtüren auszurüsten wären. Technische Hilfssysteme, beispielsweise basierend auf Kameras oder Sensoren, wären kaum in der Lage, präzise genug zwischen gefährlichen und ungefährlichen Situationen zu unterscheiden und würden daher grundsätzlich entweder zu oft oder – weit verhängnisvoller – zu wenig oft eingreifen.

3.4 Angaben des BAV

Das BAV hat in seiner strategischen Kommunikation definiert, dass das Ziel für die Digitalisierung der Eisenbahn in erster Linie darin besteht, die Lokführerinnen und Lokführer mit Assistenzsystemen zu unterstützen. Deshalb fördert das BAV gezielte

¹ Bundesamt für Verkehr BAV, [Sicherheitsberichte](#)

² Deutsches Eisenbahn-Bundesamt, [Nationaler Umsetzungsplan ETCS \(Version 1.11\)](#)

³ Alstom, [Alstom CBTC range : world leading high-capacity signalling](#)

Versuche von Assistenzsystemen und selbstfahrenden Zügen. Von der Bahnbranche wünscht sich das BAV laut eigener Kommunikation dabei mehr Absprache und Koordination⁴.

Interessant ist die Definition von GoA2 durch das BAV:

«GoA2 automatisiert die Fahrt und der Lokführer bzw. die Lokführerin ist nicht mehr für die Beachtung der Signalisierung und die Beschleunigung/Bremmung des Zugs verantwortlich. Dennoch ist im Führerstand ein ausgebildeter Lokführer bzw. eine ausgebildete Lokführerin zugegen, die für weitere Aufgaben wie die Auslösung der Fahrt (Startbefehl), die Türsteuerung oder die Erkennung von Hindernissen auf der Strecke (bspw. Tiere) zuständig sind. Bei Bedarf übernehmen sie die Steuerung».

Die Zuweisung der Verantwortlichkeit ist hierbei das Schlüsselwort. Auf dieser Grundlage sind EVUs sowie Industrie aufgefordert, die Verantwortung für das sichere Funktionieren der in Zusammenhang mit ATO stehenden Systeme zu übernehmen.

4. Automatisierungsgrade (GoA) von ATO

4.1 Grade of Automation 0 (on-sight train operation)

GoA0 definiert sich als Ausgangslage im Normalbetrieb mit manueller Fahrt durch das Lokpersonal und ohne Einflussnahme durch eine Zugbeeinflussung. Es stellt die Rückfallebene der weiteren Automatisierungsgrade dar.

4.2 Grade of Automation 1 (non-automated train operation)

Als GoA1 wird die manuelle Fahrt des Lokpersonals unter Beobachtung der Signale und Überwachung eines Zugbeeinflussungssystems bezeichnet. Das Fahrpersonal regelt dabei die Fahrt und die Türbedienung. Es gibt verschiedene Varianten der Überwachungsform; von punktförmig bis vollüberwacht.

4.3 Grade of Automation 2 (semi-automatic train operation)

GoA2 bezeichnet einen halbautomatischen Automatisierungsgrad, bei welchem der Zug automatisch fährt, die Türbedienung jedoch dem Fahrpersonal vorbehalten bleibt. Es unterscheiden sich diverse Fahrmodi zwischen angesteuertem Betrieb und vollständig selbstfahrenden Zügen. Grundsätzlich kann das Fahrpersonal in die Steuerung eingreifen. Dies erfordert ein der Betriebsform angemessen ausgebildetes Lokpersonal.

4.4 Grade of Automation 3 (driverless train operation)

GoA3 stellt eine vollautomatische fahrerlose Betriebsform dar, bei welcher das Lokpersonal weiteren Tätigkeiten nachgeht. Es ist mit vollüberwachten Zügen unter ETCS L2 denkbar. So könnte beispielsweise im Lötschberg- oder Vereinatunnel die Abfahrt von Autozügen im GoA0/1 erfolgen und im Tunnel, wo kaum externe Einflüsse vorhanden sind,

⁴ Bundesamt für Verkehr BAV, [BAV-News Nr. 99](#)

auf GoA2/3 gewechselt werden. Bis anhin gibt es jedoch noch kaum diesbezügliche Überlegungen, was mit der Komplexität und dem grossen finanziellen Aufwand der Systeme zusammenhängen kann.

4.5 Grade of Automation 4 (unattended train operation)

GoA4 bei Vollbahnen würde eine echte Innovation darstellen. Damit könnte auf Zugpersonal vollständig verzichtet werden. Allerdings setzt dieses System eine Vollüberwachung voraus; ETCS L2 ist jedoch nach wie vor nur auf wenigen Strecken und bisher noch an überhaupt keinen Knotenbahnhöfen vorhanden.

Bahnunternehmen könnten aufgrund von eingesparten Personalkosten profitieren. Da allerdings aufgrund prozessualer Vorgaben wie Brandschutz oder Evakuierungskonzepten vermehrt Züge zwingend mit Begleitpersonal verkehren müssen – und andernfalls modernste Tunnelstrecken nicht mehr befahren dürften –, werden diese Ansätze teilweise obsolet. Gleichzeitig stellen Anforderungen an das Störungsmanagement sowie die Einsatzfähigkeit von geschultem Personal in ausserordentlichen Situationen grosse Herausforderungen dar.

5. Anwendungen von ATO in der Schweiz

5.1 Metro Lausanne / Flughafen Zürich

Das bekannteste automatische Eisenbahnsystem in der Schweiz ist die Linie «m2» der TL welche am 27. Oktober 2008 eröffnet wurde. Auf der Linie kommt das automatische Signalsystem Urbalis300 von Alstom zum Einsatz, wie es beispielsweise auch bei der Metro in Singapur verwendet wird. Die Metrolinie «m2» besteht aus führerlosen Triebzügen, die jedoch über ein Führerpult für die Steuerung im Notfall verfügen. Im Störfall können die Züge von geschultem Personal übernommen werden; das Personal soll dabei in ungefähr 10 Minuten einsatzbereit vor Ort sein⁵. Charakteristisch für die «m2» ist die durchgehende hohe Steigung von durchschnittlich 5.7%, welche die Züge mittels Gummibereifung auf einer Betonfahrbahn neben dem Gleis bewältigen. Ebenso ist die Trasse gegen äussere Einflüsse weitestgehend abgeschottet und die Perrons weisen separate Bahnsteigtüren auf.

Die Skymetro am Flughafen Zürich ist eine vollautomatische, unterirdisch realisierte, seilgetriebene Luftkissenbahn, die seit September 2003 den Flughafen mit dem Satellitenterminal Dock E verbindet. Die Bahn ist 1,1 Kilometer lang und führt durch zwei getrennte Tunnelröhren.

Diese beiden automatischen Systeme unter GoA4 sind weder untereinander noch mit Vollbahnen vergleichbar und stellen somit spezifische Einzellösungen unter Anwendung neuer und generischer Infrastruktur dar.

⁵ Transports publics de la région lausannoise, [Banc public spécial métro M2, portes ouvertes](#)

5.2 Waldenburgerbahn WB

Die Waldenburger Bahn WB wurde am 11. Dezember 2022 nach eineinhalb Jahren Totalumbau mit neuer Infrastruktur und einheitlichem Fahrzeugmaterial wieder in Betrieb genommen. Die Strecke wurde mit einem CBTC-Zugbeeinflussungssystem von Stadler Signalling ausgerüstet. Aktuell wird mit einem erweiterten GoA1-Modus gefahren; im Depotbereich Waldenburg soll zeitnah GoA4 zum Einsatz kommen⁶. CBTC könnte grundsätzlich alle Automatisierungsgrade auf Level SIL4 abbilden. Es basiert auf einem Moving Block System⁷ und arbeitet mit einem WLAN-basierten Funksystem. Diese Technologie birgt neue Risiken in Bezug auf Cybersicherheit, welche zwingend ernst zu nehmen sind.

Das System funktioniert nach anfänglichen Problemen zuverlässig und eignet sich für beschränkte, einfache Verhältnisse. Komplexe Verkehre mit Mischbetrieben sind nach Aussage des Herstellers kaum zu bewerkstelligen und mit diesem System auch nicht angedacht. Ebenfalls seien verschiedene Fahrzeugzustände sowie Defekte komplex in der Beherrschbarkeit und führen schnell zu Ausreihungen von Fahrzeugen. Auch das Störungsmanagement zeigt sich als sehr einschneidend, da jeweils der Bahnbetrieb vollständig eingestellt werden muss, um die Strecke von Fahrzeugen zu räumen.

5.3 Betriebsversuch Südostbahn SOB

Nach diversen Versuchs- und Probefahrten plant die SOB, im Jahr 2025 einen Betriebsversuch mit dem Fahrassistenzsystem AFAS durchzuführen. Dieses System soll den teilautomatisierten Fahrbetrieb (ATO GoA2) über ETCS L1 LS ermöglichen. Die Verantwortung verbleibt vollständig beim Lokpersonal⁸.

Aus dieser Definition – verglichen mit den Angaben zu GoA2 im Kapitel 3.4 – ist zu verstehen, weshalb das BAV dem geplanten Betriebsversuch zwischen Biberbrugg und Arth-Goldau bislang keine Bewilligung erteilt hat. Für diesen Einsatz eines Fahrassistenzsystems, welches zwar die Durchführung der Fahrt, nicht aber die Verantwortung dafür, übernimmt, werden unter anderem weitreichende Massnahmen und Lösungen im Bereich von HOF (Human and Organisational Factors) und MTO (Mensch, Technik, Organisation) gefordert.

Bezüglich des «Schlussbericht Schritt B System ATO GoA2 over ETCS L1LS / ATO-Pilot SOB» hat der VSLF zur Referenz weitere als Grundlage dienende Dokumentationen von der SOB angefordert. Diese wurden aus internen Gründen nicht frei von Bedingungen ausgehändigt. Die reflektierte Betrachtung des VSLF zu diesem Versuchsbetrieb wurde dadurch erschwert.

⁶ Schweizer Eisenbahn Revue SER 1/2023, Unklare Lage bei der Waldenburgerbahn

⁷ Transportation Research Part C: Emerging technologies, Real-time railway traffic management under moving-block signalling : A literature review and research agenda

⁸ Bundesamt für Verkehr BAV, Antwort des BAV zugunsten des VSLF, August 2024

5.4 Weitere Anwendungen von ATO

Seit mehreren Jahrzehnten werden weltweit einzelne Strecken mit diversen Formen von ATO betrieben. Unter anderem werden beispielsweise in Tschechien Zugfahrten auf Vollbahnen mit GoA2 unter ETCS abgewickelt⁹.

Bei einzelnen Betrieben mit GoA4, wie bei der S-Bahn Hamburg oder bei der RBS in der Schweiz, handelt es sich um Versuchsfahrten. Zudem sind diese Unternehmungen keine Vollbahnen.

5.5 ATO-Anwendungen bei Rangierfahrten

Grundsätzlich hätten automatische Rangierfahrten ein nicht unerhebliches Einsparpotential beim Lokpersonal, da oftmals lange Wegzeiten zum Ausgangspunkt und zurück damit verbunden sind. Allerdings muss beachtet werden, dass gerade Rangierfahrten stellwerktechnisch deutlicher schwächer gesichert und weniger überwacht sind als Zugfahrten. Der infrastrukturseitige Aufwand zur Sicherung dieser Fahrten wäre daher verhältnismässig grösser. Zudem müssten jeweils Vorbereitungsarbeiten wie Bremsproben oder Kupplungsprozesse ebenfalls automatisiert werden, um einen Nutzen zu generieren.

6. Auseinandersetzung mit GoA2

Aufgrund der Tendenz, dass sich die Bahnbranche der Schweiz vermehrt mit Konzepten im Bereich von GoA2 auseinandersetzt, wird im Folgenden auf die diesbezüglichen Vorteile, Herausforderungen und Konsequenzen näher eingegangen.

6.1 Kapazitätssteigerung

Das Argument der Kapazitätssteigerung wird von Befürwortern regelmässig ins Feld geführt. Dabei stellt sich aber nicht nur die Frage, ob diese durch ATO GoA2 erreicht werden kann, sondern auch, ob sie notwendig ist. Fahrzeug- und Streckenausrüstungen mit ETCS L1 und L2 führen nachweislich zu Kapazitätsverminderungen aufgrund von systemisch restriktiven Auslegungen und den daraus resultierenden defensiveren Fahrweisen des Lokpersonals¹⁰. In diesem Zusammenhang würde also möglicherweise die ursprüngliche Kapazität wiederhergestellt. Auf diesen Punkt wird im nachfolgenden Kapitel noch näher eingegangen.

Eine Präzisierung und Vorhersehbarkeit der einzelnen Fahrten im täglichen Betrieb können jedoch in der Tat als erheblichen Gewinn für die Zuverlässigkeit und folglich als Kapazitätssteigerung an neuralgischen Punkten gewertet werden. Derartiges wird durch

⁹ Bundesamt für Verkehr BAV, Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050

¹⁰ Neue Zürcher Zeitung, «Der FV-Dosto sollte so ruhig fahren wie die Stadler Doppelstockzüge» (Vincent Ducrot, CEO der SBB)

ein zuverlässig funktionierendes, automatisches System wie ATO GoA2 positiv beeinflusst.

Verhältnismässig kostengünstig liesse sich Kapazitätssteigerung ebenfalls mittels gut koordinierter Rangierfahrten, funktionierender Kupplungsprozessen, ausfallsicherer Türen sowie schlüssigen, routinierten und konstanten Organisationsabläufen sicherstellen. Zudem sind, wie beispielsweise die Strecke Zürich Hardbrücke - Zürich Stadelhofen zeigt, auch über optische Signalisierungen sehr kurze Zugfolgezeiten und damit Kapazitätsgewinne realisierbar.

Auch stellt sich die Frage, inwiefern die Prognosen zum Fahrgastzuwachs korrekt sind und ob dieser entsprechend umfangreich auf allen Strecken und zu allen Tageszeiten ausfällt.

Fazit: Kapazitätssteigerungen sind nur teilweise notwendig. ATO GoA2 kann Kapazitätsverluste, welche durch ETCS verursacht werden, wahrscheinlich kompensieren und die Vorhersehbarkeit positiv beeinflussen. Funktionierende Prozesse, gut gewartetes Rollmaterial und verkürzte Blockabstände stellen eine kostengünstige Alternative dazu.

6.2 Schnellere Fahrt entlang der Bremskurven der Sicherheitseinrichtungen

ETCS L0, L1 und L2 überwachen in unterschiedlichem Ausmass die Geschwindigkeit mittels programmierter Bremskurven. Da aus Sicherheitsgründen ein nicht optimaler Schienenzustand, die massgebende Neigung – nicht die effektive – und ein tieferes als aktuelles Bremsverhältnis angenommen werden und weitere Sicherheitsmargen hinzugefügt werden, fallen die Bremskurven tiefer als notwendig aus.

Eine Kapazitätssteigerung mit ATO lässt sich im kleinen Umfang erreichen, indem der Zug exakt den durch die Zugbeeinflussung vorgegebenen Warn- und Bremskurven entlangfährt. Im Betrieb von ETCS L0 und L1, also in manueller Fahrt, ist dem Lokpersonal nicht ersichtlich, wo sich die jeweilige Bremskurve befindet, sodass sich eine solche Präzision systembedingt nicht erreichen lässt. Unter GoA2 jedoch soll das Lokpersonal zumindest bedingt die Verantwortung tragen und bei sicherheitskritischen Überschreitungen eingreifen, obschon sich der Zug am oder bereits über dem Limit befindet. Diese Vorgabe ist aus arbeitspsychologischer Sicht höchst riskant und zwingt den Menschen in eine unangemessen anspruchsvolle Überwachungsrolle. Die Fahrt entlang von Bremskurven bedeutet zudem einen erhöhten Verschleiss und tieferen Fahrkomfort aufgrund von starken Bremseinsätzen und ruppiger Beschleunigung.

Fazit: Eine Kapazitätssteigerung durch Ausreizen der Bremskurven ist vorhanden, wenn jene vorhergehend durch ein träges Zugbeeinflussungssystem oder eine alte Stellwerksanlage herabgesetzt wurde. Eine Überwachung des Systems durch den Menschen wird dabei aber massiv erschwert. Zudem stehen die höheren Verbräuche in einem fraglichen Verhältnis zu den positiven Effekten.

6.3 Halteortgenauigkeit

Eine verbesserte Halteortgenauigkeit wird häufig als Argument für ATO angeführt. Es wird davon ausgegangen, dass dies den Passagierwechsel in Bahnhöfen beschleunigen würde. Versuche haben allerdings gezeigt, dass ein möglichst exaktes Anhalten nicht zu mehr Zeitgewinn führt als ein «unpräzises» Anhalten im Bereich von einigen Metern¹¹. Gleichzeitig wurde dargelegt, dass ein «undiszipliniertes» Verhalten der Fahrgäste sowie defekte oder schmale Einstiegstüren zu Zeitverlusten führen – unabhängig des Automatisierungsgrades. Der Betrieb der Shinkansen-Züge in Japan zeigt zudem, dass auch ohne Automatisierung das punktgenaue Anhalten von Zügen möglich ist, sofern dies überhaupt erforderlich wird.

Fazit: Die Halteortgenauigkeit kann durch ATO verbessert werden, ist aber kein Argument dafür. Passagierströme werden durch breite, funktionierende Zugstüren sowie durch die Trennung von Einsteige- und Aussteigeflüssen optimiert.

6.4 Energieeinsparung

Versuche haben gezeigt, dass durch den Einsatz von ATO leicht energieoptimierte Fahrten durchgeführt werden können. Dies dank den dem System bereitgestellten Informationen zu erwarteten Konfliktpunkten oder Fahrzeitreserven. Im Schlussbericht Schritt B der SOB zu den ATO-Fahrten werden während den Versuchsfahrten Energieeinsparungen von etwa 5% und Zeitgewinne von bis zu 23 Sekunden im Vergleich mit analogen Fahrten ausgewiesen¹².

Das Schlüsselwort ist hierbei die Informationslage. Wenn das Lokpersonal über dieselben Fahrinformationen wie ein ATO-System verfügt, kann der Mensch problemlos eine ebenso energieoptimierte Fahrweise ausführen. Es kann gar davon ausgegangen werden, dass motiviertes Lokpersonal zusätzlich dazu einen komfortablen Fahrstil anbietet. Bei schlechten Adhäsionsverhältnissen ist es dem Menschen sogar eher möglich, eine angepasste adäquate Fahrweise zu wählen, um so Reibungsverluste und unangenehme Bewegungen in der Längsachse zu reduzieren.

Durch den verbreiteten Einsatz von Drehstromfahrzeugen, bei welchen im normalen Betrieb bis nahezu 100% der kinetischen Energie eines Fahrzeuges zurückgewonnen werden kann, ist die Möglichkeit der zusätzlichen Energieeinsparung jedoch ohnehin relativ gering.

Fazit: Energieeinsparung ist möglich; sie ist jedoch nicht allein auf den ATO-Betrieb zurückzuführen. Informationen über Konfliktpunkte und Fahrzeitreserven erzielen gleichermassen auf System sowie Lokpersonal positive Effekte.

¹¹ Der Eisenbahningenieur, Pilotprojekt zur Evaluierung und Steigerung der Haltegenauigkeit

¹² Schweizerische Südostbahn SOB, ATO Schlussbericht Schritt B

6.5 Verantwortlichkeit des Lokpersonals

Eine Schlüsselfrage ist die Verantwortlichkeit des Lokpersonals für eine GoA2-Fahrt. Traditionell trägt das ausführende Lokpersonal, beruhend auf seiner Ausbildung und im Rahmen seiner beruflichen Möglichkeiten, die volle Verantwortung über die gesamte Zugfahrt. Unter GoA2 gibt es derzeit unterschiedliche Auslegungen zu den Verantwortlichkeiten und Fähigkeiten sowie Kompetenzen des Systems. Ein als Assistenzsystem definierter ATO-Betrieb beispielsweise kann die Durchführung der Fahrt übernehmen, gleichzeitig jedoch die Verantwortung beim Lokpersonal belassen. Dies bietet direkte Konflikte im Zusammenhang mit der Vigilanz und der Routine. Einerseits ist ungeklärt, wie die Aufmerksamkeit über einen langen Zeitraum mit rein überwachender Tätigkeit aufrechterhalten werden soll, andererseits stellt sich die Frage, wie die Routine des Lokpersonals konserviert werden kann. Dies umso mehr, als in ein System eingegriffen werden soll, welches grundlegende traditionelle Logiken des geschulten Lokpersonals ignoriert und systembedingt ungewohnte Reaktionen auf gewohnte Situationen aufweist.

Zudem kann eine GoA2-Fahrt auch in «unsicheren» Betriebsmodi ausserhalb von ETCS L2 oder LZB mit externen Einflussfaktoren betrieben werden. Das Lokpersonal dient hierbei als Garant für die Vermeidung von allfälligen Fehlentscheidungen des Systems. Die Möglichkeit zum rechtzeitigen Eingreifen wird aber durch die Programmierung des Systems am Rande der Bremskurven noch zusätzlich erschwert. Die Toleranzen und Limiten sind – wie in Kapitel 6.2 dargelegt – dermassen grenzwertig, dass nach dem Erkennen eines Fehlverhaltens ein Eingreifen kaum mehr rechtzeitig realisierbar ist. Die Wahrnehmung der Verantwortung durch den Menschen wird somit erschwert bis verunmöglicht.

Es verbleiben in diesen Situationen dem Lokpersonal also die beiden Möglichkeiten, das System in der Hoffnung des zuverlässigen Betriebs wohlwollend zu überwachen oder permanent einzugreifen, falls das System ausserhalb gewohnter Logiken agiert. Beispielsweise hat das Lokpersonal gemäss Vorschriften eine Bremsung einzuleiten, bevor an einem Warnung zeigenden Vorsignal vorbeigefahren wird; das System bezieht seine Information jedoch erst an der Balise des Warnung zeigenden Vorsignals und kann folglich erst danach die Bremsung des Zuges einleiten.

Im Bericht des Branchenverbandes VöV über eine Branchenlösung ATO auf GoA2¹³ wurde eingeordnet, dass die Verantwortung beim Lokpersonal zu liegen kommen soll, das System dabei seine eventuellen Fehlfunktionen aber frühzeitig offen und transparent darlegen können muss. Ansonsten wäre das rechtzeitige Eingreifen für das Personal nicht möglich. Es ist davon auszugehen, dass dies die versprochenen Kapazitäten zusätzlich einschränken würde.

¹³ Prose AG, Branchenlösung ATO auf GoA2(+)

Fazit: Die Verantwortlichkeit ist nur teilweise geklärt. Zudem ist der Handlungsspielraum des Lokpersonals eingeschränkt, Fragen zu versicherungstechnischen und juristischen Haftbarkeiten sind offen und grundsätzliche betriebliche Konflikte sind unbeantwortet.

6.6 Gesamtbetrachtung ATO

In der Studie «Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050»⁹ im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr (BAV) vom 28. Januar 2022 wird zur Umsetzung von ATO erwähnt, dass explizit davor gewarnt wurde, zu viele Ressourcen und Forschungsanstrengungen in ATO zu investieren. Solange ausgebildetes Personal im Führerstand vorhanden ist, fällt der Benchmark von ATO negativ aus, da die fehlenden Einsparungen bei Personalkosten die hohen Investitionen in das System nicht kompensieren oder rechtfertigen können.

Als Vorteil von GoA2 werden genauere Halteorte, weniger Energieverbrauch und eine effizientere Fahrweise aufgeführt. Diese Ziele werden mit motiviertem und kompetentem Lokpersonal, welches über denselben Informationsstand verfügt, grösstenteils ebenfalls erreicht und sind auf diesem Weg wesentlich günstiger.

Aufgrund der grossen Monotonie und verminderten Vigilanz durch das reine Beobachten der Zugfahrt, welche in der Schweiz bisher in keiner Form durch Massnahmen im Bereich HOF/MTO kompensiert wurden, ist eine Attraktivitätsminderung des gesamten Berufsbildes zu erwarten. Zudem sind sicherheitskritische Einflüsse erwartbar, da System und Mensch verschiedene Logiken praktizieren.

Fazit: Das Kosten-Nutzen-Verhältnis unter Einbezug aller Faktoren, inkl. Personalgewinnung von Lokpersonal, würde bei einer umfassenden Überprüfung wohl negativ ausfallen.

7. Konflikte mit HOF (Human and Organisational Factors) bei GoA2

7.1 Monotonie bei der Arbeit des Lokpersonals

Im Bericht des Branchenverbandes VöV über eine Branchenlösung ATO auf GoA2¹³ wird explizit die Frage gestellt, ob im ATO-Betrieb gewährleistet werden kann, dass das Lokpersonal kontinuierlich die volle Aufmerksamkeit dem System widmen kann, wie lange die gefahrene Strecke unter ATO ist und welche Abwechslungen vorgesehen sind. Es wird deshalb beabsichtigt, das Lokpersonal selbst und deren gewerkschaftlichen Vertretungen von Beginn an in die Projekte einzubeziehen. Grundsätzlich dient dieses Vorgehen in erster Linie eher dem Fundieren einer grundsätzlichen Akzeptanz als der effektiven Auseinandersetzung mit den zu erwartenden Problematiken. Der VSLF wurde bisher nur auf explizites Verlangen miteinbezogen.

Dieselben Bedenken wurden ein Jahr später in der Arbeit «Smartrail 4.0: Sanft auf dem Weg zur Automation im Führerstand»¹⁴ erneut aufgeführt. Es wird nun von einer optimalen Automation anstelle einer maximalen Automation gesprochen. Dies würde in Bezug auf GoA2 vermutlich kaum noch Automation bedeuten; einerseits würden mit einem Verzicht darauf jegliche personalpolitischen Konflikte im Vorfeld bereinigt werden, andererseits würden auch zweifelhafte Produktversprechen in Bezug auf Effizienz- und Kapazitätssteigerungen umgangen.

Dass die Zunahme der Monotonie für das Lokpersonal und demzufolge die Mensch-Maschinen-Interaktion einen zentralen Schlüssel und Konfliktpunkt in der ATO-Thematik darstellen, ist anerkannt. Die konstante Überwachung eines Systems ohne selbständiges Handeln stellt im Zusammenspiel mit sonorer Geräuschkulisse leider perfekte Voraussetzungen, die dauerhafte Konzentration über viele Stunden hinweg auf oft denselben Strecken und Fahrzeugen zu verlieren.

In der arbeitspsychologischen Beurteilung und den Gestaltungsanforderungen an ATO/GoA2 von smartrail 4.0 ist aufgeführt, dass es notwendig ist, «das Situationsbewusstsein zu erhalten, das Monotonie-Empfinden zu unterbrechen und der Präsenz im Führerstand einen Sinn zu geben»¹⁵.

Bereits im jetzigen Eisenbahnbetrieb ist die Monotonie im Normalbetrieb sehr gross. Die Gründe sind der Taktverkehr, immer dieselben Handlungen im Führerstand und die teilweise kleinen Streckenrayons bei gleichzeitig immer einfacher zu bedienenden Fahrzeugen. Diese Rahmenbedingungen verleiten dazu, mit ATO GoA2 eine Entlastung von der betrieblichen und technisch motivierten Monotonie anzubieten. Leider wird jedoch damit die Monotonie zusätzlich gesteigert und stellt, zumindest für das Personal, wohl keine wünschenswerte Verbesserung dar.

Eine Beobachterrolle, wie unter ATO GoA2 für das Lokpersonal vorgesehen, bei gleichzeitiger voller Übernahme der Verantwortung, ist nicht nur technisch und juristisch kaum lösbar, sie ist auch aus menschlicher Sicht höchst unattraktiv und kontraproduktiv.

Fazit: Eine Überwachungstätigkeit mit aktiven Elementen über einen beschränkten Zeitraum hat weniger negative Auswirkungen als eine andauernde Überwachung ohne aktive Aufgabe in der Zugführung¹⁵.

7.2 Lösungsansätze der Bahnen

Mit einer möglichen Einführung von ATO GoA2 bei den Bahnen sind, auch nach Auffassung des BAV, weitreichende Massnahmen im Bereich der HOF erforderlich, um die Zunahme der Monotonie und den Verlust an Aufmerksamkeit zu kompensieren. Die vermutlich optimale Kompensation stellt die Zugführung durch das ohnehin anwesende Lokpersonal dar. Es erhält dabei die Kompetenzen, erkennt eine Sinnhaftigkeit im Beruf und kann motiviert eine effiziente Zugfahrt unter Bereitstellung der dazu notwendigen

¹⁴ Signal+Draht, Smartrail 4.0: Sanft auf dem Weg zur Automation im Führerstand

¹⁵ Smartrail 4.0, Arbeitspsychologische Beurteilung und Gestaltungsanforderungen an ATO/GoA2

Informationen ausführen. Das Zugbeeinflussungssystem kann im Hintergrund unter defensivem Eingreifen die Tiefhaltung der Fehlerquote unterstützen. Diese Erkenntnis im übertragenen Sinne ist beispielsweise in der Luftfahrt bereits längst anerkannt und umgesetzt; so fliegen Pilotinnen und Piloten wieder vermehrt manuell, obwohl der Autopilot sämtliche Aufgaben übernehmen könnte.

Aktuell sind bei den AFAS-Versuchsfahrten bei der SOB ausser den Hinweisen auf die Risiken, der Empfehlung zur Stärkung des Situationsbewusstseins und dem Vermerk auf die Rückfallebenen keine Massnahmen vorgesehen. Und dies, obschon im Schlussbericht Schritt B der SOB zu den ATO-Fahrten unter dem Artikel HOF und MTO diese explizit verlangt werden: «Zur Unterstützung der kontinuierlichen Vigilanz und des Situationsbewusstseins ist die durch das Wegfallen von Bedienhandlungen verlorene Aktivierung der Lokführer in geeigneter Weise zu kompensieren. Es ist sicherzustellen, dass die Lokführer während ihrem Einsatz im ATO-Betrieb über ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Aktivierung und Leistungsfähigkeit verfügen.»

Mögliche Ansätze für die Sicherstellung der Aufmerksamkeit des Lokpersonals finden bislang im Bahnbetrieb relativ wenig Beachtung; sie reichen vom Einsatz von Audioquellen (Radio) bis zur Empfehlung, mehr Kaffee zu trinken und sind dementsprechend nur bedingt ernst zu nehmen. Sie zeugen aber von einer erschreckenden Hilflosigkeit in der Lösungsfindung in dieser zentralen Fragestellung. Zum einen ist deren Wirksamkeit nicht nachgewiesen, zum anderen widersprechen einzelne Ansätze den Vorschriften. Es ist grundsätzlich fraglich, ob diese Problemstellung gelöst werden kann, da die Zielsetzungen divergent sind.

Fazit: Die Anwendung von HOF-Massnahmen wäre bereits aus heutiger Sicht im laufenden Bahnbetrieb erforderlich. Das Fehlen solcher Nachweise in aktuellen Versuchen lässt auf ein frühes Versuchsstadium unausgereifter Projekte und mehrdeutiger Verantwortlichkeiten in den Zuständigkeiten schliessen. Die Anwendung von GoA2 löst in diesem Zusammenhang in erster Linie weitere Konfliktsituationen aus.

7.3 Sicht der Wissenschaft

In der Studie «Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050» im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr (BAV)⁹ wird darauf aufgebaut, dass ATO GoA4 langfristig möglich wäre. Dies bedingt, wie unter Ziff. 3.1.1 «Hochautomatisierter Zugbetrieb» beschrieben, eine möglichst vollständige Isolierung der Fahrbahn gegen äussere Einflüsse und eine grosse Anzahl von Lokführerinnen und Lokführern auf Reserve oder im Pikettdienst. Dieses Personal hätte voraussichtlich keinerlei Routine in der Führung von Zügen und könnte im Störfall wahrscheinlich nur im Rahmen rudimentärer Prozesse die Konfliktlösung erreichen.

Ein erweiterter Einsatz des Reserve- und Pikettpersonals würde insofern keinen Sinn ergeben, da die möglichen – insbesondere monetären – Vorteile der Anwendung von ATO GoA4 relativiert werden würden und die erwünschte Homogenität der Fahrten auf ein theoretisches Niveau reduziert.

Fazit: Automatisch fahrende Züge bedeutet, dass kein Lokpersonal zum Einsatz kommt und dieses auch nicht mehr im gewohnten Rahmen ausgebildet werden kann. Die Kompetenz der manuellen Zugführung geht verloren. Gerade in Ereignisfällen wäre diese jedoch zwingend notwendig.

7.4 Zukünftige Personalgewinnung des Lokpersonals bei Anwendung von ATO

Die im Dokument «Arbeitspsychologische Beurteilung und Gestaltungsanforderungen an ATO/GoA2 von smartrail 4.0»¹⁵ aufgeführte Zielsetzung, «der Präsenz im Führerstand einen Sinn zu geben», lässt auf die frühe Erkenntnis der zukünftigen Sinnlosigkeit der Arbeit des Lokpersonals unter GoA2 schliessen. Mit dieser realistischen Ausgangslage werden den Eisenbahnen starke Erschwernisse in der Personalgewinnung und Personalpolitik generiert. Fähiges Personal zu gewinnen und über Jahre zu halten ist bereits heute eine Herausforderung.

Die Kosten für laufende Ausbildungen von Lokpersonal sind hoch. Infolge zunehmender Ausbildungsabbrüchen sowie Ausstiegen und Teilausstiegen aus dem Beruf, bedingt durch unattraktive Arbeitszeiten und zunehmende Monotonie bei der Arbeit, steigen diese Kosten laufend. Das Risiko von Lokpersonalmangel mit Auswirkungen auf den Betrieb nimmt ebenfalls zu.

Ein möglicher Lösungsansatz scheint das automatische Führen von Zügen unter ATO GoA4. Dies ist aktuell unrealistisch. Eine erste Bewegung in diese Richtung mit ATO GoA2 als technischer Zwischenschritt löst dieses Problem nicht, sondern verschärft es zusätzlich und merklich.

Durch die laufende Präsentation und Publikation von vermeintlichen ATO-Lösungen für die Zugführung wird ein negatives Image geschaffen, wobei der Beruf des Lokpersonals scheinbar keine oder nur eine ungewisse Zukunft aufweist. Dieses ausgesendete Signal ist verheerend für die Personalgewinnung.

Aus Sicht Lokpersonal ist es demotivierend, die Qualität der geleisteten Arbeit, die Erfahrung, die Bereitschaft zu sicherheitsrelevanten Tätigkeiten während extremen Schichtlagen sowie die persönliche Flexibilität als mangelhaft und problematisch darzustellen. Die effektiven Gründe für die mangelhaften Qualitäten sind nämlich vielmehr in der weitreichenden Verbreitung von Prozesslandschaften, Überreglementierungen, gesetzlichen Einschränkungen, trägen Sicherungssystemen, auswuchernden Bürokratie und im sinkenden berufsübergreifenden Knowhow des Bahnbetriebs zu finden. Siehe dazu die VSLF-Präsentation zur Tour d'Horizon von nextRAILplus vom 24. März 2024¹⁶.

¹⁶ VSLF, [VSLF RailPlus Präsentation](#)

Fazit: Propagierte ATO-Lösungen sind oft Verkaufsargumente der Industrie und einzelner Bahnabteilungen. Diese Signalwirkung wird zu spürbaren Problemen bei der Rekrutierung des nach wie vor notwendigen Lokpersonals führen.

8. Lösungen mit ATO

Längere Tunnelstrecken sind für Fahrten unter GoA2/3 prädestiniert, da keinerlei Umwelteinflüsse die Fahrt beeinflussen. Für das Personal sind diese Fahrten eher unattraktiv, da positive Reizbeeinflussungen wie Landschaft und Wetter wegfallen. Als Beispiele sind die Autozüge im Vereina- und Lötschberg-Scheiteltunnel zu nennen. Auch wäre es beispielsweise denkbar, Zugfahrten durch die neuen Basistunnels mittels ATO zu betreiben.

Ebenfalls sind Umsetzungen von ATO im Bereich von Rangiermanövern denkbar. Diese Arbeit findet oft zu Randzeiten und in Zusammenhang mit unproduktiven Wegzeiten statt, sodass die Einsparung von Personal merklich wäre. Zudem finden Rangierfahrten grundsätzlich bei tiefen Geschwindigkeiten, in begrenzten Bereichen und ohne Personenbeförderung statt. Allerdings muss beachtet werden, dass gerade Rangierfahrten stellwerktechnisch deutlicher schwächer gesichert und weniger überwacht sind als Zugfahrten. Der infrastrukturseitige Aufwand wäre daher verhältnismässig gross.

Ein System ähnlich der Müdigkeitswarnung in Autos, welches im Falle einer Erschöpfung des Lokpersonals die Arbeit übernehmen oder zumindest näher überwachen würde, hätte das Potential, Fehlhandlungen zu minimieren.

Fazit: Es gäbe grundsätzlich ATO-Anwendungsbereiche, welche den Menschen wirklich entlasten und sinnvoll ergänzen könnten.

9. Fazit zu ATO bei den Eisenbahnen in der Schweiz

9.1 Technische Möglichkeiten mit ATO

Verschiedene fehlende Voraussetzungen machen das Fahren unter ATO GoA3 und 4 bei Vollbahnen aktuell noch unrealistisch. Sollte die technische Machbarkeit einst gegeben sein, stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit und dem Verhältnis von Kosten und Nutzen.

Das oftmals aufgeführte Argument zur Kapazitätssteigerung ist nur unter bestimmten Voraussetzungen korrekt. Die ausweisbaren Kapazitätssteigerungen sind relativ gering und auch mit einfacheren und günstigeren Methoden erreichbar. Qualität und Präzision im Bereich von Prozessen und Rollmaterial schaffen ebenfalls gut nutzbare Kapazitäten. Eine grosse Kapazitätssteigerung würde mit nutzergerechten Sicherheitseinrichtungen

erreicht werden, welche mit realistischen Bremskurven hinterlegt sind und sinnvolle Anzeigen für das Lokpersonal anbieten.

Die Präzision bei der Halteortgenauigkeit durch GoA-Systeme ist vernachlässigbar und generiert ohne umfängliche Kundenleitsysteme keine zusätzlichen Gewinne. Zuverlässige Fahrzeugtechnik und präzise steuerbares Rollmaterial erzielen ähnliche Effekte.

Die Energieeinsparung ist, sofern überhaupt realisierbar, marginal. Das Lokpersonal ist, wenn mit denselben Informationen ausgestattet, in der Lage, einen Zug mit derselben Energiemenge zu fahren. Zudem ist die gesamte Qualität, insbesondere der Fahrkomfort, durch motiviertes und kompetentes Lokpersonal kaum zu übertreffen.

9.2 HOF-Aspekte von ATO

Eine Beobachterrolle bei gleichzeitiger Übernahme der vollen Verantwortung, wie unter ATO GoA2 für das Lokpersonal teilweise vorgesehen, ist nicht nur technisch und juristisch kaum lösbar, es ist auch aus menschlicher Sicht unattraktiv und risikoreich.

Es gibt einzelne spezifische Anwendungsfälle wie monotone Arbeit oder bei Erschöpfung, wo ATO möglicherweise eine sinnvolle Unterstützung bieten kann. Dennoch ist die dauernde Überwachungstätigkeit unter ATO GoA2 mit vielen negativen Folgeeffekten belastet. Das Problem der Abnahme der Vigilanz bei fehlender aktiver Zugführung ist ungelöst und nimmt in den Projekten und Versuchen leider nur eine unbedeutende Rolle ein.

Automatisch fahrende Züge haben zur Folge, dass kein Lokpersonal mehr notwendig ist und dies nicht mehr ausgebildet werden kann oder zumindest die Personalgewinnung stark erschwert wird.

9.3 Gesamtbetrachtung

Das Kosten-Nutzen-Verhältnis unter Einbezug aller Faktoren wie u.a. Effizienz-/Kapazitätssteigerungen, Personalgewinnung oder Sicherheitsniveau wird bei einer umfassenden Überprüfung eher negativ ausfallen. Die Kostentransparenz wird kaum eingehalten werden.

Propagierte ATO-Lösungen sind Verkaufsargumente der Industrie und einzelner Bahnabteilungen; sie beruhen in vielen Fällen auf leeren Versprechungen oder verfehlen das Ziel. Das ausgesendete Signal wird zu spürbaren Problemen bei der Rekrutierung des nach wie vor notwendigen Lokpersonals führen.

ATO GoA2 wird als notwendiger Zwischenschritt auf dem Weg zur Automatisierung verkauft. Nicht nur für die Anwender/-innen birgt dieses System jedoch erhebliche Nachteile und Risiken – eine zeitnahe Weiterentwicklung in sinnvollere Automatisierungsgrade wie GoA3 oder 4 ist nicht absehbar. Es scheint daher nahezu eine

Spielerei zu sein, welche technisch zwar machbar ist, über dies hinaus aber keine wirklichen Probleme der Eisenbahnen auf dem Weg in eine erfolgreiche Zukunft löst.

10. Glossar

AFAS	Automatisches Fahrassistenz System
ATO	Automatic Train Operation
BAV	Bundesamt für Verkehr
CBTC	Communication Based Train Control System
ETCS	European Train Control System
GoA	Grade of Automation
HOF	Human and organisational factors
LZB	Linienzugbeeinflussung
MTO	Mensch-Technik-Organisation
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SIL	Safety Integrity Level
SOB	Südostbahn
TL	Transports publics de la région lausannois
TVM	Transmission Voie-Machine
ZUB	Punktförmiges Zugbeeinflussungssystem (Siemens ZUB121/262)

11. Bibliografie

Internetseiten

- Bundesamt für Verkehr BAV, Sicherheitsberichte,
<https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/berichte/sicherheit.html>
- Bundesamt für Verkehr BAV, BAV-News-Blog,
<https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/bav-news-blog.html>
- Verband Öffentlicher Verkehr (VÖV), ATO-Branchenprogramm,
<https://www.voev.ch/de/System-Bahn-RTE/ATO-Branchenprogramm>
- Verband Öffentlicher Verkehr (VÖV), Projektübersicht in der ATO-Landschaft,
<https://www.voev.ch/de/System-Bahn-RTE/ATO-Branchenprogramm/Projektuebersicht-in-derATO-Landschaft>
- Railplus, Die Antwort der Meterspurbahnen zur Digitalisierung des Bahnbetriebs,
<https://www.railplus.ch/de/kompetenzzentren/nextrailplus>
- Bundesamt für Verkehr BAV, Technische Neuerungen im Schienengüterverkehr,
<https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/gueterverkehr/technische-neuerungen-im-schienenguterverkehr.html>
- Schweizerische Südostbahn, Automatic Train Operation (ATO) in 3 Minuten erklärt,
<https://direkt.sob.ch/themen/bahnwissen/ato>
- Wikipedia, Automatic Train Operation,
https://de.wikipedia.org/wiki/Automatic_Train_Operation
- Wikipedia, Sicherheitsanforderungsstufe,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheitsanforderungsstufe>
- Alstom, Alstom CBTC range : world leading high-capacity signalling,
<https://www.alstom.com/solutions/signalling/alstom-cbtc-range-world-leading-high-capacity-signalling>
- Verband Schweizer Lokführer und Anwärter (VSLF), ETCS / ATO,
<https://www.vslf.com/info/etcs>

Artikel / Publikationen

- Deutsches Eisenbahn-Bundesamt, Nationaler Umsetzungsplan ETCS (Version 1.11), 2017, 24 Seiten
- Schaefer, Spécial métro M2, portes ouvertes, Banc Public - Magazine des transports publics de la région lausannoise, Transports publics de la région lausannoise, 2006, 23 Seiten
- von Andrian, Unklare Lage bei der Waldenburgerbahn, Schweizer Eisenbahn Revue SER 1/2023, 2 Seiten
- Versluis, Quaglietta, Goverde, Pellegrini, Rodriguez, Real-time railway traffic management under moving-block signalling : A literature review and research agenda, Transportation Research Part C: Emerging technologies, 2024, 16 Seiten

- Nold, Büchel, Leutwiler, Lotz, Marra, Corman, Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050, Bundesamt für Verkehr (BAV), 2022, 105 Seiten
- Wirth, Pilotprojekt zur Evaluierung und Steigerung der Haltegenauigkeit, Der Eisenbahningenieur, 2021, 5 Seiten
- Böhler, Dällenbach, Kühni, Peine, Schlussbericht Schritt B, Schweizerische Südostbahn AG, 2024, 60 Seiten
- Nold, Büchel, Leutwiler, Lotz, Marra, Corman, Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050, Bundesamt für Verkehr (BAV), 2022, 105 Seiten
- Napoli, Branchenlösung ATO auf GoA2(+), Prose AG, 28 Seiten
- Abrach, Metz, Schneider, Smartrail 4.0: Sanft auf dem Weg zur Automation im Führerstand, Signal+Draht, 2019, 9 Seiten
- Steiner, Arbeitspsychologische Beurteilung und Gestaltungsanforderungen an ATO/GoA2, Smartrail 4.0, 2019, 19 Seiten
- Giger, «VSLF RailPlus Präsentation», VSLF, 2024