

# Technische Demonstration von Remote Train Operation via 5G-Mobilfunk

A technical demonstration of remote train operations using 5G mobile communications

Niels Brandenburger | Igor Bier | Martin Busse | Jakob Gärtner | Tobias Melzer

Im Projekt 5G-Reallabor in der Mobilitätsregion Braunschweig-Wolfsburg wurde die technische Machbarkeit von Remote Train Operation (RTO) via 5G-Mobilfunk unter besonderer Berücksichtigung von Human Factors Nutzeranforderungen an den RTO-Arbeitsplatz demonstriert. Dabei wurde ein Schienenfahrzeug auf einer Infrastruktur in Schlettau (Erzgebirge) vom Standort des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig aus in den beiden betrieblichen Szenarien Ferngesteuertes Rangieren im Bahnhofsbereich und Ferngesteuertes Fahren zwecks Räumung der freien Strecke ferngesteuert.

## 1 Einbettung des Forschungsvorhabens in aktuelle Entwicklungen im Schienensektor

Das Thema Automatic Train Operation (ATO) auf der Vollbahn und die Taxonomie der Grades of Automation (GoA) [1] als theoretisches Leitkonstrukt für Eisenbahnautomatisierung sind weitgehend etabliert. Dieses greifbare Leitkonstrukt erweiterte die Automatisierungsansätze über GoA 2 (in Europa typischerweise ATO over ETCS Level 2) hinaus in Richtung GoA 3 und GoA 4, also in Richtung des vollautomatischen, unbesetzten Eisenbahnbetriebs. Da bei Automatisierungsgrad GoA 3 und GoA 4 die klassische betriebliche Rückfallebene aus dem GoA 1- und GoA 2-Betrieb, d. h. die Zuhilfenahme des anwesenden Triebfahrzeugführers im Störfall oder bei unzureichender (Strecken-) Ausrüstung, nicht mehr greift, muss die betriebliche Rückfallebene neu gedacht werden. Vor diesem Hintergrund entstand für die betriebliche Rückfallebene im GoA 3-/GoA 4-Kontext das Konzept von RTO [2]. RTO sieht bei Störfällen einen Zugriff des Bahnpersonals aus der Ferne auf den betreffenden Zug zum Zwecke der Diagnose, Minimierung der negativen betrieblichen Folgen einer Störung und der Entstörung vor [3]. Weitere Einsatzgebiete von RTO im automatisierten Eisenbahnbetrieb werden darüber hinaus z. B. im Rangierbereich oder im Vorbereitungsdienst gesehen.

Neben, aber nicht unabhängig von, den Automatisierungsbestrebungen ist die Entwicklung einer neuen 5G-basierten Kommunikationsinfrastruktur für den Bahnbereich zu nennen, die den aktuellen GSM-R-Standard in den Bereichen Zugsicherung und Zugfunk ablösen soll und darüber hinaus auch die Grundlage für den automatisierten Bahnbetrieb (GoA 2 bis GoA 4) darstellen kann [4]. Die Standardisierung und Harmonisierung dieser Bestrebungen finden u. a. im europäischen Projekt 5GRail [5] unter der Überschrift Future Rail Mobile Communication System (FRMCS) statt. Während ATO-Anforderungen und ATO-Funktionalitäten bei der Definition des FRMCS durchaus Berücksichtigung finden, steht das Thema RTO aktuell nicht im Fokus der Untersuchung und Spezifizierung von FRMCS.

The 5G-Reallabor in Braunschweig-Wolfsburg project has demonstrated the technical feasibility of Remote Train Operation (RTO) using 5G mobile communications with special consideration for any human-factor user requirements for the RTO workplace. During the demonstration, a rail vehicle was remotely controlled in two operating scenarios involving remote-controlled shunting and remote-controlled driving for the purpose of clearing an open track on infrastructure in Schlettau (Saxony, Germany) from an RTO workplace situated at the German Aerospace Center (DLR) in Braunschweig.

## 1 The project's background and current developments in the rail sector

The notion of Automatic Train Operation (ATO) on a main line and the Grades of Automation (GoA) taxonomy [1] have both become largely established as the leading theoretical constructs for railway automation. These concepts have extended automation approaches beyond GoA 2 (typically ATO over ETCS Level 2 in Europe) towards GoA 3 and GoA 4, i.e. fully automated, unattended railway operations. The operating fallback layers have had to be rethought given that the classic operating fallback layer from GoA 1 and GoA 2 operations, i.e. manual mitigation through an onboard driver in the event of a disruption or unfit infrastructure equipment, no longer applies to GoA 3 and GoA 4. The concept of RTO has been developed against this background as an operating fallback layer within the GoA 3/GoA 4 context [2]. RTO postulates remote control of a given train by centralised railway personnel in the event of a disruption for the purposes of diagnosis, minimising any negative operating consequences and mitigation [3]. Further areas of RTO application in automated railway operations are foreseen, for example, within the context of shunting or during preparatory services.

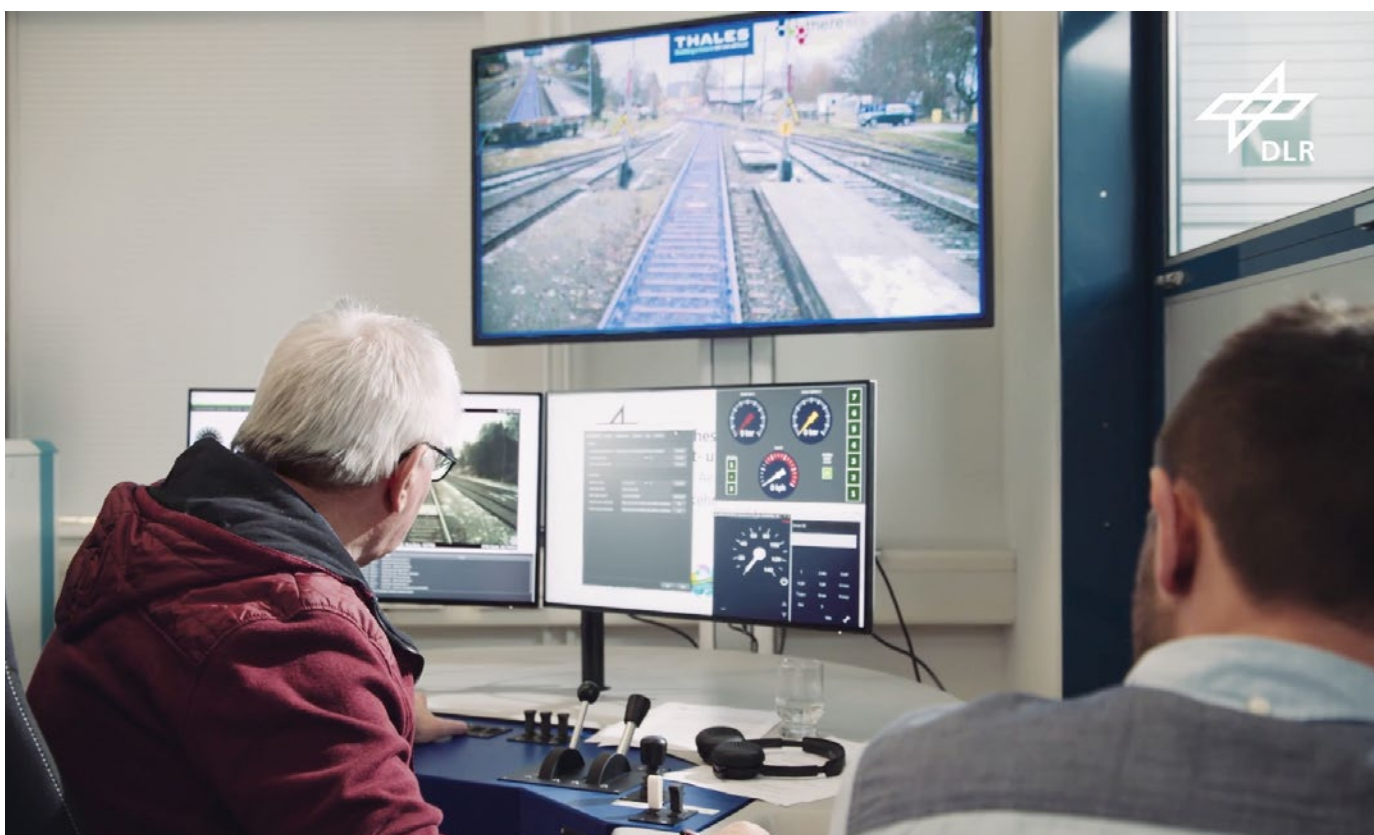
The development of a new 5G-based communication infrastructure for the railway sector that will replace the current GSM-R standard in the areas of train protection and train radio needs to be considered in conjunction with any automation efforts. It can also represent the basis for any automated railway operations (from GoA 2 to GoA 4) [4]. The standardisation and harmonisation of these efforts is taking place under the European 5GRail project [5] entitled the Future Rail Mobile Communication System (FRMCS). While ATO requirements and ATO functionalities have certainly been taken into account in the definition of FRMCS, the specification

Dabei ist offenkundig, dass eine leistungsfähige Kommunikationsinfrastruktur als Grundvoraussetzung für RTO, also z. B. für das Fernsteuern von Schienenfahrzeugen nahe Echtzeit, angesehen werden muss. Herausforderungen aus den Bereichen verfügbare Mobilfunkabdeckung und Netzwerkqualität stehen auch bei RTO klar im Fokus. Es lässt sich festhalten, dass ab einem bestimmten Reifegrad der Überlegungen zu RTO neben den zentralen technischen Herausforderungen auch die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Kommunikationsinfrastruktur adressiert werden muss. Darüber hinaus sind die Themenbereiche Sicherheitsnachweisführung und Human Factors unabdinglich, um den Reifegrad der RTO-Konzepte weiter zu erhöhen.

Entlang dieser Herausforderungen strukturierten sich die Inhalte des Teilprojekts Zugsicherung und Zugbeeinflussung des Projekts 5G-Reallabor in der Mobilitätsregion Braunschweig-Wolfsburg (kurz 5GReallabor) für das Thema RTO. Das Teilprojekt beinhaltete die Schwerpunkte 1) Netzqualitätsmessung, 2) Konzeption einer Sicherheitsnachweisführung für RTO, 3) Nutzeranforderungen an einen RTO-Arbeitsplatz sowie 4) Demonstration von RTO via 5G-Mobilfunk. Der erste Themenbereich der Netzqualitätsmessung für RTO wurde durch eine automatisierte Langzeitmessung (RTO-Arbeitsplatz-zu-Fahrzeug, d. h. Ende-zu-Ende) von relevanten Netzwerkparametern wie Signalstärke, Bandbreite, Latenz und Paketverluste adressiert. Um im zweiten Themenfeld Fortschritte zu erzielen, wurde ein Konzept zur Sicherheitsnachweisführung auf Basis der EN 50126 und EN 50128 erarbeitet. Ergebnisse zu beiden Themenbereichen werden zum Projektende des 5GReallabor (06/2023) in Berichtform vorliegen. Die Themenbereiche 3 und 4, Nutzeranforderungen an einen RTO-Arbeitsplatz und Demonstration von RTO via 5G-Mobilfunk, werden als inhaltliche Schwerpunkte dieses Beitrags im Folgenden detailliert dargestellt.

does not currently focus on RTO. It is obvious though that a capable communication infrastructure constitutes a basic requirement for RTO, i.e. for the remote control of rail vehicles in near real-time. Challenges in the areas of available coverage and network quality are equally important to RTO. It can be stated that the performance and reliability of the communication infrastructure must be addressed in addition to the vital technical challenges already under investigation in order to enable it to reach a certain level of maturity for RTO concepts. In addition, regulatory approval and human factors are indispensable topics when it comes to further increasing the maturity of the RTO concepts.

The contents of the train protection and train control subproject in the 5G-Reallabor in Braunschweig-Wolfsburg project (hereafter simply 5GReallabor) have been structured in relation to these challenges to RTO. The subproject included the following focus areas: 1) network quality assessment, 2) conceptual design of an approval approach, 3) RTO workstation user requirements and 4) demonstrating RTO via 5G mobile communications. The first topic of assessing the network quality for RTO was addressed by means of automated long-term measurements (from the RTO workstation to the vehicle, i.e. end-to-end) of relevant network parameters such as the signal strength, bandwidth, latency and packet loss rate. A concept for furnishing proof of safety based on EN 50126 and EN 50128 was developed in order to enable progress in the second area of interest. The results on both topics will be available in writing at the end of the 5GReallabor project (06/2023). Topics 3 and 4, RTO workstation user requirements and demonstrating RTO via 5G mobile communications, are presented in detail in the following sections of this article.



**Bild 1: Fernsteuerungsarbeitsplatz in Braunschweig während der Testdurchführung**

Fig. 1: Remote control workplace in Brunswick (Germany) during the test runs

**2 Ableitung von Nutzeranforderungen an den RTO-Arbeitsplatz**

Die Ausgestaltung des RTO-Arbeitsplatzes aus Human-Factors-Perspektive zum Zwecke der Demonstration von RTO via 5G-Mobilfunk und die Nutzeranforderungen wurden in einem mehrstufigen Verfahren erarbeitet [6]. Zunächst wurden Use Cases definiert, die als Szenarien für die Demonstration der Fernsteuerung im Zusammenspiel der Infrastruktur im sächsischen Schlettau und des RTO-Arbeitsplatzes am DLR-Standort in Braunschweig herangezogen wurden. Anhand dieser Use Cases konnten Betriebsabläufe definiert werden, die zu einem Testfallkatalog zusammengestellt wurden. Dieser Katalog bildete die Grundlage für eine Analyse der Nutzeranforderungen des Bahnpersonals (Train Operator) am RTO-Arbeitsplatz. Bei der Definition der Nutzeranforderungen wurden besonders die Teilbereiche Informationsbedarfe in der Leitstelle und Steuerungsbefehle, die aus der Leitstelle an das Fahrzeug gesandt werden, fokussiert. Die abgeleiteten Nutzeranforderungen bildeten die Grundlage für die Auslegung eines konkreten RTO-Arbeitsplatzes inklusive des physischen Bedienpults und der visuellen Informationsdarstellung (Bild 1).

Als Use Cases wurden das ferngesteuerte Rangieren im Bahnhofsbereich und das ferngesteuerte Fahren eines Zuges auf freier Strecke zwecks Räumung der Strecke gewählt, um relevante zukünftige Anwendungsbereiche von RTO zu reflektieren. Für beide Use Cases wurden im Projektteam abstrakte Betriebsabläufe erstellt, die vom DLR gemeinsam mit den Industriepartnern und dem beteiligten Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) UEF GmbH [7] zu einem Testfallkatalog ausgearbeitet wurden. Dieser fasste die Gesamtheit der benötigten Funktionalitäten am RTO-Arbeitsplatz zusammen, die zum erfolgreichen Absolvieren der Betriebsabläufe benötigt würden. Beispielhafte Funktionalitäten aus dem Testfallkatalog waren etwa Motor Start/Stop, Fahrtrichtungswechsel vorwärts/rück-

**2 Deriving the RTO workplace user requirements**

The user requirements from the perspective of human factors that lead to the design of the RTO workplace for demonstrating RTO via 5G mobile communications were developed in a multi-stage process [6]. Use cases were first defined and then used as scenarios for the demonstration of remote control in the interplay of the DLR site in Braunschweig (Germany) and the infrastructure in Schlettau (Saxony, Germany). Operating procedures were defined on the basis of these use cases and then compiled into a catalogue of test cases. This catalogue and the included tasks formed the basis for an analysis of the user requirements among the railway personnel (i.e. train operators) at the RTO workplace. When defining the user requirements, particular focus was placed on the subareas of information requirements in the control centre and the control commands sent from the control centre to the vehicle. The derived user requirements formed the basis for the design of the actual RTO workstation, including the physical control panel layout and the graphic arrangement of the displayed information (fig. 1).

Remote-controlled shunting within the station area and remote-controlled train driving on an open track for the purpose of clearing the track were selected as use cases to reflect relevant future RTO applications. The project team derived abstract operating procedures for both use cases, which were elaborated into a test case catalogue by the DLR together with the industry partners and the participating UEF GmbH railway undertaking [7]. This catalogue summarised the entirety of the functionalities required at the RTO workstation in order to successfully complete the tasks specified in the operating procedures. The exemplary functionalities from the test case catalogue were motor start/stop, change of direction (forward/reverse) or re-

26	Both	Speed control	Applying traction	Safety	The operator can apply traction from remote workplace only if the modus of control is RTO	10
27	Both	Speed control	Applying traction	Safety	The operator can apply traction from remote workplace only if ETCS is active and in modus Full Supervision	10
28	Both	Speed control	Applying traction	Safety	The operator can apply traction from remote workplace only if the doors are all closed	10
29	Both	Speed control	Applying traction	Control	The operator can apply traction from remote workplace via a combined traction/ brake lever in a continuous manner.	7
30	Both	Speed control	Applying traction	Information	Information on the current speed is available in the remote control workplace	8
31	Both	Speed control	Apply brakes	Information	Information on the brake pipe pressure as well as associated brake pressure-related information is available in the remote control workplace	9

**Bild 2: Auszug aus den Nutzeranforderungen für die Funktionalität Geschwindigkeitsregelung**

Fig. 2: Excerpt from the aggregated user requirements for speed control functionality



wärts oder Federspeicherbremse lösen / anziehen. Somit waren die benötigten Rahmenbedingungen definiert, um die Nutzeranforderungen aus Human-Factors-Perspektive im Detail abzuleiten: auf der einen Seite die betriebliche Vorgehensweise in Form des Betriebsablaufes mit klar definierten Arbeitsaufgaben des Train Operator und auf der anderen Seite die technischen Funktionalitäten der RTO-Arbeitsumgebung (d.h. die Arbeitsmittel), die dem Train Operator zur Erfüllung der Aufgaben zur Verfügung stehen sollten. Um eine systematische und vollumfängliche Ermittlung und Beschreibung von Nutzeranforderungen sicherzustellen, wurde hierarchisch vorgegangen: Anforderungen wurden zunehmend spezifisch auf den Ebenen Use Case, Funktionalität, Unteraufgabe und einer von drei Kategorien (Informationsbedarfe, Bedienhandlungen, Sicherheitsanforderungen) abgeleitet. Ein Auszug der resultierenden Nutzeranforderungen an den RTO-Arbeitsplatz für die Funktionalität Geschwindigkeitsregelung ist in Bild 2 dargestellt. Nach der ersten konzeptgeleiteten Beschreibung der Nutzeranforderungen wurde die Umsetzung in drei Iterationen durch erfahrene Lokführer überprüft und angepasst. Dies war speziell für die Anordnung der Bedienelemente auf dem Bedienpult und die grafische Anordnung der Informationen auf den digitalen Anzeigen am RTO-Arbeitsplatz unerlässlich.

### 3 Umsetzung der RTO-Demonstration via 5G-Mobilfunk

#### 3.1 Zielstellung der Demonstration

Ziele der technischen Demonstration von RTO via 5G-Mobilfunk im November 2022 waren zum einen, die Fernsteuerung von Schienenfahrzeugen in den beiden Use Cases aus physischer Entfernung mithilfe der heute verfügbaren Kommunikations- und Fahrzeugtechnologie zur Anwendung zu bringen. Zum anderen war das Ziel, offene Handlungsbedarfe bezüglich der Technik und des RTO-Arbeitsplatzes zu identifizieren. Dabei hob sich diese technische Demonstration (Bild 3) besonders aufgrund der inhaltlichen Breite der flankierenden Arbeiten und auch aufgrund der großen physischen Distanz

lease / apply holding brake. Thus, the necessary ingredients were all defined in order to derive the user requirements in detail from the perspective of the human factors: the operating procedures with clearly defined tasks for the train operator on the one hand and the technical functionalities of the RTO work environment (i.e. the means of work) that should be available to the train operator to perform the set of tasks on the other. A hierarchical approach was taken in order to ensure the systematic and fully comprehensive derivation of the user requirements: the requirements were derived in descending order from the use case, functionality and subtask and one of three categories (information needs, operator actions, safety requirements). Fig. 2 shows an excerpt from the resulting user requirements for the RTO workstation pertaining to the speed control functionality. Once the initial derivation of the user requirements was complete, the subsequent implementation was assessed and adjusted in three iterations by experienced train drivers. This was particularly essential for the arrangement of the control elements on the control panel at the RTO workstation and the graphic arrangement of the digital information at the RTO workstation.

### 3 The implementation of the RTO demonstration via 5G mobile communications

#### 3.1 The objectives of the technical demonstration

The objectives of the technical demonstration of RTO via 5G mobile communications in November 2022 were to apply remote control to the two use cases from a physical distance with the help of the communication and vehicle technology available today on the one hand and to identify any open issues with regard to both the technology and the RTO workplace on the other. Within this context, the technical demonstration (fig. 3) stood out clearly from the feasibility study of a remote control solution in 2019 [8], especially due to the volume and scope of the accompanying work and also due to the large physical dis-



**Bild 3: Innenaufnahme des Laborzuges während der Testdurchführung in Schlettau**

Fig. 3: Train interior during the test runs in Schlettau (Germany)

von ca. 300 km zwischen dem Fahrzeug und dem RTO-Arbeitsplatz deutlich von der Machbarkeitsstudie einer Fernsteuerungslösung im Jahr 2019 [8] ab. Im Gegensatz zu der Studie von 2019 befanden sich Fahrzeug und RTO-Arbeitsplatz nicht in der Reichweite einer Mobilfunkbasisstation, sondern das Fahrzeug wurde, vereinfacht gesprochen, wegen der physischen Distanz unter Mitarbeit des Mobilfunkbetreibers Vodafone zunächst über 5G-Mobilfunk und danach weiter über das Vodafone-Backbone und VPN-Mechanismen (Virtual Private Network) an den DLR-Standort in Braunschweig angebunden. Die Kombination aus Mobilfunk und kabelgebundener Verbindung zum Aufbau der Kommunikationsverbindung erscheint als realistisches Zukunftsszenario.

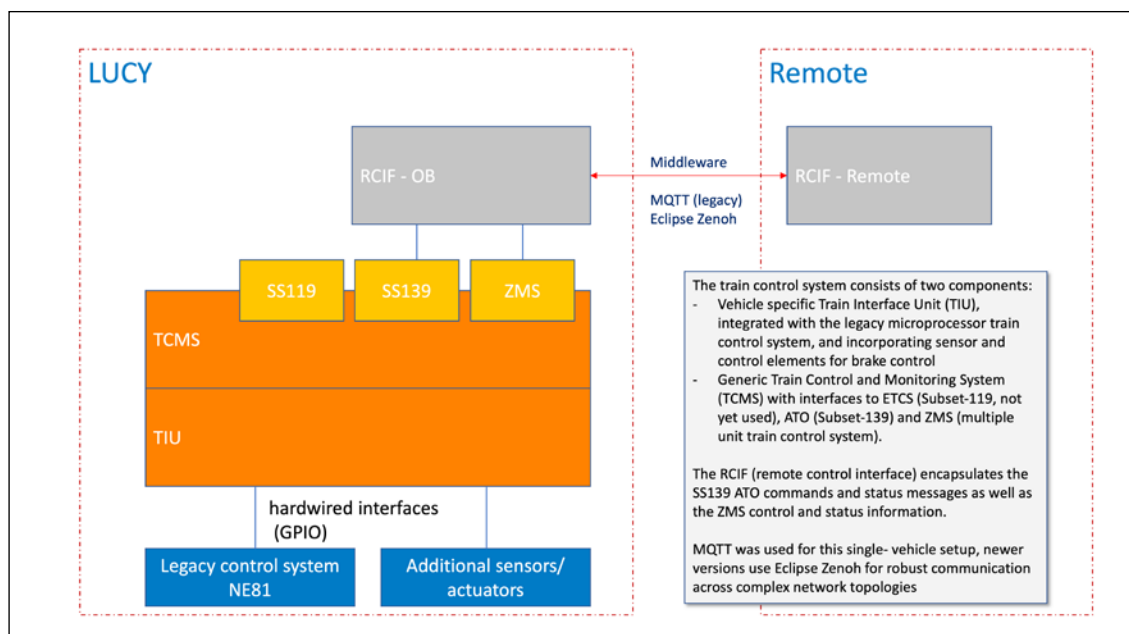
**3.2 Fahrzeug und Versuchsaufbau**

Als Versuchsträger für die technische Demonstration von RTO via 5G-Mobilfunk kam ein von Thales umgebaute Triebwagen der Bauserie NE81, auch bekannt als Laborzug Lucy, zum Einsatz. Dieser wurde bereits für die erste Versuchsreihe 2018-2019 mit einem Glasfaser-basierten LAN-Netz ausgerüstet, ergänzt durch 5G-Netzzugangs- und Antennentechnik. Für die Echtzeitbildübertragung wurden leistungsstarke Industriekameras mit Datenübertragung im GigE-Standard (bis 10 Gbit/s) verbaut. Die hohen Datenmengen wurden in einem vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik entwickelten Video-Server in „handliche Pakete“ umgewandelt. Ziel der Umwandlung war eine ruckelfreie und hochauflösende Bildübertragung bei gleichzeitig möglichst geringer Latenz über die aufgebaute 5G-Mobilfunkverbindung. Der NE81-Triebwagen selbst verfügte über eine Vorleistung für eine Rangier-Funkfernsteuerung und über die Möglichkeit der Fernsteuerung von einem gekoppelten Steuerwagen aus. Auf dieser Basis wurde, rückwirkungsfrei zum sicheren Betrieb, ein SPS-basiertes Train Control Management System (TCMS) von der Firma Railery implementiert (Bild 4). Da die Versuchsfahrten auf einer öffentlichen Strecke stattfanden, musste ein technisches Sicherheitskonzept unterlegt sein, was jegliche durch Fehlfunktionen der RTO oder Bedienhandlungen bedingte Gefährdungen verhinderte. Ein qualifizierter Triebfahrzeugführer (Tf) war während der Versuchsfahrt als Sicherheits-Tf im Fahrzeug anwesend und hatte dauerhaften Blick auf den Fahrweg. Ebenso wur-

tance of about 300 kilometres between the vehicle and the RTO workplace. While both the vehicle and the RTO workstation were covered by the same base station on the infrastructure side in 2019, in 2023 the vehicle was connected to the RTO workstation via mobile communications in conjunction with the Vodafone based backbone and a Virtual Private Network (VPN) due to the lack of physical proximity. The combination of mobile communications and the fibre-optic connection to establish the communication link appears to be a realistic future scenario.

**3.2 Vehicle details and the general setup**

The test vehicle used for the technical demonstration of RTO via 5G mobile communications was an NE81 locomotive supplied by Thales, which is also known as the Lucy train laboratory. It had already been equipped with a fibre-optic LAN network for the first series of trials in 2018 and 2019 and was subsequently supplemented with 5G network access and antenna technology. High-performance industrial cameras were installed with data transmission in the GigE standard, i.e. up to 10 Gbit/s, for real-time image transmission. The high data volumes were converted into “manageable packets” employing a video server developed by the DLR Institute of Transportation Systems. The goal of the conversion was smooth, high-resolution image transmission with the lowest possible latency via the established 5G mobile connection. The NE81 locomotive itself was already equipped for radio control shunting and additionally for the possibility of remote control from a nearby coupled control car. On this basis, a PLC-based Train Control Management System (TCMS) was implemented by the Railery Company (fig. 4) with no repercussions for safe operations. Since the test runs took place on public railway infrastructure, a technical safety concept had to be in place in order to prevent any hazards caused by malfunctions in the RTO or operator actions. A qualified driver was present in the vehicle as a safety driver during the test run and had a permanent view of the track. Similarly, the RTO workstation was also operated by an experienced and qualified driver. In addition, a test supervisor from UEF GmbH and the project management were present in the vehicle during the technical demonstration runs. The safety driver also operated the vehicle’s dead man switch (SIFA) and had the option of trig-



**Bild 4: Architektur der Fernsteuerungssoftware**  
 Fig. 4: Architecture of the software implementation used for remote train operation



de auf der Gegenseite der RTO-Arbeitsplatz von einem erfahrenen und qualifizierten Tf bedient. Darüber hinaus waren während der technischen Demonstrationsfahrten ein Versuchsleiter des EVU UEF GmbH sowie die Projektleitung im Fahrzeug. Der Sicherheits-Tf bediente auch den Sicherheitsfahrtschalter (SIFA) des Fahrzeugs und hatte jederzeit die Möglichkeit, eine Schnellbremsung auszulösen, inklusive eines Notausschalters, der dem RTO-Arbeitsplatz umgehend jegliche Kontrolle entziehen konnte. Betrieblich mussten alle Regeln der Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung (EIGV) für Probefahrten und der DB-Richtlinie 810.0400 (Versuchszüge fahren) eingehalten werden, die in einer Betriebs- und Bauanweisung (Betra) in Zusammenarbeit mit dem EVU erarbeitet und von diesen vorab freigegeben wurden.

Die Aspekte Verfügbarkeit der Kommunikationsinfrastruktur und Cybersecurity spielten eine elementare Rolle bei der Implementierung der RTO-Anwendung. Dies bedingte, dass sich die gesamte Datenverbindung im gesicherten Raum befinden musste und dadurch Umwege in Kauf genommen werden mussten. Hierzu wurde ein sogenannter Corporate Data Access (CDA) genutzt. Die 5G-Endgeräte stellten hierzu einen privaten APN (Access Point Name) ein. Kunden des CDA konnten dadurch ein eigenes, internes Netz aufbauen, mit frei wählbarer IP-Adressierung. Die Mobilfunkverbindung wurde dabei beim Kunden, in diesem Fall einem Thales-Labor in Ditzingen, über eine VPN-Internetverbindung terminiert. Dieses Netz arbeitete abgeschottet, vergleichbar zu einem Virtual Local Area Network (VLAN). Das Fahrzeug war über eine redundante 5G-Mobilfunkverbindung dauerhaft mit dem Thales-Labor in Ditzingen verbunden. Eine weitere Internet-Kabelverbindung führte dann von Ditzingen zum DLR-Standort nach Braunschweig, wo der RTO-Arbeitsplatz aufgebaut war. Eine weitere, verschlüsselte Verbindung über ein separates 5G-Modem wurde für die Videokommunikation zwischen der Fahrzeugseite und dem RTO-Arbeitsplatz in Braunschweig verwendet. Neuheitswert hatte bei dieser technischen RTO-Demonstration zudem der Einsatz einer Objekterkennung. Diese von Thales entwickelte Lösung unterstützte den Train Operator am RTO-Arbeitsplatz bei der frühzeitigen Erkennung von Gefährdungen im Fahrweg.

gering an emergency brake at any time by means of an emergency stop switch, which could immediately remove all control from the RTO workplace. Operationally, the German railway approval regulation (Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung, EIGV) for test runs and the DB 810.0400 guideline (running test trains) had to be complied with. As such, they were transferred into an instructional document for operations and construction (Betriebs- und Bauanweisung, Betra) in cooperation with and approved by the railway undertaking and the infrastructure manager in advance.

The availability of the communication infrastructure and cybersecurity played a fundamental role in the implementation of this RTO application. This meant that the entire data connection had to be located in a secluded network area, which meant that detours had to be accepted. Corporate data access (CDA) was used for this purpose and the involved 5G devices set a private APN (Access Point Name). The CDA customers were thus able to set up their own internal network with freely configurable IP addresses. The mobile connection terminated at the customer's site, in this case a Thales laboratory in Ditzingen, via a VPN internet connection. This network operated in a secluded manner, comparable to a Virtual Local Area Network (VLAN). The vehicle was permanently connected to the Thales laboratory in Ditzingen via a redundant 5G mobile connection. A further fibre-optic connection ran from Ditzingen to the DLR site in Braunschweig, where the RTO workstation was set up. Another encrypted connection via a separate 5G modem was used for video communications between the vehicle and the RTO workstation in Braunschweig. Another novelty in this technical RTO demonstration was the use of object detection. This solution developed by Thales supported the train operator at the RTO workstation in the early detection of hazards on the track.

#### 4 Conclusions and subsequent questions

The presented technical demonstration of RTO via 5G mobile communications has shown its technical feasibility on a geographically limited rail infrastructure in the case of available 5G coverage. Operationally, at least local trial operations are feasible under current

Ihre Innovationen für die **digitale Schiene** sind **jetzt** gefragt! Präsentieren Sie Ihr Unternehmen zielgerichtet in SIGNAL+DRAHT. Das international führende Fachmedium für die Leit-, Sicherungs- und Informationstechnologie.

DIGITALISIERUNG  
OSTW  
MOBILITÄT

ZUKUNFTSTECHNOLOGIE  
AUTOMATISIERUNG  
KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

iLBS

ETIS



#### 4 Schlussfolgerungen und anschließende Fragestellungen

Die vorgestellte technische Demonstration von RTO via 5G-Mobilfunk zeigt die technische Machbarkeit auf einer geografisch eingegrenzten Schieneninfrastruktur bei gegebener 5G-Mobilfunkabdeckung. Betrieblich sind mindestens lokale Testbetriebe unter den aktuellen regulatorischen Voraussetzungen möglich. Auch die Human-Factors-Perspektive zeigt, dass RTO, bei Anwendung einer systematischen Methodik zur Erfassung der Nutzeranforderungen und stringenter Übertragung dieser in konkrete technische Anforderungen, gelingen kann. Die größte Herausforderung liegt unseres Erachtens darin, eine Balance mit Blick auf die Spezifität und Universalität der Umsetzung zu finden. Dies gilt sowohl für die Ausgestaltung des RTO-Arbeitsplatzes und des betrieblichen Ablaufs als auch für die Auslegung von Technik und Software. Tendiert die RTO-Umsetzung zu stark in Richtung eines spezifischen Anwendungsfalles, so stellen sich berechnete Fragen bezüglich der Übertragbarkeit und Interoperabilität der Lösung auf andere Fahrzeuge, Infrastrukturen und betriebliche Rahmenbedingungen; ergo Fragen bezüglich der Nachnutzung der Lösung. Ist die RTO-Umsetzung auf der anderen Seite zu universell und unkonkret gestaltet, so schränkt dies die Handlungsspielräume des Personals am RTO-Arbeitsplatz in konkreten (Störfall-) Situationen z. B. aufgrund fehlender Bedienmöglichkeiten stark ein, und die reale Effektivität kommt der RTO-Umsetzung abhanden.

Auch bezüglich der benötigten Videoqualität als eine der zentralen Nutzeranforderungen bestehen noch offene Fragen. Aus diesem Grund wurde eine, initial nicht eingeplante, Studienreihe initiiert, um zu untersuchen, welche Videoqualität (operationalisiert durch Bildrate und Bitrate) vorhanden sein muss, um eine ausreichend schnelle und akkurate Entdeckungsleistung durch den Train Operator zu gewährleisten. Zu diesem Zweck wurde eine Versuchsumgebung mit einem Wahlreaktionszeitparadigma umgesetzt, in der Versuchspersonen die Aufgabe haben, schnellstmöglich betriebliche Infrastruktur und deren Zustand (z. B. Signale, Hektometertafeln) in Videos mit variierender Qualität zu identifizieren. Die Erhebung läuft derzeit, bislang wurden 46 Versuchspersonen untersucht. Mit dieser Untersuchung im Jahre 2023 adressiert das Projekt eine zentrale ungelöste Fragestellung im Themenbereich RTO. Die beschriebenen Erfahrungswerte zu Nutzeranforderungen und technischer Umsetzung und auch das Wissen um verbleibende Herausforderungen bringen die Projektpartner in aktuelle Projekte, wie z. B. das Projekt ATO-Cargo [9], ein. ■

#### LITERATUR | LITERATURE

- [1] IEC 62290-1:2014: Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts
- [2] Brandenburger, N.; Naumann, A.: Enabling automatic train operation through human problem solving, SIGNAL+DRAHT 3/2018, S. 6-13, DVV Media Group
- [3] Brandenburger, N.; Naumann, A.: Der Arbeitsplatz des Train Operator im Fokus, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2019, S. 13-17
- [4] <https://www.globalrailwayreview.com/article/130023/frmcs-finlands-rail-safety-related-communications/>, 09.03.2023 um 15:21
- [5] <https://5g-ppp.eu/5grail/>, 09.03.2023 um 15:22
- [6] [https://its-mobility.de/wpcontent/uploads/01\\_Brandenburger\\_Strauss\\_RemoteControl\\_submitted.pdf](https://its-mobility.de/wpcontent/uploads/01_Brandenburger_Strauss_RemoteControl_submitted.pdf), 09.03.2023 um 15:26
- [7] <https://www.uefgmbh.com/>, 09.03.2023 um 15:26
- [8] Melzer, T.: Konzeption neuer Technologien für autonomes Fahren, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2020, S. 12-15
- [9] <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/projekt-ato-cargo-erprobung-automatisierter-gueterzuege>, 09.03.2023 um 16:19

regulatory conditions. The human factors aspect has also shown that RTO can succeed when applying a systematic methodology to ascertain any user requirements and stringently translating these into specific technical requirements. In our opinion, the greatest challenge lies in finding the right balance between design specificity and universality. This applies to the design of the RTO workplace and the operating process, as well as to the design of the technology and software. If the RTO implementation is overly case-specific, justified questions arise regarding the transferability and interoperability of the solution to other vehicles, infrastructures and operating conditions. The future value of the solution might then be called into question in this case. If, on the other hand, the RTO implementation has been designed too universally and not specifically enough to capture the necessary information and means of control for the tasks at hand, it will restrict the possible responses of the personnel at the RTO workplace in specific (degraded) situations and the real-world effectiveness of the RTO implementation will be questionable. Additionally unresolved questions remain regarding the required video quality as one of the central user requirements. For this reason, a series of initially unplanned studies was initiated to investigate the question of what video quality (operationalised by frame rate and bit rate) is needed to ensure sufficiently fast and accurate detection performance by the train operator. To this end, an experimental environment with a choice reaction time paradigm has been implemented in which subjects are instructed to identify the operating infrastructure status (e.g. signals, hectometre boards) in videos of varying quality as quickly as possible. The study is still ongoing and at the time of this report 46 participants have taken part in it. The project is addressing another unresolved issue that is vital to RTO by means of this study. The lessons learnt described in this article with regard to both user requirements and technical implementation, as well as the knowledge of the remaining challenges, are being provided to currently running projects, such as the ATO-Cargo project [9]. ■

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Dr. Niels Brandenburger

Teilprojektleitung Zugfernsteuerung /  
Subproject Lead Remote Train Operation  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Anschrift / Address: Rutherfordstraße 2, D-12489 Berlin  
E-Mail: niels.brandenburger@dlr.de

##### Igor Bier

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Scientific staff  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig  
E-Mail: igor.bier@dlr.de

##### Martin Busse

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Scientific staff  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig  
E-Mail: martin.busse@dlr.de

##### Jakob Gärtner

Direktor / Director  
Railergy  
Anschrift / Address: Am Mittleren Moos 48, D-86167 Augsburg  
E-Mail: j.gaertner@railergy.com

##### Tobias Melzer

Senior Business Development Manager  
Ground Transportation Systems  
Anschrift / Address: Thalesplatz 1, D-71254 Ditzingen  
E-Mail: tobias.melzer@urbanandmainlines.com



Rail Bücher & Reports

# **GEBÜNDELTES WISSEN – ÜBERSICHTLICH UND AKTUELL**

[www.eurailpress.de/fachbuecher-reports](http://www.eurailpress.de/fachbuecher-reports)

**Jetzt  
bestellen!**



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Railery, Group Transportation System. Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH