

ATO-Cargo: Betriebsverfahren für die Rückfallebenen des hochautomatisierten Bahnbetriebes

ATO-Cargo: operating procedures for the fallback levels in highly automated railway operations

Stefanie Schöne | Niels Brandenburger | David Käthner | Michael Mönsters

Im Projekt ATO-Cargo (Automatic Train Operation Technologies for Cargo) wird ein vollautomatisierter Betrieb von Güterzügen getestet, bei dem ein Remote Supervision and Control Center (RSC) insbesondere Aufgaben in der Rückfallebene übernehmen soll. Dies umfasst bspw. die Betriebsart Remote Train Operation (RTO). Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) entwirft in diesem Projekt unter anderem Betriebsverfahren für Use Cases, in denen das RSC involviert ist. Anschließend werden Human-Factors-Analysen zu den Arbeitsprozessen eines RSC-Operators durchgeführt sowie die möglichen Veränderungen in den Anforderungen an die menschliche Leistungsfähigkeit für die neue Rolle des RSC-Operators identifiziert.

1 Das Projekt ATO-Cargo und die Rolle des RSC-Operators

Im Projekt ATO-Cargo [1] wird der automatisierte Bahnbetrieb (Automatic Train Operation, ATO) inklusive möglicher betrieblicher Rückfallebenen für ATO in Form des Fernzugriffs auf automa-

The ATO-Cargo (Automatic Train Operation Technologies for Cargo) project is testing out fully automated freight train operations, in which it is especially envisaged that a Remote Supervision and Control Centre (RSC) will assume the tasks at the fallback level. This includes, for example, the Remote Train Operation (RTO) mode. In this project, the German Aerospace Center (DLR) is designing the operating procedures for the use cases, in which the RSC is involved, amongst other things. Human factor analyses will subsequently be carried out on the RSC operator's work processes and any possible changes in the human performance requirements for the RSC operator's new role will be identified.

1 The ATO-Cargo project and the RSC operator's role

The ATO-Cargo project [1] will research and test automated train operations (ATO), including any possible operational fall-

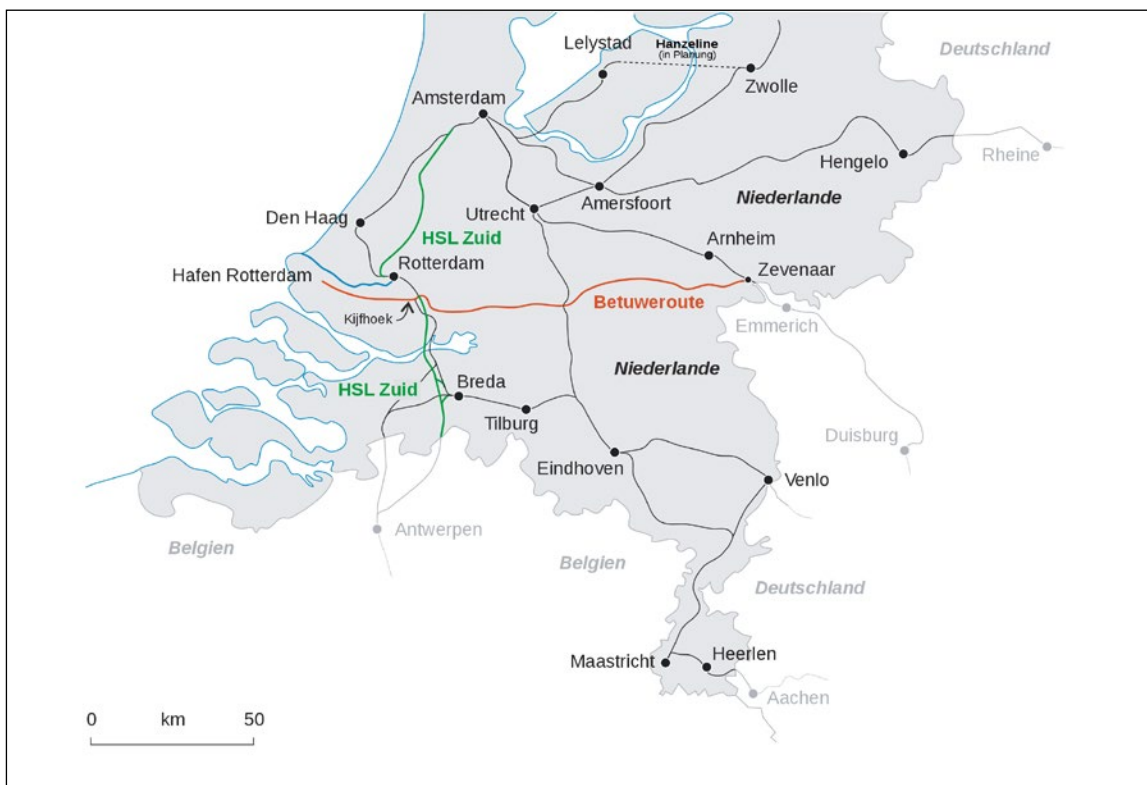


Bild 1: Verlauf der Betuwe-Route in den Niederlanden (rot)
 Fig. 1: A map of the Betuwe route in the Netherlands (red)
 Quelle / Source: Wikimedia Commons / Bukk

tisierte Zugfahrten (RTO) im Schienengüterverkehr erforscht und in einer einjährigen Testphase im Jahr 2025 erprobt. Aufgrund der benötigten Infrastruktureigenschaften bieten sich Güterzug-Korridore wie z. B. die Betuwe-Route in den Niederlanden (Bild 1) als Teststrecke an.

Die Arbeiten zielen übergeordnet darauf ab, die Produktionsqualität im Schienengüterverkehr zu erhöhen und ATO im europäischen Schienenverkehr einen entscheidenden Schritt voranzubringen. Durch den Einsatz von ATO im Schienengüterverkehr wird eine bessere Ausnutzung der Streckenkapazität bei gleichzeitig reduziertem Energieverbrauch angestrebt. Dabei hat die ATO sowohl die Aufgabe, im Rahmen der erlaubten Höchstgeschwindigkeit eine optimale Geschwindigkeit vorzugeben, als auch die Ist-Geschwindigkeit durch Bremsen und Beschleunigen auf diese Vorgabe einzustellen. Da die Frage nach möglichen Rückfallebenen im Störfall mit dem automatisierten Betrieb auf der Vollbahn eng verknüpft ist, ist ein weiteres zentrales Projektziel, RTO nutzerzentriert zu implementieren und erstmalig in konkreten betrieblichen Störfällen im Testbetrieb zu erproben (Bild 2). Bei Eintreten dieser Störfälle übernimmt der Mensch von einem RSC-Arbeitsplatz aus Aufgaben wie Fernüberwachung, Diagnose, Fernsteuerung oder Entstörung.

Zur Erreichung dieser Ziele lässt sich das Projekt in die beiden Phasen „Technischer Aufbau“ (Aufrüstung Fahrzeuge und Aufbau RSC) sowie „Zulassung und Test“ unterteilen. Die einjährige Testphase im Jahr 2025 dient dem übergeordneten Ziel, ein Referenzkonzept zur europäischen Etablierung dieses Automatisierungsansatzes im Schienengüterverkehr zu erarbeiten. Die technische Machbarkeit des Konzepts soll unter realen Betriebsbedingungen erprobt werden, dies beinhaltet auch Use Cases für das RSC.

Das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik begleitet das Vorhaben wissenschaftlich mit Fokus auf das RSC und hier insbesondere

back levels for ATO in the form of remote access to the automated train movements (RTO) in rail freight transport, in a one-year test phase in 2025. The required infrastructure characteristics mean that freight train corridors such as the Betuwe route in the Netherlands (fig. 1) are suitable as test routes.

The work generally aims to increase the production quality in rail freight transport and take a decisive step forward in ATO in European rail transport. The aim is to achieve better utilisation of the line capacity along with reduced energy consumption through the use of ATO in rail freight transport. Within this context, the ATO is both tasked with specifying an optimum speed within the permitted maximum speed and with adjusting the actual speed to this specification by means of braking and acceleration. Since the question of possible fallback levels in the event of an incident is closely linked to automated operations on the mainline, yet another central project objective involves the implementation of RTO in a user-centred manner and testing it for the first time within the context of concrete operating incidents in test operations (fig. 2). Whenever these incidents occur, humans will take over the tasks such as remote monitoring, diagnosis, remote control or fault clearance from the RSC workstation.

The project can be divided into two phases, namely the “technical set-up” (upgrading the vehicles and setting up the RSC) and the “approval and test”, in order to achieve these goals. The one-year test phase in 2025 will serve the overarching goal of developing a reference concept for establishing this automation approach in European rail freight transport. The concept’s technical feasibility will be tested under real operating conditions; this also includes the use cases for the RSC.

The DLR Institute of Transportation Systems is providing scientific support for the project with a focus on the RSC and, in par-



Bild 2: Exemplarische Darstellung eines RSC-Operator-Arbeitsplatzes aus dem Anwendungskontext des Projektes „5G-Reallabor“

Fig. 2: A representation of an RSC operator workstation from the application context of the “5G-Reallabor” project

Quelle / Source: DLR

re die nutzerfreundliche Gestaltung des RSC-Arbeitsplatzes und der dahinterliegenden Arbeitsprozesse zur Überwachung und Fernsteuerung von Zügen. Dies liegt darin begründet, dass sich durch die Einführung von ATO und RTO die Rollen der Beschäftigten wandeln werden [2, 3]. Das Institut besitzt eine umfassende Expertise hinsichtlich Human Factors und hat bereits umfassende Analysen zu sinnhaften und ganzheitlichen Arbeitsinhalten [4] im Kontext von Grade of Automation (GoA) 3 und 4 (automatisierter Betrieb mit unbesetztem Führerstand, [5]) erarbeitet, die weit über die reine Arbeitsplatzgestaltung hinausgehen. Es gilt aus Human-Factors-Perspektive insbesondere zu untersuchen, wie eine Balance zwischen Unterforderung und Überforderung der RSC-Operatoren gefunden werden kann, also z.B. eine passende Anzahl an Zügen und Störfällen zu ermitteln, die effektiv überwacht bzw. übernommen werden können und welche Qualifikationen dazu erforderlich sind.

Konkrete wissenschaftliche Arbeitsschritte auf diesem Weg sind unter anderem die Erstellung eines Gestaltungskonzeptes für das RSC, die Erhebung von Anforderungen an die physische und organisationale Arbeitsumgebung sowie an die Mensch-Maschine-Schnittstellen, oder die Definition von angepassten Betriebsabläufen. Darüber hinaus werden begleitende Usability-Untersuchungen während der technischen Produktentwicklung sowie eine umfangreiche Human-Factors-Analyse des realen Probebetriebs in der einjährigen Testphase durchgeführt.

2 Herausforderungen bei der Einführung neuer Rollen und Betriebsverfahren

Die Automatisierung des Schienengüterverkehrs stellt herausfordernde Fragen hinsichtlich des Sicherheitsmanagements im Gesamtsystem. Ein wesentlicher Teil der Sicherheit hängt vom korrekten Funktionieren des Systems ab und wird daher als funktionale Sicherheit bezeichnet [6]. Wegen der Vielzahl möglicher Systemzustände im automatisierten Bahnbetrieb ist es kaum denkbar, für jede vorstellbare Situation genaue Anforderungen an das Verhalten von Systemkomponenten zu definieren. Daher wird der einjährige Testbetrieb als Kernelement des Projektes anhand von Use Cases in Form konkreter betrieblicher Situationen geplant, mit denen das System als Ganzes sicher und effizient umgehen können muss.

Das Verständnis von Sicherheit orientiert sich dabei am risikoorientierten Ansatz der Durchführungsverordnung über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken (CSM-Verordnung) [7]. Dieser Ansatz geht davon aus, dass Schadensereignisse in komplexen Systemen nicht gänzlich vermieden werden können. Gleichwohl muss ein geeignetes Sicherheitsmanagement unvermeidbare Risiken ausschließen. Für technische Systeme werden daher Sicherheitsintegritätslevel (Safety Integrity Level, SIL) spezifiziert, welche die Wirksamkeit der Systemfunktionen in Bezug auf definierte Risiken angeben. Dazu wird je SIL eine sogenannte Gefährdungsrate festgelegt, welche die Höchstzahl unerwünschter Ereignisse pro Zeiteinheit angibt. Die entsprechende Nachweisführung wird etwa in der Norm EN 50126 [6] dargestellt.

Die Übertragung des etablierten Sicherheitsmanagements auf den Menschen muss dessen Rolle im neuen System berücksichtigen. Im neuen Gesamtsystem bilden das RSC sowie der RSC-Operator zentrale Bestandteile der Sicherheitsarchitektur. Daher adressieren einige Use Cases in ATO-Cargo systembezogene Funktionen, die von RSC und RSC-Operator ausgeführt werden und die bereits in früheren Untersuchungen definiert wurden [8]:

ticular, the user-friendly design of the RSC workplace and the underlying work processes for monitoring and remotely controlling trains. This is based on the fact that the introduction of ATO and RTO will change employees' roles [2, 3]. The institute has extensive expertise in human factors and has already developed comprehensive analyses regarding meaningful and holistic work content [4] within the context of Grades of Automation (GoA) 3 and 4 (automated operations with an unmanned driver's cab, [5]), which go far beyond pure workplace design. From the perspective of the human factors, it is particularly important to investigate how a balance can be found between underloading and overloading the RSC operators, e.g. to determine the suitable number of trains and incidents that can be effectively monitored or assumed and the qualifications required to do so. Concrete scientific steps along this path have included the creation of a design concept for the RSC, the elicitation of the requirements for the physical and organisational working environment and the human-machine interfaces or the definition of any adapted operating procedures. In addition, accompanying usability studies will be undertaken during the technical product development, in addition to a comprehensive analysis of the human factors in real trial operations during the one-year test phase.

2 Challenges in the introduction of new roles and operating procedures

The automation of rail freight transport poses challenging questions regarding safety management in the overall system. An essential part of safety depends on the correct functioning of the system and is therefore referred to as functional safety [6]. The large number of possible system states in automated railway operations mean that it is almost impossible to define the exact behaviour requirements for the system components in every imaginable situation. Therefore, the year of test operations at the heart of the project has been planned on the basis of use cases in the form of concrete operating situations that the system must be able to handle safely and efficiently as a whole. The understanding of safety is based on the risk-oriented approach from the Implementing Regulation on the Common Safety Method for the Evaluation and Assessment of Risks (CSM Regulation) [7]. This approach assumes that damaging events in complex systems cannot be completely avoided. Nevertheless, suitable safety management must exclude any unjustifiable risks. Safety integrity levels (SIL) are therefore specified for technical systems to indicate the effectiveness of the system functions in relation to the defined risks. To this end, a so-called hazard rate is specified for each SIL to indicate the maximum number of undesired events per time unit. The corresponding verification is described in the EN 50126 standard [6].

The transfer of any established safety management to humans must take into account their role in the new system. The RSC and the RSC operator constitute central safety architecture components within the new overall system. Therefore, some use cases in ATO-Cargo address the system-related functions performed by the RSC and RSC operator, which have already been defined in previous studies [8]:

- RTO as remote driving, including the control of functions such as activating the microphone, sanding, activating the safety driving circuit (SiFa), stopping at the defined location and performing an emergency stop

- RTO als fernwirkendes Fahren inklusive der Kontrolle von Funktionen wie Betätigen des Mikrofons, Sanden, Betätigen der Sicherheitsfahrerschaltung (SiFa), das Anhalten an einer definierten Stelle sowie die Durchführung eines Nothalts
- Übergang zwischen den Systemzuständen ATO und RTO, Zugang durch Vor-Ort-Personal
- Aktualisierungen von Fahrplaninformationen
- Diagnose, Handling- und Systemtests
- Abbruch der Stromversorgung über die Oberleitung an Trennstellen oder aufgrund von Störungen.

Sowohl bahnbetriebliche als auch Human Factors-bezogene Analysen machen deutlich, dass sich im Rahmen von Automatisierung übergreifende Systemfunktionen verändern anstatt isolierter Aufgaben [9]. Das erschwert die Vorhersage von Art und Häufigkeit menschlicher Fehlhandlungen wesentlich. Zumindest für im Aufbau befindliche Systeme ist eine exakte Vorhersage in der Regel weder analytisch noch simulativ zu leisten.

Generell gesprochen liegt ein wichtiger Grund für überraschende Auswirkungen von Automation in Phänomenen wie dem Verlust wichtiger Fertigkeiten, wenn diese automatisierungsbedingt seltener ausgeführt werden. In kritischen Situationen fehlt damit gegebenenfalls das eingeübte Handlungswissen, um schnell und richtig zu reagieren. Ohne frühzeitig geplante Gegenmaßnahmen können diese „Ironies of Automation“ sogar zu einer Erhöhung von Risiken führen, auch wenn die Sicherheitsintegrität einzelner Systemkomponenten nachgewiesen wurde [10].

Eine Aufgabe des DLR im Projekt ATO-Cargo besteht darin, einen ersten Entwurf für neue Betriebsverfahren zu erstellen, um diejenigen Use Cases bestmöglich abzubilden, in der die neu definierte Rolle des RSC-Operators benötigt wird. Dabei soll der RSC-Operator in einer sicheren und effizienten Weise das eingeübte Handlungswissen in neuer Umgebung anwenden. In einem ersten Iterationsschritt wird dem Grundansatz gefolgt, dass sich die Aufgaben nur geringfügig von den gewohnten, erprobten und bewährten Betriebsverfahren unterscheiden sollen, die heute angewendet werden und einen hohen Sicherheitsstandard für den Bahnbetrieb gewährleisten. Deshalb orientieren sich die Prozesse, Kommunikationsabläufe und Zuständigkeiten in den neuen Betriebsverfahren im ersten Iterationsschritt deutlich an denen des heutigen Betriebs.

Ziel der Erstellung der Betriebsverfahren für die weiteren Projektarbeiten ist es, eine Liste von Aufgaben und Tätigkeiten zu erstellen, die das Betriebspersonal im RSC im zukünftigen automatisierten Bahnbetrieb insbesondere im RTO-Betrieb ausführen muss. Mit der Expertise in Human Factors wird anschließend analysiert, ob sich aus der Ausübung dieser Tätigkeiten im neuen Aufgabenfeld potenzielle Gefährdungsquellen ergeben. Die Analyse gibt zudem wichtige Hinweise zur Gestaltung von Arbeitsumgebung und -bedingungen im zukünftigen System.

So können potenzielle Fehlhandlungen im Rahmen der definierten Betriebsverfahren identifiziert werden. Auch wenn die endgültige Ausgestaltung der bahnbetrieblichen Rollen zukünftiger RSC-Operatoren noch abzuwarten bleibt, bildet die Gefährdungsanalyse den Rahmen zur Untersuchung der konkreten Umsetzung von Fernüberwachung, -entstörung und -steuerung im RTO-Betrieb. Demzufolge wurde bereits in ersten Voruntersuchungen deutlich, dass künftig wichtige Informationsquellen wie Vibrationen, Geräusche oder ein schneller Sichtkontakt aufgrund der räumlichen Trennung von Personal und Fahrzeug möglicherweise durch Sensoren ersetzt werden müssen, um Beeinträchtigungen des für schnelle und richtige Entscheidungen maßgeblichen Situationsbewusstseins zu vermeiden [11].

- the transition between ATO and RTO system states, access by the on-site staff
- updates to the timetable information
- diagnostics, handling and system tests
- an interrupted power supply in the overhead contact line at separation points or due to faults.

Both railway operating and human factors analyses have made it clear that overarching system functions change instead of mere isolated tasks within the context of automation [9]. This makes it much more difficult to predict the nature and frequency of any human error. Exact predictions can usually neither be made analytically nor by simulation, at least for systems under construction.

Generally speaking, an important reason for the surprising effects of automation lies in phenomena such as the loss of important skills that are performed less frequently due to automation. In critical situations, the trained knowledge of how to react quickly and correctly may be missing. These “ironies of automation” can even lead to increased risk if no countermeasures are planned at an early stage, even if the safety integrity of the individual system components has been demonstrated [10].

One of DLR's tasks in the ATO-Cargo project is to create an initial draft for the new operating procedures in order to best map those use cases where the newly defined role of the RSC operator is needed. In doing so, the RSC operator should be able to safely and efficiently apply any trained knowledge on how to act in a new environment. In the first iterative step, the basic approach requires the tasks to only slightly differ from the familiar, tried and tested operating procedures that are used today and ensure a high safety standard for railway operations. Therefore, the processes, communication flows and responsibilities in the first iterative step of the new operating procedures are clearly oriented towards those of today's operations.

The process of drawing up operating procedures for the further project work aims to establish a list of tasks and activities that the RSC operating personnel will have to perform in future automated railway operations, especially in RTO operations. The expertise in human factors will then be used to analyse whether any potential sources of danger may arise from the performance of these activities within the new task environment. The analysis will also provide important information on how to design the working environment and the conditions in the future system.

In this way, any potentially incorrect actions can be identified within the framework of the defined operating procedures. Even though the final design of the future RSC operators' railway operating roles remains to be seen, the hazard analysis has provided the framework for investigating the specific implementation of remote monitoring, troubleshooting and control in RTO operations. Accordingly, it has already become clear in the initial preliminary investigations that important sources of information such as vibrations, noises or rapid visual contact may have to be replaced in the future with sensors due to the spatial separation of the personnel and vehicles, so as to avoid any impairment in the situational awareness that is decisive for making rapid and correct decisions [11].

3 Examples of future operating procedures

Operating procedures for a total of 25 use cases in which the RSC is involved are being considered under the ATO-Cargo project. On the one hand, the activities of human operators in the RSC can be derived from the operating processes, while, on

3 Beispiele für zukünftige Betriebsverfahren

Im Projekt ATO-Cargo werden Betriebsabläufe für insgesamt 25 Use Cases betrachtet, in denen das RSC involviert ist. Aus den Betriebsabläufen können zum einen die Tätigkeiten des menschlichen Betriebspersonals im RSC abgeleitet werden, und zum anderen kann zukünftiger Bedarf an zusätzlicher technischer Unterstützung identifiziert werden. Im Folgenden werden zwei Beispiele beschrieben, die die Vielfalt und Komplexität der Tätigkeiten des RSC-Operators darstellen.

3.1 Use Case „Fahren unter manueller Kontrolle des RSC-Operators (RTO-Betrieb)“

Dieser Use Case umfasst alle Tätigkeiten, die für das Fernsteuern eines Zuges aus dem RSC heraus nötig sind. Dabei steht der Zug vollständig unter der Kontrolle des RSC, und die ATO ist abgeschaltet. Dieses Betriebsverfahren soll als Rückfallebene für die ATO verwendet werden, wenn diese nicht funktionsfähig oder einsetzbar ist, z. B. wenn Fahren auf Sicht wegen einer Störung an der Strecke angeordnet wurde und die ATO den Zustand der Strecke nicht beurteilen kann. Die Aufgaben des RSC-Operators umfassen in diesem Rückfallmodus grundlegend die eines Triebfahrzeugführers (Tf) in einem manuell gesteuerten Zug im heutigen Betrieb, bspw. die Bedienung der SiFa, das Überwachen der Strecke per Kamera oder das Bedienen der Fahr- und Bremssteuerung. Dies führt zu einem Betriebsverfahren, das sich prozessual nicht vom heutigen Betrieb unterscheidet. Der Grundgedanke ist, dass ein Tf den Zug steuert, als würde er im Führerraum des Triebfahrzeugs sitzen. Die Gestaltung der Kommunikationswege, aber vor allem die Ausstattung und Ausgestaltung des Arbeitsplatzes im RSC für das Durchführen des Verfahrens ist hochkomplex. Es ist schon jetzt davon auszugehen, dass mit der physischen Verlagerung der Zugsteuerung vom Zug in das RSC und den damit veränderten Umgebungsbedingungen die Informationsquellen des Tf deutlich eingeschränkt werden. Das betrifft z. B. das haptische Feedback vom Zug sowie Fahr- und Motorgeräusche. Hier erfolgt im nächsten Schritt der Einsatz der Human-Factors-Experten, um im Rahmen einer Gefährdungsanalyse zu ermitteln, ob und wie diese Aufgaben zukünftig durch einen RSC-Operator ausgeführt werden können.

3.2 Use Case „Sanden während des Fahrens unter manueller Kontrolle des RSC-Operators“

Dieser Use Case beschreibt alle Tätigkeiten und Abläufe, die erforderlich sind, um in den entsprechenden erforderlichen betrieblichen Situationen zu sanden. Sanden ist z. B. erforderlich, um das Gleiten eines Radsatzes zu verhindern und eine ausreichende Haftung und damit die Traktionskraft wiederherzustellen. Allerdings ist das Sanden aus Sicherheitsgründen nicht zu jeder Zeit und an jeder Stelle erlaubt [12]. Wenn ein Zug manuell aus einem RSC gefahren wird, ist es die Aufgabe des RSC-Operators, die korrekte Anwendung des Sandens zu überwachen und durchzuführen, bspw. die Wahrnehmung eines Schleuderns bzw. Gleitens der Radsätze oder die Beurteilung, ob eine Gefahrensituation vorliegt, die ein Sanden erfordert. Der entworfene Betriebsablauf ist exemplarisch in Bild 3 dargestellt.

Die Zusammenstellung der Tätigkeiten der RSC-Operatoren, als ein zentrales Ergebnis der Analyse, dient im nächsten Schritt als Input für eine Gefährdungsanalyse durch Human-Factors-Experten, in der bewertet wird, welche negativen oder auch positiven Effekte durch die fernwirkende Ausübung der Tätigkeiten entstehen könnten. Auf Basis dieser Analyse können die Betriebsabläufe, Kommunikationsprozesse und technischen Randbedingungen einem iterativen Prozess folgend wiederum überdacht und neu konzipiert werden.

the other hand, any additional technical support needed in the future can also be identified. The following section describes two examples that illustrate the diversity and complexity of the RSC operator's activities.

3.1 The “Driving under the manual control of an RSC operator (RTO operations)” use case

This use case includes all the activities that are necessary for the remote control of a train from the RSC. In this case, the train is fully under the control of the RSC and ATO is deactivated. This operating procedure will be used as an ATO fallback level for when ATO is neither operational nor deployable, for example when driving on sight has been ordered due to a disturbance on the track and ATO cannot assess the track condition. In this fallback mode, the tasks of the RSC operator basically include those of a driver in a manually controlled train in today's operations, e.g. operating the SiFa, monitoring the track with the camera or operating the driving and brake control. This leads to an operating procedure that does not differ from today's operations in terms of the process. The basic idea is that a train driver controls the train as if he were sitting in the driver's cab of the traction unit. The design of the communication channels, but above all the equipment and design of the RSC workplace for performing the procedure is highly complex. It can already be assumed that the physical relocation of the train control from the train to the RSC and the change in environmental conditions will significantly restrict the driver's information sources. This concerns, for example, the haptic feedback from the train as well as any driving and engine noises. In the next step, human factors experts will use a risk analysis to determine whether and how these tasks can be carried out by an RSC operator in the future.

3.2 The “Sanding while driving under the manual control of an RSC operator” use case

This use case describes all the activities and procedures required to sand in corresponding operating situations where this is required. Sanding is required, for example, to prevent a wheelset from sliding and to restore sufficient grip and traction. However, sanding is not allowed at all times and in all places for safety reasons [12]. When a train is being manually driven from an RSC, it is the RSC operator's task to monitor and perform the correct application of the sanding, e.g. to detect any skidding or sliding of the wheelsets or to assess whether there is a hazardous situation that requires sanding. The designed operating sequence is shown as an example in fig. 3.

The compilation of the RSC operators' activities based on the core result of the analysis will be used in the next step as input for a hazard analysis undertaken by human factors experts, in which the negative or positive effects that could arise from the remote performance of the activities will be assessed. The operating procedures, communication processes and technical boundary conditions will be able to be rethought and redesigned in an iterative process based on this analysis.

4 The project outlook

Having completed its work on the operating processes, the work of the DLR Institute of Transportation Systems in the project is currently focussed on two strands. The main strand contributes directly to the progress of the project through the work on the human factors risk assessment and the mitigation of any identi-

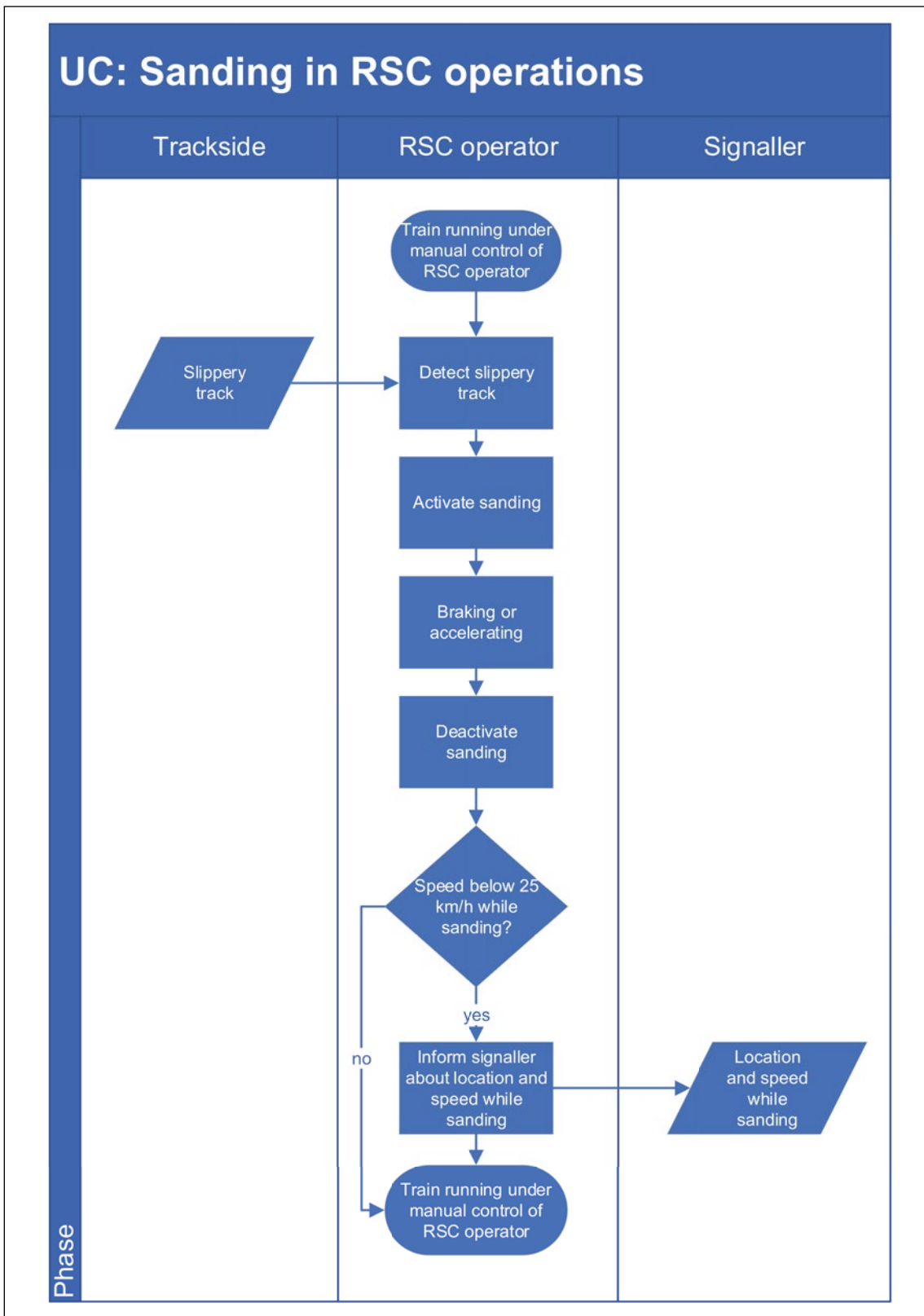


Bild 3: Betriebsablauf für den Use Case "Sanden unter manueller Kontrolle des RSC-Operators"

Fig. 3: The operating sequence for the "Sanding while driving under the manual control of an RSC operator" use case

Quelle / Source: DLR

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

4 Projektausblick auf die weiteren Arbeiten

Nach Abschluss der Arbeiten zu den betrieblichen Abläufen fokussieren sich die Arbeiten des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik im Projekt aktuell auf zwei Stränge. Der Hauptstrang trägt durch Arbeiten an der Human-Factors-Gefährdungsbeurteilung und der Mitigation identifizierter Gefährdungspotenziale in ver-

fied potential hazards in various working groups pertaining to operations and workplace design, as well as multi-stage usability evaluations. For example, the operational picture involves the division of the responsibilities at the RSC workplace into a supervision role and a control role. The multi-stage usability evaluations based on the development status of the RSC implementation provided by the suppliers will ensure the user perspective

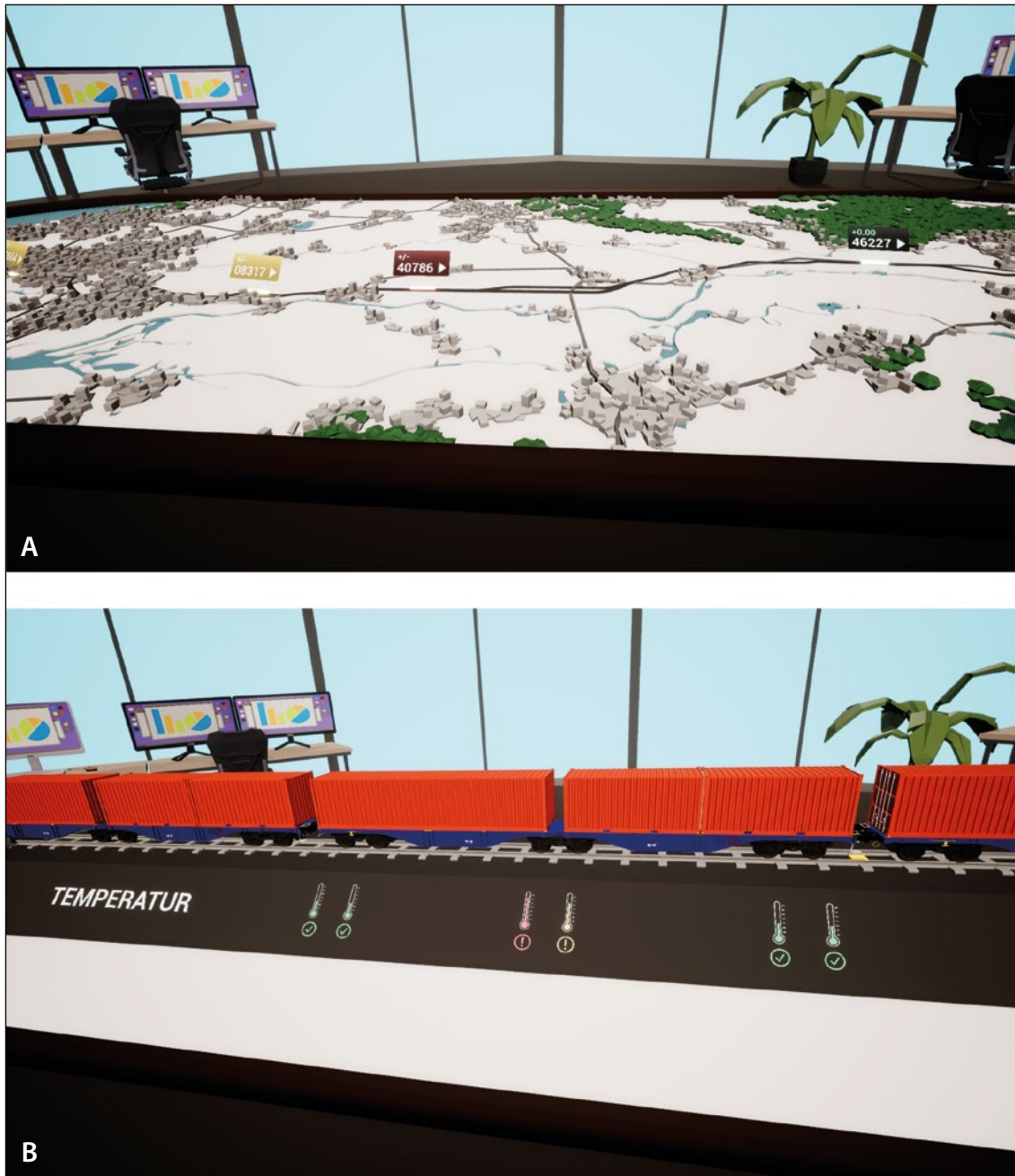


Bild 4: VR-Demonstrator für das RSC [1]: (oben) Supervision Desk mit dynamischer Streckenkarte für Betriebslagebild inkl. Zuginformationen zu Standorten, Betriebszuständen etc.; (unten) Detailansicht Supervision Desk, Zuginformationen mit wagen- und achsgenauer Anzeige betriebsrelevanter Parameter bzw. Störungen

Fig. 4: VR demonstrator for the RSC [1]: (top) Supervision Desk with a dynamic route map providing a picture of the operating situation, including train information regarding locations, operating states, etc.; (bottom) A detailed view of the Supervision Desk, train information with the wagon and axle-specific displays of operation-relevant parameters and faults

Quelle / Source: DLR

schiedenen Arbeitsgruppen zu Betrieb und Arbeitsplatzgestaltung sowie mehrstufigen Usability-Evaluationen direkt zum Projektfortschritt bei. Beispielsweise ergibt sich betrieblich das Bild einer Zweiteilung der Verantwortlichkeiten am RSC-Arbeitsplatz in eine Supervision- und eine Control-Rolle. Die mehrstufigen Usability-Evaluationen auf Basis der von den Lieferanten zur Verfügung gestellten Entwicklungsstände der RSC-Implementierung werden bis zur finalen Auslieferung des RSC Ende 2024 die Nutzerperspektive und die Berücksichtigung von Human-Factors-Gesichtspunkten im Projekt sicherstellen. Der zweite Strang umfasst den Aufbau mehrerer VR-Demonstratoren mit verschiedenen Schwerpunkten. Während ein Virtual-Reality (VR)-Demonstrator des RSC (Bild 4) mit tendenziell niedriger Originaltreue dazu dient, die Rolle des RSC-Operators innerhalb und außerhalb des Projekts erlebbar zu machen und das Verständnis für diesen zukünftigen Arbeitsplatz zu formen, liegt der Fokus des Betriebsablauf-Demonstrators auf der systematischen, adaptiven und realistischen Simulation von alternativen betrieblichen Lösungen für kon-

and the consideration of the human factors aspects in the project up to the final delivery of the RSC at the end of 2024. The second strand involves the construction of several RSC demonstrators with different focal points. While a virtual reality RSC demonstrator (fig. 4) with a tendency towards low original fidelity serves to make the role of the RSC operator tangible both inside and outside the project and shape the understanding of this future workplace, the operating process demonstrator focusses on the systematic, adaptive and realistic simulation of alternative operating solutions to concrete operating situations. The aim of the operating process demonstrator is to test several conceivable operating processes against each other, to objectively evaluate the resulting work environment based on any overarching criteria and thus to approach an operationally optimal solution for the work context of the currently still unknown RSC operations of the future. Thirdly, a human-machine interface demonstrator (HMI demonstrator) will be implement-

krete Betriebssituationen. Ziel des Betriebsablauf-Demonstrators ist es, mehrere denkbare Betriebsabläufe gegeneinander zu testen, die resultierende Arbeitsumgebung anhand übergreifender Kriterien objektiv zu bewerten und sich so einer betrieblich optimalen Lösung für den Arbeitskontext des aktuell noch unbekanntenen RSC-Betriebs der Zukunft zu nähern. Drittens wird ein Mensch-Maschine-Schnittstellen-Demonstrator (MMS-Demonstrator) implementiert, der der konkreten Erforschung der Leistungsfähigkeit der RSC-Operatoren bei der Bearbeitung projektspezifischer Use Cases dient. Hier können die konkreten Arbeitsinhalte und Tätigkeiten des RSC-Operators über eine reale Schichtlänge hinweg simuliert werden, um Rückschlüsse auf kritische Human-Factors-Kriterien wie Beanspruchung, Ermüdung, Situationsbewusstsein und Leistungsfähigkeit zu ermöglichen. Im Jahr 2025 wird im Rahmen des Testbetriebes der RSC-Arbeitsplatz final aus Human-Factors-Perspektive bewertet werden, um nach dessen Abschluss klare Leitlinien mit Referenzcharakter für weitere Projekte im Kontext RTO erarbeitet zu haben. So tragen die Arbeiten im Bereich Human Factors im Projekt ATO-Cargo dazu bei, dem Anspruch gerecht zu werden, ein Referenzkonzept zur europäischen Etablierung dieses Automatisierungsansatzes im Schienengüterverkehr aus technischer, betrieblicher und Human-Factors-Perspektive zu erarbeiten. Darüber hinaus sollen der Nachweis der technischen Anwendbarkeit von ATO und RTO unter realen Betriebsbedingungen erbracht und die bestehenden Entwicklungen [13] im Bereich RTO weitergeführt werden. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/projekt-ato-cargo-erprobung-automatisierter-gueterzuege>
- [2] Brandenburger, N.; Naumann, A.: Enabling automatic train operation through human problem solving, *SIGNAL+DRAHT* 3/2018, S. 6-13
- [3] Brandenburger, N.; Naumann, A.: Der Arbeitsplatz des Train Operator im Fokus, *DER EISENBAHNINGENIEUR* 11/2019, S. 13-17
- [4] Brandenburger, N.: The Changing Role of Staff in Automated Railway Operation and why Human Cognition is Here to Stay, 2022, from <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/Automation%20Myth%20Busting%20Paper%20%232.pdf>
- [5] IEC 62290-1:2014: Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts (2015, June 01)
- [6] Braband, J.: Funktionale Sicherheit, in: Fendrich, L.; Fengler, W. (Eds.), *Handbuch Eisenbahninfrastruktur* (S. 583-638), 2019
- [7] Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 der Kommission vom 30.04.2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 352/2009, geändert durch Durchführungsverordnung (EU) 2015/1136 der Kommission vom 13.07.2015, berichtigt durch Berichtigung, ABl. L 70 vom 16.03.2016, S. 38 (2015/1136), August 2015
- [8] Brandenburger, N.; Naumann, A.: Der Arbeitsplatz des Train Operator im Fokus, *DER EISENBAHNINGENIEUR* 11/2019, S. 13-17
- [9] Challenger, R.; Clegg, C. W.; Shepherd, C.: Function allocation in complex systems: Reframing an old problem, *Ergonomics*, 56(7), pp. 1051-1069, 2013
- [10] Bainbridge, L.: Ironies of automation, *Automatica*, 1983, 19(6), pp. 775-779
- [11] Endsley, M. R.: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), pp. 32-64, 1995
- [12] Eisenbahn-Bundesamt: Allgemeinverfügung AZ 34.10-34aüt/038-3418#003 betreffend die Erweiterte Regelung zur Bedienung der Sandstreuereinrichtung, online abrufbar unter https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/GesetzeundRegelwerk/Allgemeinverf/34_all-gvfg_sandstreu1.pdf?__blob=publicationFile&v=3, abgerufen am 28.06.2023 um 10:24
- [13] Brandenburger, N.; Bier, I.; Busse, M.; Gärtner, J.; Melzer, T.: Technische Demonstration von Remote Train Operation via 5G-Mobilfunk, *SIGNAL+DRAHT* 6/2023, S. 34-40

ed and used to concretely explore the performance of the RSC operators when processing project-specific use cases. Here, the concrete work content and activities of the RSC operator can be simulated over a real shift length to enable conclusions to be drawn about any critical human factors criteria such as stress, fatigue, situational awareness and performance.

In 2025, the RSC workplace will finally have been evaluated from a human factors perspective within the framework of the test operations in order to enable the development of clear guidelines with a reference character for further projects within the context of the RTO after its completion. The work in the area of human factors in the ATO-Cargo project will thus contribute to meeting the requirement for developing a reference concept for the European implementation of this automation approach in rail freight transport from a technical, operational and human factors perspective. In addition, proof of the technical applicability of ATO and RTO under real operating conditions will also be provided and the existing development [13] in the field of RTO will be continued. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Stefanie Schöne

Wissenschaftliche Mitarbeiterin / *Research associate*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Anschrift / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: stefanie.schoene@dlr.de

Dr. rer. nat. Niels Brandenburger, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research associate*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Anschrift / *Address*: Rutherfordstraße 2, D-12489 Berlin
E-Mail: niels.brandenburger@dlr.de

Dipl.-Psych. David Käthner

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research associate*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Anschrift / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: david.kaethner@dlr.de

Michael Mönsters, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research associate*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Anschrift / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: michael.moensters@dlr.de