

# Standortbestimmung des DZSF zum Thema ATO

## Teil 2: Sicherheitsnachweis für KI-Komponenten und aktuelle DZSF-Projekte im Bereich ATO

KAI HOFMANN | RUSTAM TAGIEW |  
ROMAN TILLY | CHRISTIAN KLOTZ |  
MARKUS REINHARDT

**Aufbauend auf den Grundlagen der Automatic Train Operation (ATO), welche im ersten Teil (DER EISENBAHNINGENIEUR 01/2023) beschrieben wurden, wird nun auf den Sicherheitsnachweis für KI-Komponenten sowie die Rolle des Menschen eingegangen. Ein Ausblick und eine Übersicht der am Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) laufenden und geplanten Projekte mit Bezug zu ATO schließen diesen Beitrag ab.**

Das DZSF ist eine Ressortforschungseinrichtung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) und organisatorisch im Eisenbahn-Bundesamt (EBA) eingegliedert. Die hier dargestellte Perspektive ist dennoch diejenige der Forschung, nicht notwendigerweise die des Bundes und des EBA.

### Nachweisführung für KI-Komponenten

#### Testverfahren und -methoden

Für ML (Machine Learning)-basierte Bildverarbeitungssysteme ist ein analytischer Nachweis, der Fehler bei unbekanntem Eingabeparameter auf der Grundlage bekannter Eingabeparameter ausschließt, nicht möglich. Ein autonomer Zug könnte also systematisch Unfälle aufgrund von unentdeckten Fehlern verursachen. Nachfolgend werden einige Ansätze zur systematischen Prüfung und Verbesserung von ML-Bildverarbeitungssystemen skizziert, mit denen das Auftreten von Fehlern reduziert wird.

ML-basierte Systeme können entweder mit Daten getestet werden, für die Eingabeparameter und gewünschte Ergebnisse vorhanden sind, oder bei denen das berechnete Ergebnis nachträglich geprüft werden kann. Bei bekanntem Ergebnis kommen verschiedene Techniken der Kreuzvalidierung zum Einsatz [1]. Dabei werden Teile der Daten systematisch beim Training zurückgehalten und nach dem Training zur Verifizierung der korrekten Funktionsweise des Bildverarbeitungssystems verwendet. Zusätzlich zur (Kreuz-)Validierung, die während des Entwicklungsprozesses mehrfach durchgeführt wird, sieht die DIN SPEC 13266 einen separaten Testdatensatz vor, der nur einmal am endgültigen Modell getestet wird.

Die verschiedenen Testmethoden können i. d. R. entweder mit Daten aus realen Einsatzumgebun-

gen oder aus synthetischen Einsatzumgebungen durchgeführt werden. Die systematische Erfassung von Realdaten für die Bildverarbeitung ist aufwendig, da sie die Steuerung sehr vieler Variablen voraussetzt (u. a. Objekte, Lichtquellen, Zug, Wetterverhältnisse). Synthetische Daten, z. B. aus 3D-Szenen gewonnene Bilder, sind flexibler und umfangreicher zu erzeugen, können vermutlich die realen Daten nicht vollständig ersetzen.

Ansätze, die Entscheidungen von Künstlicher Intelligenz (KI) (primär tiefe neuronale Netze) nachvollziehbarer machen, werden unter Erklärbarer KI (EKI) zusammengefasst. Dabei wird für Menschen verständliches Wissen aus den mittels ML erlernten Abbildungen extrahiert, um es Menschen zu ermöglichen, dem neuronalen Netz „beim Denken zuzusehen“, um seine Inferenzregeln und damit seine Zuverlässigkeit zu beurteilen, anstatt nur seine Ergebnisse zu bewerten. EKI kann bereits im Entwicklungsprozess helfen, die Funktionsweise des neuronalen Netzes so früh wie möglich zu verifizieren. Auch ISO 21448 schlägt EKI zur Erhöhung des Vertrauens in ein Modell vor. Der Expertenrat der EU-Kommission nennt Transparenz als wichtiges Ziel für KI und schlägt sogar die Entwicklung hybrider Systeme vor, die die Leistungsfähigkeit von tiefen neuronalen Netzen auf der einen Seite und die Transparenz auf der anderen Seite vereinen [3]. Das DZSF beteiligt sich derzeit an der Erarbeitung der DIN SPEC 92001-3 für EKI und bereitet das Projekt „Erklärbare KI für ATO“ vor, um den Beitrag von EKI-Methoden für die Sicherheitsargumentation von KI-basierten Bildverarbeitungsverfahren zu evaluieren.

Das Ergebnis des Testens muss eine Aussage über das Restrisiko des Systems sein. Das bedeutet für die frontale Hinderniserkennung [2], dass während der Validierung die Auswirkung der Bildverarbeitung auf die Risiken gemessen wird.

#### Daten und Daten-Governance

Für die Sicherheitsbewertung von ML-basierten Funktionen werden mindestens drei Arten von Daten benötigt:

- D1) Fallkombinationen von Eingabeparametern und korrekten Ergebnissen
- D2) Ereigniswahrscheinlichkeiten bestimmter Gruppen von Eingabeparametern
- D3) Bewertungen bestimmter Gruppen von Fehlleistungen zwischen dem von der ML-basierten Funktion berechneten Ergebnis und dem korrekten Ergebnis bei gegebenen Eingabeparametern

Für die Umfeldüberwachung als Teil der Basisfunktion 3 (BF3) sind das beispielsweise

- D1) Sensordaten aus dem Gleisumfeld (Eingabeparameter) und Kennzeichnung darauf erkannter Objekte (Ergebnisse)
  - D2) Wahrscheinlichkeit für Personen in bestimmten Bereichen der Sensordaten
  - D3) Schadensschwere aufgrund der Fehlerkennung einer Person in gegebenen Sensordaten
- D1 sind für das Training und die Verifikation von ML-basierten Funktionen erforderlich. D2 und D3 sind erforderlich, um den Erhebungsprozess von D1 zu steuern (z. B. Fallkombinationen, bei denen Fehlleistungen der KI zu gravierenden Schäden führen können) und um den Nachweis eines ausreichenden Sicherheitsniveaus zu erbringen.

Um das geforderte Sicherheitsniveau bei ATO-Funktionen zu erreichen, sind umfangreiche Datensätze erforderlich. Die materiellen Anforderungen der KI-VO sollten bei künftigen Regelwerken auch im Bahnbetrieb berücksichtigt werden (Art. 79 KI-VO). So müssen Trainings-, Validierungs- und Testdatensätze relevant, repräsentativ, fehlerfrei und vollständig sein (Art. 10 Abs. 3 KI-VO). Sie müssen die in der Systemdefinition festgelegten Funktionen in den betrieblichen Szenarien und Umweltbedingungen abdecken. Die Datensätze müssen dabei auch ungewöhnliche, irreguläre oder sogar vorsätzlich schädigende Szenarien abdecken, damit ML-basierte ATO-Funktionen auch in diesen Szenarien korrekte Ergebnisse liefern und Entscheidungen treffen. Der Umfang der benötigten Testszenarien und -daten ist derzeit noch nicht bekannt.

Für die Entwicklung von Funktionen der Umfeldüberwachung für BF3 sind Datensätze verschiedener optischer Sensoren (RGB-Kamera, Infrarotkamera, Radar, LiDAR), die perspektivisch in einem ATO-System für die Umfeldüberwachung zum Einsatz kommen könnten (Eingabeparameter), sowie die entsprechenden korrekten Ergebnisse der zu lösenden Teilprobleme der Bildverarbeitung erforderlich. Derzeit existieren kaum frei verfügbare Datensätze, anhand derer Forscher und Entwickler ATO-Funktionen sowie auch Verfahren zu deren Verifikation und Validierung entwickeln könnten. Im Projekt „Offene Sensordaten ATO“ erstellt das DZSF einen solchen Datensatz und wird diesen in Kürze veröffentlichen. Im Projekt „Weiterentwicklung Offene Sensordaten ATO“ ist eine Erweiterung um Daten, die in anderen betrieblichen Umgebungen erhoben wurden und die weitere Szenarien abdecken, geplant. Im Projekt „Offene Kartendaten ATO“ ist zusätzlich geplant, neben den Sensordaten auch Daten einer digitalen Karte aufzubereiten und

Kurztitel	Vollständiger Titel	Status
Sensorik ATO	Sensorik als technische Voraussetzung für ATO-Funktionen	Bericht veröffentlicht
ATO Risk	Risikoakzeptanzkriterien für den automatisierten Fahrbetrieb	Bericht in Vorbereitung
Offene Sensordaten ATO	Aufbereitung von Datensätzen für Anwendungen des automatisierten Fahrens im Eisenbahnbetrieb	Bericht in Vorbereitung
ATO Sense	Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit	In Bearbeitung
ATO Akzeptanz	Nutzergruppenerwartungen und gesellschaftliche Akzeptanzbedingungen im automatisierten Schienenverkehr bei GoA3+	In Bearbeitung
Weiterentwicklung Offene Sensordaten ATO	Weiterentwicklung der offenen Datengrundlagen für die Objekterkennung und -klassifizierung mittels künstlicher Intelligenz beim automatisierten Fahren im Schienenverkehr	In Bearbeitung
Teleoperation ATO	Teleoperation als Ergänzung für den automatisierten Bahnbetrieb (ATO): Rahmenbedingungen und menschenzentrierte Gestaltung	In Bearbeitung
Performance Strecke	Berechnung der Performanceanforderungen für die Automatisierung des Bahnsystems	In Vorbereitung
Erklärbare KI für ATO	Sicherheitsargumentation mittels erklärbarer KI für das automatisierte Fahren im Bahnbetrieb	In Vorbereitung
Einsatzszenarien ATO	Systematisierung der Einsatzszenarien für ATO	In Vorbereitung
ATO Fahrversuche	Fahrversuche zur menschlichen Perzeptionsfähigkeit aus dem Führerraum	In Vorbereitung
Offene Kartendaten ATO	Datengrundlagen für die hochgenaue Lokalisierung beim automatisierten Fahren im Schienenverkehr	In Vorbereitung

Tab. 1: Übersicht der DZSF-Projekte zu ATO

zu veröffentlichen, anhand derer Funktionen zur hochgenauen Lokalisierung entwickelt werden können. Im Projekt „Sensorik ATO“ wurden die Anforderungen an ein ATO-System analysiert und wurde ein Sensorsystem zur Erhebung von Forschungsdaten spezifiziert.

### Die Rolle des Menschen

Wie ATO im Eisenbahnbereich genau eingeführt wird, ist noch unklar. Aus Entwicklerperspektive spricht vieles dafür, sich an das Problem heranzutasten und die Aufgaben des Triebfahrzeugführers (Tf) schrittweise zu technisieren. Aus der „Human Factors“-Perspektive ist ein solches Vorgehen jedoch problematisch. Die Eisenbahn ist ein sozio-technisches System, das auch psychischen, kognitiven und sozialen Einflussfaktoren ausgesetzt ist. In dem Maße, in dem Tf Aufgaben abgenommen werden, droht das Berufsbild entkernt und der Tf zum „Lückenbüßer der Automatisierung“ entwertet zu werden. Das könnte nicht nur die Attraktivität des Berufes senken und den Fachkräftemangel verschärfen, sondern die damit einhergehende Unterforderung kann auch auf das bestehende Personal belastend und demotivierend wirken. Ob ein Tf, der bei Grade of Automation 2 (GoA 2) auf freier Strecke im Wesentlichen nur noch mit der Hinderniserkennung beschäftigt ist, aufmerksam bleibt, muss untersucht werden.

Das Projekt „Teleoperation ATO“ zielt darauf, ein validiertes Konzept für ein neues Berufsbild eines teleoperierenden Tf zu entwickeln, welches in den zukünftigen automatisierten Bahnbetrieb integriert werden kann. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sollen dazu beitragen, dass die Teleoperation bei der Entwicklung von ATO-Systemen als ein Bestandteil dieser Systeme berücksichtigt werden kann.

### Weiteres Vorgehen

Die Projekte zum Thema ATO dienen dem Vorhaben, offene Fragestellungen auf dem Weg zur Inbetriebnahme automatisierter Fahrzeuge zu untersuchen. Mittelfristiges Ziel ist dabei auch die Standardisierung einer Methode, um den Sicherheitsnachweis für ATO-Systeme führen zu können. Gerade dafür ist es aber wichtig, die Sichtweisen aller relevanten Akteure einzubinden, was nur gelingen kann, wenn der Sektor aktiv an der Definition beteiligt ist. Das DZSF führt dazu regelmäßig Sektorgespräche durch, in denen der Stand der Projekte, aber auch weitere Entwicklungen diskutiert werden können. Interesse an einem fachlichen Austausch können Sie gerne über [forschung@dzsf.bund.de](mailto:forschung@dzsf.bund.de) bekunden.

Abschließend eine Übersicht (Tab. 1) der DZSF-Projekte zum Thema ATO mit erwartetem Stand in 01/2023. Sie finden die Projekte auf der DZSF-Homepage ([www.dzsf.de](http://www.dzsf.de)) unter dem Reiter „Projekte“, sobald sich diese in der Vergabe befinden. Vergaben sind auf der Vergabepattform des Bundes ([www.eVergabe-online.de](http://www.eVergabe-online.de)) zu finden, wo sie der Vergabestelle des EBA zugeordnet sind. ■

### QUELLEN

- [1] Tagiew, R.; Buder, T.; Hofmann, K.; Klotz, C.; Tilly, R. (2021, July): Towards Nucleation of GoA3+ Approval Process. In 2021 5th High Performance Computing and Cluster Technologies Conference, pp. 41-47
- [2] Tagiew, R.; Buder, T.; Hofmann, K.; Klotz, C.: „Risikoanalyse der Schnellbremsung bei frontaler Kollisionsgefahr“, eb Heft 6-7/2022
- [3] EU Commission, 2020: On Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust



**Dr. Kai Hofmann**  
Wiss. Referent Recht  
[hofmannk@dzsf.bund.de](mailto:hofmannk@dzsf.bund.de)



**Dr.-Ing. Christian Klotz**  
Wiss. Referent Automatisierung  
[klotzc@dzsf.bund.de](mailto:klotzc@dzsf.bund.de)



**Dr. Rustam Tagiew**  
Wiss. Referent Künstliche Intelligenz  
[tagiewr@dzsf.bund.de](mailto:tagiewr@dzsf.bund.de)



**Markus Reinhardt**  
Forschungsbereichsleiter  
Digitalisierung und Automatisierung  
[reinhardt@dzsf.bund.de](mailto:reinhardt@dzsf.bund.de)



**Dr. Roman Tilly**  
Wiss. Referent Data Science  
[tillyr@dzsf.bund.de](mailto:tillyr@dzsf.bund.de)

Alle Autoren:  
Deutsches Zentrum für  
Schienenverkehrsforschung (DZSF)  
beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden