

Ökonomische Auswirkungen der Eisenbahninnovationen von Shift2Rail

The economic impacts of the railway innovations developed in Shift2Rail

Filiz Kurt | Alessa Isberner | Michael Meyer zu Hörste | Florian Brinkmann | Svenja Hainz

Die Initiative Shift2Rail spezifiziert, entwickelt und demonstriert neue Technologien, um die Kapazität und Pünktlichkeit zu erhöhen und die Kosten des künftigen Eisenbahnsystems zu senken. Aufgrund der Komplexität des Eisenbahnsystems kann die Kombination der Auswirkungen von Technologien zur gegenseitigen Verstärkung oder Verringerung von Effekten führen. Zur Abschätzung der Gesamtauswirkungen wurde eine integrierte Methodik unter Verwendung von Leistungsindikatoren (Key Performance Indicators, KPI) entwickelt, umgesetzt und validiert. Die aktuellste Version der integrierten KPI-Bewertung wurde als eine der Shift2Rail-Querschnittsaktivitäten im Projekt IMPACT-2 vorgestellt.

1 Einführung

Das Joint Undertaking Shift2Rail (S2R) ist eine europäische Eisenbahninitiative, die Forschungs- und Innovationsaktivitäten zur Transformation und Verbesserung des europäischen Eisenbahnsystems bündelt. Um diese Ziele zu erreichen, wurden in über 40 verschiedenen Projekten neue Technologien und technologische Verbesserungen entwickelt. Um die in diesen Projekten geleistete Arbeit zu bewerten, zu unterstützen, abzustimmen und zu beurteilen, wurden themenübergreifende Querschnittsaktivitäten in verschiedenen Projekten durchgeführt. Ein solches Projekt ist IMPACT-2, in dem die Erreichung der S2R-Ziele in Bezug auf die KPI Lebenszykluskosten (Life Cycle Cost, LCC), Kapazität und Pünktlichkeit bewertet werden. Zu diesem Zweck wurde ein KPI-Modell entwickelt, dessen Entwicklung und Eingangsdaten bereits in zwei Ausgaben von SIGNAL+DRAHT vorgestellt wurde [1, 2]. Der Schwerpunkt in dieser Ausgabe liegt auf der Entwicklung der KPI-Methodik und den neuesten Ergebnissen des entwickelten KPI-Modells.

Die Ziele der S2R-Initiative, deren Erreichung mit dem in diesem Beitrag vorgestellten KPI-Modell bewertet wird, sind [3]:

- die Lebenszykluskosten um 50 % zu senken,
- die Kapazität zu verdoppeln und
- die Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit um 50 % zu verbessern.

Da die Auswirkungen je nach Betriebssituation unterschiedlich sind, werden die KPI für vier verschiedene Szenarien berechnet, die im Rahmen des Projekts als Systemplattformdemonstratoren (SPD) bezeichnet werden. Es handelt sich dabei um Hochgeschwindigkeitsverkehr (SPD1), Regionalverkehr (SPD2), Metro (SPD3) und Güterverkehr (SPD4). Das KPI-Modell ist so aufgebaut, dass jedes KPI separat unter idealen Bedingungen für das jeweilige KPI berechnet und optimiert wird. Allerdings strebt die automatisierte Wirkungsabschätzung nicht nach einem Optimum, denn die Prioritäten zwischen den drei KPI müssen von jedem Eisenbahnunternehmen selbst festgelegt werden [1].

The Shift2Rail initiative specifies, develops and demonstrates new technologies in order to increase capacity and punctuality and reduce the costs of the future railway system. Due to the complexity of the railway system, the combined impacts of these technologies can lead to stronger or reduced effects. An integrated methodology using Key Performance Indicators (KPI) has therefore been developed, implemented and validated in order to estimate their overall impact. The final version of the integrated KPI assessment has been presented as a Shift2Rail cross-cutting activity under the IMPACT-2 project.

1 Introduction

The Shift2Rail (S2R) joint undertaking is a European rail initiative which bundles research and innovation activities in order to transform and enhance the European railway system. Over 40 different projects have been developing new technologies, as well as technological improvements, in order to meet these goals. Cross-cutting activities have been implemented to evaluate, support, align and assess the work undertaken in these projects.

One such activity is IMPACT-2 which aims to assess the achievements of the S2R objectives with regard to the lifecycle cost (LCC), capacity and punctuality KPIs. A KPI model, which has previously been introduced in two SIGNAL+DRAHT issues [1, 2] with a focus on its development and data input, has been developed in order to fulfil this goal. This issue focusses on the development of the KPI methodology and the latest results from the developed KPI model.

The objectives of the S2R initiative assessed by the KPI model introduced in this article are [3]:

- to decrease the lifecycle costs by 50 %,
- to double the capacity and
- to enhance the reliability and punctuality by 50 %.

As the effects differ depending on the operating situation, the KPI have been calculated for four different scenarios, which are known as System Platform Demonstrators (SPD) within the context of the project. They are High-Speed (SPD1), Regional (SPD2), Metro (SPD3) and Freight (SPD4). The KPI model has been built in such a way that each KPI is calculated and optimised separately under ideal conditions for the given KPI.

However, the automatic estimation does not look for an optimum solution, as each railway undertaking has to define the priorities between the three KPI for itself [1].

2 Die KPI-Bewertungsmethodik von IMPACT-2

2.1 Methodik des KPI-Modells

Im Rahmen des Projekts IMPACT-2 wurden drei Modelle entwickelt, eines für jedes KPI. Für jedes dieser drei Modelle wurden vier Varianten erstellt, um den unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Marktsegmente Rechnung zu tragen. Der allgemeine Ansatz ist bei allen Modellen gleich. Zunächst wird für jedes SPD ein Basisszenario definiert. Hier stimmt der Detaillierungsgrad der Parameter, die jedes SPD beschreiben, mit den Arbeiten der technischen Projekte von S2R überein. Dieses Basisszenario wurde so festgelegt, dass es das Eisenbahnsystem und seinen technologischen Stand aus dem Jahr 2013 repräsentiert, d. h. den Stand der Technik vor dem Beginn von S2R. Im zweiten Schritt werden die einzelnen Wirkungen der S2R-Innovationen auf die Parameter angewandt, die sie verbessern. Alle Verbesserungen werden als Differenzen zwischen dem verbesserten Zukunftsszenario und dem Basisszenario berechnet. Daher wurden die KPI während einer Migrationsphase nicht analysiert und sind in den Ergebnissen nicht enthalten.

Um einen Überblick über den Beitrag verschiedener Bereiche des Eisenbahnsystems zum Gesamtergebnis zu erhalten und Bereiche mit ähnlichen Berechnungsansätzen zu gruppieren, ist das Modell in Anlehnung an die S2R-Innovationsprogramme (IP) wie folgt aufgebaut:

- IP1: Schienenfahrzeuge
- IP2: Leit- und Sicherungstechnik (LST)
- IP3: Infrastruktur
- IP5: spezifische Güterverkehrsthemen

Innerhalb dieser Bereiche werden die Parameter weiter aufgeteilt und bis zur erforderlichen Detailebene disaggregiert, um die Auswirkungen der einzelnen Projektergebnisse innerhalb von S2R zu erfassen. Um die Vielfalt des Güterverkehrs weiter zu erfassen, werden für jedes übergeordnete KPI drei verschiedene Szenarien berechnet, um die individuellen Merkmale des Einzelwagen-, Ganzzug- und Kombinierten Verkehrs zu berücksichtigen. Im Vergleich zu den drei SPD für den Personenverkehr sind in allen drei Modellen für den Güterverkehr auch angepasste und zusätzliche Parameter enthalten. Dazu gehören spezielle Güterverkehrsinfrastrukturen wie Terminals und Rangierbahnhöfe sowie weitere Differenzierungen für verschiedene Wagentypen.

2.2 Entwicklung des LCC-Modells

Im LCC-Modell werden die Auswirkungen der entwickelten technischen S2R-Innovationen auf die Gesamtkosten des Eisenbahnsystems für das Beispiel des hierfür definierten SPD berechnet. Als Maßeinheit werden für die Szenarien des Personenverkehrs EUR/Personenkilometer und für das Güterverkehrsszenario jeweils EUR/Tonnenkilometer gewählt. Um den unterschiedlich langen Lebenszyklen der bewerteten Komponenten des Eisenbahnsystems Rechnung zu tragen, wurden ein Bewertungszeitraum von 30 Jahren und eine Abzinsung von 3 % gewählt. Das entwickelte LCC-Modell hat den Vorteil, dass nicht nur direkte Kosteneffekte einer einzelnen Komponente erfasst werden, sondern auch Systemeffekte. Beispielsweise ermöglicht der Szenarienansatz die Berücksichtigung von Kostensenkungen, die z. B. durch eine bessere Auslastung der Anlagen entstehen. Auch Kostensenkungen, die durch funktionale Änderungen wie dem Wechsel von einer infrastruktur-basierten zu einer zugbasierten LST entstehen, können einbezogen werden. Die Auswirkungen solcher funktionalen Änderungen auf die verwendeten Komponenten sowie Interdependenzen zwischen den Komponenten wie z. B. die Gleisstandhaltung durch Gewichtsreduzierung werden durch den Szenarienansatz berücksichtigt. Energieeinsparungen für

2 The IMPACT-2 KPI assessment methodology

2.1 Methodology of the KPI model

Three models have been developed in the IMPACT-2 project, one for each KPI. Four variations have in turn been created for each of these three models to account for the different characteristics of each market segment. The general approach is the same for all of them. First, a baseline scenario is defined for each SPD. Here, the level of detail in the parameters that describe each SPD matches the work performed within the S2R technical projects. This baseline scenario has been set to represent the railway system and its technological status around the year 2013, i.e. the state-of-the-art before the start of S2R. In the second step, the individual effects of the S2R innovations are applied to the parameters they improve. All improvements are calculated as differences between the improved future scenario and the baseline scenario. Hence, the migration phase KPI were not analysed and have therefore not been included in the results.

The model has been structured in the following way based on the S2R Innovation Programs (IP) in order to achieve an overview of the contributions of different areas of the railway system to the overall result and to group areas with similar calculation approaches:

- IP1: Rolling stock
- IP2: Command, Control and Signalling (CCS)
- IP3: Infrastructure
- IP5: Dedicated freight topics

The parameters are further split within these areas and disaggregated to the level of necessary detail, so as to capture the effects of each project's result within S2R. Three different scenarios that take the individual characteristics of single wagon, block train and combined traffic transport into account are calculated for each main KPI in order to further depict the variety in freight transport. Compared to the three passenger SPD, adapted and additional parameters are also included in all three freight models. This includes dedicated freight infrastructure such as terminals and yards, as well as further differentiations for different wagon types.

2.2 The development of the LCC model

The effects of the developed S2R technical innovations on the total cost of the railway system using the example of the defined SPD are calculated in the LCC model. The measuring unit chosen for the passenger transport scenarios is EUR/passenger-km, while EUR/metric ton-km has been chosen for the freight transport scenario. An assessment period of 30 years and a discount rate of 3 % have been chosen to account for the different lengths of the lifecycles of the assessed components in the railway system. The developed LCC model has the advantage of capturing not only the direct cost effects for each individual component, but also the system effects. As such, the scenario approach makes it possible, for example, to consider cost reductions that result from the better utilisation of assets. Moreover, cost reductions resulting from functional changes such as the change from an infrastructure-based to a train-based control system can also be captured. Even the effects of such functional changes on the used components as well as the interdependencies between components, such as track maintenance due to weight reduction, can be covered by the scenario approach. Energy improvements for the whole journey as well as a more detailed definition of the locomotive driving time share and noise

die gesamte Fahrt und eine detailliertere Definition des Fahrzeitanzeugs für Triebfahrzeugführer sowie Lärmreduzierung sind zusätzliche Aspekte, die in das entsprechende SPD des LCC-Modells aufgenommen werden.

2.3 Entwicklung des Kapazitätsmodells

Die Berechnung des Kapazitäts-KPI ist eine Multiplikation von drei Hauptbestandteilen: der Streckenkapazität, der Zugkapazität sowie der Kuppelbarkeit. Für die Streckenkapazität wird die Verbesserung der Anzahl der Züge in einem bestimmten Szenario innerhalb eines bestimmten Zeitraums berechnet. Dieser Zeitraum ist für Personen- und Güterzüge unterschiedlich. Für Szenarien des Personenverkehrs wird der Kapazitäts-KPI für eine Spitzenstunde berechnet, während er für den Güterverkehr pro Tag berechnet wird. Der zweite Multiplikator ist die Zugkapazität. Für den Personenverkehr wird damit die Zunahme der Fahrgäste pro Zug und für die Güterverkehrsszenarien die Tonnage pro Zug erfasst. Die Tonnen pro Zug können durch Änderungen der Zuglänge, der maximalen Nutzlast pro Achse und der Auslastung pro Wagen oder durch eine beliebige Kombination der zuvor genannten Faktoren im Rahmen der durch die Infrastruktur vorgegebenen Beschränkungen beeinflusst werden. Die Kuppelbarkeit, also das Kuppeln verschiedener Einheiten unterschiedlicher Hersteller, Klassen und Baureihen, ist der dritte Faktor, der das Gesamtergebnis des KPI beeinflusst.

2.4 Entwicklung des Pünktlichkeitsmodells

Das Pünktlichkeitsmodell ermittelt die Anzahl der Verspätungsminuten, die durch eine bestimmte Störung verursacht werden, sowie die Häufigkeit ihres Auftretens. [4] Der Schwellenwert, ab dem Züge in die Verspätungsstatistik aufgenommen werden, ist für jedes SPD unterschiedlich. Die Verspätungsminuten werden dann zu der Summe der Verspätungsminuten innerhalb des Netzes addiert. Die im Rahmen von S2R entwickelten Innovationen reduzieren die Summe der Verspätungsminuten, indem sie die Häufigkeit des Auftretens verringern. Die meisten Projekte befassen sich mit der Zuverlässigkeit einzelner Komponenten und verringern so die Häufigkeit des Auftretens von Störungen. Innovationen wie das Verkehrsmanagementsystem (Traffic Management System, TMS) zielen jedoch auf einen anderen Effekt ab, indem sie die Wiederherstellungszeit des gesamten Netzes nach einer Störung verkürzen, und werden daher durch individuelle Lösungen in das Modell integriert [3].

3 Neueste Projektergebnisse: KPI Release 4

3.1 Übergeordnete Ergebnisse des Projekts

Die Ergebnisse der iterativen Bewertung des quantitativen KPI-Modells von IMPACT-2 liefern eine Abschätzung der Auswirkungen der in S2R entwickelten Innovationen auf die drei KPI für die einzelnen SPD. Die Ergebnisse wurden mit dem überarbeiteten quantitativen KPI-Modell [5] durchgeführt und durch iterativ aktualisierte Datensätze aus den technischen Projekten gespeist. Im Folgenden werden die neuesten Ergebnisse des KPI Release 4 von 2021 vorgestellt, siehe Tab. 1.

Die Ergebnisse beziehen sich auf die S2R-Kernziele und werden für einen zukünftigen Zeitpunkt berechnet, zu dem die S2R-Innovationen umgesetzt sein werden. Daher ist zu beachten, dass die vom KPI-Modell generierten Ergebnisse als Abschätzungen der potenziellen Auswirkungen der S2R-Innovationen auf die relevanten KPI zu verstehen sind. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass alle positiven Effekte der in S2R entwickelten Innovationen an einem realen Einsatzort Anwendung finden. Wie aus Tab. 1 hervorgeht, kann das S2R-LCC-Ziel für die LCC des Güterverkehrs mit einer Verringerung

reduktion zusätzliche Berechnungen innerhalb des anwendbaren SPD des LCC-Modells.

2.3 The development of the capacity model

The calculation of the capacity KPI involves the multiplication of three main parts; the track capacity, the train capacity and the coupling ability. The improvement of the number of trains in a defined scenario within a defined time period is calculated for the track capacity. The time period is different for passenger and freight trains. The capacity KPI is calculated for a peak hour in passenger transport scenarios, whereas it is calculated per day in freight transport. The second multiplier is the train capacity. This captures the increase in the number of passengers per train for passenger transport and metric tons per train for freight scenarios. The metric tons per train can be influenced via changes to the train lengths, the maximum payload per axle and the load factor per wagon or any combination thereof within the restrictions given by the infrastructure. Coupling ability, i.e. the coupling of different units from different manufacturers, classes and series, is the third factor to influence the overall result of the KPI.

2.4 The development of the punctuality model

The punctuality model calculates the number of delay minutes caused by a specific failure, as well as the frequency of its occurrence. [4] The delay threshold chosen to include trains in the delay statistic is different for each SPD. The delay minutes are then all added to the sum of the delay minutes within the network. Innovations developed within S2R reduce the delay minute sum by reducing the frequency of occurrence. Most projects work on the reliability of individual components and thus reducing the frequency of failures. However, innovations such as the Traffic Management System (TMS) aim for another effect by reducing the whole network's recovery time after a failure and are therefore integrated into the model by means of individual solutions [3].

3 The latest project results: KPI Release 4

3.1 The overall project results

The results of the iterative assessment of the IMPACT-2 quantitative KPI model have provided an impact estimation of the innovations developed in S2R on the three KPI for the individual SPD. The results have been achieved using the revised quantitative KPI model [5] and fed by iteratively updated datasets provided by the technical projects. The following presents the latest results of the KPI Release 4 from 2021: see tab. 1.

The results relate to the S2R key targets and have been calculated for a future point in time when the S2R innovations are implemented. As such it should be noted that the results generated by the KPI model are to be understood as estimations of the potential impact of the S2R innovations on the relevant KPI. It is, however, unlikely that all the positive effects of the innovations developed within S2R can be found in one real case deployment. As demonstrated in tab. 1, the S2R LCC target for freight traffic can almost be achieved with a reduction of 40 %. Improvements for freight rail transport arise, among other things, as a result of the improved asset utilisation due to the shortened process and transport times. The passenger rail transport results indicate large improvements in LCC with -21 % for high-speed transport, -32 % for regional transport and -18 % for metro. It should be noted, however, that S2R focuses on improvements in passenger transport due to enhanced railway technologies. Apart from technological improvements, further LCC savings in passenger

	LCC	Kapazität/ Capacity	Pünktlichkeit/ Punctuality
S2R Ziele/Target	-50 %	+100 %	+50 %
SPD1: HGV/High-Speed	-21 %	58 %	35 %
SPD2: Regionalverkehr/Regional	-32 %	90 %	53 %
SPD3: Metro/Metro	-18 %	21 %	n/a
SPD4: Güterverkehr/Freight	-40 %	87 %	57 %

Tab. 1: Gesamtergebnisse der IMPACT-2 KPI-Bewertung

Tab. 1: The overall results of the IMPACT-2 KPI assessment

von -40 % fast erreicht werden. Verbesserungen für den Schienen-güterverkehr (SGV) ergeben sich u.a. durch eine verbesserte Anlagenauslastung aufgrund verkürzter Prozess- und Transportzeiten. Die Ergebnisse für den Schienenpersonenverkehr (SPV) zeigen große Verbesserungen bei den LCC mit -21 % für den Hochgeschwindigkeitsverkehr, -32 % für den Regionalverkehr und -18 % für die Metro. Es ist zu beachten, dass S2R im Personenverkehr den Fokus auf Verbesserungen durch weiterentwickelte Eisenbahntechnologien hat. Abgesehen von technologischen Verbesserungen können weitere LCC-Einsparungen im SPV durch Prozessverbesserungen erzielt werden. Diese werden jedoch im LCC-Modell nicht berücksichtigt, da sie nicht im Fokus von S2R stehen. Was das KPI Kapazität betrifft, so kann mit einer potenziellen Steigerung von 87 % im Güterverkehr und 90 % im Regionalverkehr das Ziel von S2R nahezu erreicht werden. Für den Hochgeschwindigkeitsverkehr ergibt sich ein potenzieller Kapazitätswachstum von 58 %. Aufgrund der spezifischen SPD für den Metro- und Hochgeschwindigkeitsverkehr, wo die Kapazität bereits vergleichsweise hoch ist, stellt der Kapazitätswachstum eine erhebliche Verbesserung dar. Die Pünktlichkeitsverbesserungen von 53 % im Regionalverkehr und 57 % im Güterverkehr können sogar über die S2R-Ziele für diesen KPI hinausgehen. Im Hochgeschwindigkeitsverkehr ist es möglich, die Pünktlichkeit durch verbesserte Gleisinfrastrukturtechnologien um 35 % zu erhöhen, was angesichts der derzeitigen Pünktlichkeitsleistungen eine große Verbesserung darstellt. Bei der Metro werden Verbesserungen der Pünktlichkeit nicht berücksichtigt, da die Taktdichte der Metrolinien sehr hoch ist und die Pünktlichkeit der einzelnen Züge daher nur eine geringe Rolle spielt.

3.2 Projektergebnisse für den SGV

Im SGV berücksichtigt die integrierte KPI-Bewertung die Auswirkungen der in IP2, IP3 und IP5 entwickelten S2R-Eisenbahntechnologien (Tab. 2). Dabei beziehen sich die Ergebnisse auf die spezifischen Auswirkungen der jeweiligen IP, d.h. auf die KPI-Auswirkungen aller S2R-Innovationen, die im Rahmen des jeweiligen IP entwickelt wurden. Die LCC-Einsparungen im Güterverkehr setzen sich zusammen aus -14 % LCC des CCS-Systems aufgrund von Technologien im CCS-System (IP2), -19 % bei der Infrastruktur und -38 % aufgrund spezieller Güterverkehrstechnologien einschließlich güterverkehrsspezifischer Infrastruktur wie Terminals und Rangierbahnhöfe. Diese LCC-Reduzierungen ergeben sich u.a. aus einer höheren Auslastung von Lokomotiven und Waggons aufgrund geringerer Transport- und Abstellzeiten. Dies kann u.a. durch den Wegfall des Wechsels von Triebfahrzeugführern und schnellere Abläufe in Terminals und Rangierbahnhöfen erreicht werden. Weitere Gründe für die LCC-Reduzierungen im Güterverkehr sind z.B. eine erhöhte Nutzlast pro Achse beim Einsatz des in S2R entwickelten Güterwagens sowie eine verbesserte Nutzlast durch die Digitalisierung der Güterverkehrsprozesse.

Die Kapazitätsverbesserungen im Güterverkehr beruhen größtenteils auf den Schienentechnologien aus IP5 und in geringerem Maße aus IP3. Die güterverkehrsspezifischen Bahntechnologien (IP5) er-

rail can also be achieved through improvements to the processes. However, they have not been considered in the LCC model as they are not the focus of S2R. In terms of the KPI capacity, a potential capacity increase of 87 % for Freight and 90 % for Regional allows the S2R key target to nearly be reached. A potential capacity increase of 58 % has been generated for High-Speed transport. The capacity gain reflects a significant improvement considering the specific SPD for Metro and High-Speed, where the capacity is already comparatively high. The punctuality improvements of 53 % for Regional and 57 % for Freight can even reach beyond the S2R key targets for this KPI. It is possible to increase punctuality in High-Speed transport by 35 % through the use of improved rail technologies, which represents a large punctuality improvement given the present on-time performance. Punctuality improvements have not been considered for Metro due to the high frequency of metro line services and thus the low importance of the punctuality of individual trains.

3.2 The project results for freight rail transport

The integrated KPI assessment in freight rail transport considers the effects of the S2R railway technologies developed in IP2, IP3 and in IP5: see tab. 2. As such, the results refer to the specific impacts of the IP, i.e. the KPI impacts of all the S2R innovations developed under the given IP.

LCC savings in freight transport are comprised of -14 % LCC of the CCS system due to the railway technologies in the CCS system (IP2), -19 % in infrastructure and -38 % due to dedicated freight technologies including freight specific infrastructure, such as terminals and marshalling yards. These LCC reductions result, amongst other things, from the higher utilisation of locomotives and wagons due to decreased transport and stabling times. This can be achieved, for example, through driver change elimination and faster processes in the terminals and yards. Further reasons for the LCC reductions in Freight include an increased payload per axle when using the extended market wagon which has been developed in S2R, as well as the improved loading factor resulting from the digitalisation of the freight transport processes.

The capacity improvements in freight transport are largely based on rail technologies from IP5 and to a lesser extent from IP3. Freight-specific rail technologies (IP5) have enabled an increase in freight transport capacity of 76 %. On the one hand, this capacity increase is based on the use of longer freight trains as well as coupled freight trains on lines with capacity restrictions and on the other hand on the aforementioned increased payload per axle on the extended market wagon and the improved load factor. As for the punctuality KPI, improvements of 10 % have been shown due to the railway technologies in the CCS system (IP2 and IP5). These include, for example, the introduction of the GoA 4 automatic train operation system. Furthermore, punctuality caused by infrastructure-related failures can be reduced

	LCC	Kapazität/Capacity	Pünktlichkeit/Punctuality
IP2: CCS/CCS	-14 %	0 %	10 %
IP3: Infrastruktur/Infrastructure	-19 %	6 %	52 %
IP5: Güterverkehr/Freight	-38 %	76 %	59 %

Tab. 2: Ergebnisse der IMPACT-2 KPI-Bewertung für den Schienengüterverkehr

Tab. 2: The results of the IMPACT-2 KPI Assessment for Freight rail transport

möglichen eine Steigerung der Güterverkehrskapazität um 76 %. Diese Kapazitätssteigerung beruht zum einen auf dem Einsatz längerer Güterzüge sowie gekoppelter Güterzüge auf Strecken mit Kapazitätseinschränkungen und zum anderen auf der erwähnten erhöhten Nutzlast pro Achse des verlängerten Güterwagens sowie der verbesserten Nutzlast.

Beim KPI Pünktlichkeit werden Verbesserungen von 10 % aufgrund von technologischen Entwicklungen im CCS-System (IP2 und IP5) ausgewiesen. Darin berücksichtigt ist z. B. die Einführung eines automatisierten GoA 4-Zugsteuerungssystems. Darüber hinaus führen Innovationen der Infrastruktur zu einer Reduzierung von infrastrukturellen Ausfällen, sodass eine Pünktlichkeitsverbesserung von 52 % generiert werden kann. Auch güterverkehrsspezifische Technologien können die Pünktlichkeit bezogen auf ihre jeweiligen Anteile im Bahnsystem um 59 % erhöhen. Dabei spielt die Digitalisierung von Güterverkehrsprozessen wie Echtzeit-Netz-, Terminal- und Rangiermanagement eine große Rolle. Auch die zustandsorientierte Instandhaltung kann die Zuverlässigkeit der Züge und damit die Pünktlichkeit des Güterverkehrs verbessern.

3.3 Projektergebnisse für den Personenverkehr

Für den SPV werden die Auswirkungen der KPI auf der Grundlage der S2R-Technologien ermittelt, die in IP1 (Personenzüge), IP2 (CCS) und IP3 (Infrastruktur) entwickelt wurden, siehe Tab. 3 für den Hochgeschwindigkeitsverkehr, Tab. 4 für den Regionalverkehr und Tab. 5 für die Metro.

So bietet z. B. in spezifischen Anwendungsfällen, welche in den SPD berücksichtigt sind, die im Rahmen von IP1 entwickelte funktionale offene Kupplung (functional open coupling, FOC) die Möglichkeit, die Kupplung von Zügen zwischen verschiedenen Herstellern, Klassen und Baureihen zu erweitern. Dies ist heute aufgrund unterschiedlicher Steuerungs- und elektrischer Kupplungsparameter der einzelnen Zugtypen nicht möglich. Infolgedessen ließe sich mit FOC die Zahl der für zwei oder mehr Strecken eines Verkehrsdienstes benötigten Reservezüge verringern.

Mit den S2R-Innovationen ist es möglich, die LCC in IP1 um -14 % für den Hochgeschwindigkeitsverkehr zu senken (Tab. 3). Darüber hinaus führen in IP2 Innovationen wie das TMS und der automatisierte Zugbetrieb (Automatic Train Operations, ATO) zu einer verbesserten Betriebsleistung, was wiederum zu geringeren Triebfahrzeugführerkosten und einer Reduzierung der LCC führt. Am Beispiel des Regionalverkehrs verbessern die IP2-Innovationen die LCC des CCS-Systems um -21 % (Tab. 4), während im Fall der Metro IP2-Innovationen sogar zu LCC-Verbesserungen von -48 % führen (Tab. 5).

Weiterhin tragen IP2-Innovationen wie Moving Block zu einer Erhöhung der Streckenkapazität von mehr als 30 % für Regional- und Hochgeschwindigkeitszüge bei (Tab. 3). Durch den Einsatz von Moving Block können die Züge kontinuierlich überwacht werden und im Bremswegabstand fahren, was zu einer verbesserten Streckenkapazität führt. Bei der Metro sind Kapazitätssteigerungen von 20 % durch IP2-bezogene Innovationen möglich, siehe Tab. 5. Weitere Kapazitätseffekte ergeben sich z. B. durch S2R-Innovationen, die im Rahmen von IP1 entwickelt werden und sich mit der Verringerung

by 52 % by means of infrastructure innovations, while freight-specific railway technologies can increase the punctuality based on their respective parts in the railway system by 59 %. Here, the digitalisation of freight transport processes such as the real-time network, terminal and yard management plays a major role. Condition-based maintenance (CBM) also improves train reliability and thus the on-time performance of freight transport.

3.3 Project results for passenger rail transport

The KPI impacts for passenger rail transport have been identified on the basis of the S2R technologies developed in IP1 (Passenger Train), IP2 (CCS) and IP3 (Infrastructure): see tab. 3 for High-Speed, tab. 4 for Regional and tab. 5 for Metro.

Several S2R innovations have shown positive impacts on the LCC assessment. So, for example, the functional open coupling (FOC) developed under IP1 provides the possibility of extending the coupling of trains between different manufacturers, classes and series in the specific use cases represented within the SPD, which is not currently possible due to the different control and electrical coupling parameters of the individual train types. As a result, the FOC would allow a reduction in the number of reserve trains needed for two or more lines on a service. With S2R innovations, it is possible to decrease the LCC in IP1 by -14 % for High-Speed: see tab. 3. Furthermore, the innovations in IP2, such as the Train Management System (TMS) and Automatic Train Operations (ATO), have led to enhanced operating performance, which in turn has resulted in decreased driver costs and a reduction in LCC. Taking Regional as an example, IP2 innovations have improved the LCC of the CCS system by -21 % (tab. 4), while IP2-innovations could even lead to LCC improvements of -48 % in the case of Metro (tab. 5).

In addition, IP2 innovations such as Moving Block have contributed to track capacity increases of more than 30 % for Regional and High-Speed: see tab. 3. The use of Moving Block means that trains can be controlled continuously and spaced using the braking distance, thus resulting in improved line capacity. Capacity increases of 20 % are possible for Metro through IP2-related innovations: see tab. 5. Further capacity effects occur, for example, as a result of S2R innovations being developed in IP1 and dealing with the reduction of the train weight and the interior design. Reducing the train weight and improving the interior design makes it possible to increase the number of passengers in peak hours and therefore improve the train capacity. Using Regional transport as an example, capacity increases of 46 % can be expected based on the projection received from the IP1 innovation projects: see tab. 4.

Finally, various S2R innovations have had a positive impact on punctuality. For example, the S2R innovations developed in IP3 and related to infrastructure improvements have enabled the higher reliability of assets through the continuous monitoring of asset degradation and improved predictive maintenance. Hence, maintenance can be better scheduled and failures can be avoided in general, but especially during peak hours. Subse-

	LCC	Kapazität/Capacity	Pünktlichkeit/Punctuality
IP1: Personenzüge/Passenger Train	-14 %	14 %	14 %
IP2: CCS/CCS	-15 %	38 %	23 %
IP3: Infrastruktur/Infrastructure	-21 %	enthalten in IP2/included in IP2	55 %

Tab. 3: Ergebnisse der IMPACT-2 KPI-Bewertung für den Hochgeschwindigkeitsverkehr

Tab. 3: The results of the IMPACT-2 KPI Assessment for High-Speed rail transport

	LCC	Kapazität/Capacity	Pünktlichkeit/Punctuality
IP1: Personenzüge/Passenger Train	-28 %	46 %	16 %
IP2: CCS/CCS	-21 %	30 %	29 %
IP3: Infrastruktur/Infrastructure	-27 %	enthalten in IP2/included in IP2	59 %

Tab. 4: Ergebnisse der IMPACT-2 KPI-Bewertung für den Regionalverkehr

Tab. 4: The results of the IMPACT-2 KPI Assessment for Regional rail transport

	LCC	Kapazität/Capacity	Pünktlichkeit/Punctuality
IP1: Personenzüge/Passenger Train	-9 %	0 %	n/a
IP2: CCS/CCS	-48 %	20 %	n/a
IP3: Infrastruktur/Infrastructure	-15 %	enthalten in IP2/included in IP2	n/a

Tab. 5: Ergebnisse der IMPACT-2 KPI-Bewertung für den Metroverkehr

Tab. 5: The results of the IMPACT-2 KPI Assessment for Metro transport

des Zuggewichts und der Innenraumgestaltung befassen. Durch die Verringerung des Zuggewichts und der Verbesserung der Innenausstattung ist es möglich, die Zahl der Fahrgäste in den Hauptverkehrszeiten zu erhöhen und damit die Kapazität des Zuges zu verbessern. Am Beispiel des Regionalverkehrs lässt sich auf der Grundlage der Prognosen der IP1-Innovationsprojekte eine Kapazitätssteigerung von 46 % feststellen (Tab. 4).

Schließlich haben verschiedene S2R-Innovationen positive Auswirkungen auf die Pünktlichkeit. So ermöglichen beispielsweise die im Rahmen von IP3 entwickelten Innovationen zur Verbesserung der Infrastruktur eine höhere Zuverlässigkeit der Anlagen durch kontinuierliche Überwachung des Anlagenzustands und durch verbesserte vorausschauende Instandhaltung. Dadurch können Wartungsarbeiten besser geplant und Ausfälle im Allgemeinen, aber insbesondere während der Hauptverkehrszeiten, vermieden werden. Infolgedessen wird eine verbesserte Pünktlichkeitsleistung auf der Grundlage infrastrukturbedingter Ausfälle für den Hochgeschwindigkeitsverkehr von 55 % (Tab. 3) und für den Regionalverkehr von 59 % (Tab. 4) erreicht.

4 Fazit und Ausblick

Mehr als 40 Projekte wurden bereits oder werden bis 2023 im Rahmen von S2R abgeschlossen. In diesen Projekten werden sehr unterschiedliche Technologien für künftige Züge, Gleise und Signalsysteme spezifiziert, entwickelt, demonstriert und evaluiert. Um die Gesamtauswirkungen all dieser verschiedenen Technologien auf das Eisenbahnsystem abzuschätzen, wurde eine integrierte Methodik unter Verwendung von KPI entwickelt, umgesetzt und validiert. Die jüngste Version der integrierten KPI-Bewertung wurde als eine der S2R-Querschnittsaktivitäten im Projekt IMPACT-2 vorgestellt. Aufgrund der Komplexität des Eisenbahnsystems wurden die kombinierten Auswirkungen der Technologien in drei verschiedenen Modellen für Lebenszykluskosten, Kapazität und Pünktlichkeit modelliert. Da sich der Ansatz für den Personen- und den Güterverkehr

quently, a 55 % improvement in on-time performance based on infrastructure-related failures can be achieved for High-Speed (tab. 3), while the figure is 59 % for Regional (tab. 4).

4 Conclusion and outlook

More than 40 projects have been finished or will finish by 2023 under the S2R framework. These projects are specifying, developing, demonstrating and evaluating very different technologies for future trains, tracks and signalling systems. An integrated methodology using KPI has been developed, implemented and validated in order to estimate the overall impact of all those different technologies on the railway system. The most recent version of the integrated KPI assessment has been presented by the S2R cross-cutting activity IMPACT-2 project. Due to the complexity of the railway system, the combined impacts of technologies have been modelled in three different models each for lifecycle costs, capacity and punctuality. As the approach differs substantially for passenger and freight rail transport, the three models have been adopted individually for both areas. Hence, a total of six core models have been developed. The modelling has been finalised and the final results will be presented in November 2022.

The ongoing activities for modelling, acquiring the result data from the last S2R projects and computing the results will take place in 2022. The methodology and the results will be published as final project results at the end of the IMPACT-2 project. The European Rail Joint Undertaking (EU-Rail JU) will take on the activities pertaining to rail research from the S2R Joint Undertaking. The current structure will be refined to seven so-called flagship areas which specify, develop and demonstrate new technologies at an even higher level of technology readiness. A more detailed set of KPI will be used in order to enable a careful assessment of the impacts on the future railway system. ■

auf der Schiene erheblich unterscheidet, wurden die drei Modelle für beide Bereiche einzeln vorgenommen, sodass insgesamt sechs Kernmodelle entwickelt wurden. Die Modellierung ist abgeschlossen, und die endgültigen Ergebnisse werden im November 2022 vorgestellt.

Die laufenden Aktivitäten für die Modellierung, die Erfassung der Ergebnisdaten in den letzten S2R-Projekten und die Berechnung der Ergebnisse werden im Jahr 2022 stattfinden. Am Ende des Projekts IMPACT-2 werden die Methodik und die Ergebnisse als endgültige Projektergebnisse veröffentlicht. Das europäische Eisenbahn-Joint Undertaking (EU-Rail JU) wird die Aktivitäten im Bereich der Eisenbahnforschung des Joint Undertaking S2R übernehmen. Die derzeitige Struktur wird verfeinert und in sieben sogenannte Flagship Areas unterteilt, in denen neue Technologien auf einem noch höheren Technologiestandard spezifiziert, entwickelt und demonstriert werden. Um eine sorgfältige Bewertung der Auswirkungen auf das künftige Eisenbahnsystem zu ermöglichen, wird ein detaillierterer Satz von Leistungsindikatoren verwendet. ■

Dieses Projekt wurde mit Mitteln der Europäischen Forschungsinitiative Shift2Rail Joint Undertaking (JU) unter der Finanzhilfvereinbarung Nr. 777513 gefördert. Das JU erhielt Fördermittel aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon2020 der Europäischen Union und von den Shift2Rail JU-Mitgliedern, die nicht der Union angehören.

This project has received funding from the Shift2Rail Joint Undertaking (JU) under grant agreement no. 777513. The JU has received support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the Shift2Rail JU members other than the Union.

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Eckert, A.; Hainz, S.: The challenges of unifying railway data in the EU, SIGNAL+DRAHT, 7+8/2020, pp. 15-21
- [2] Hainz, S.; Meyer zu Hörste, M.; Brinkmann, F., Bewertungsmethodik für die Projektergebnisse im Joint Undertaking Shift2Rail, SIGNAL+DRAHT, 1+2/2018, S. 6-14
- [3] Shift2Rail, „Shift2Rail Multi-Annual Action Plan (MAAP)“, 2015. [Online]. Verfügbar: <https://shift2rail.org/publications/multi-annual-action-plan/>. [Zugriff am 11. April 2022 um 16:30]
- [4] Kurt, F.; Brinkmann, F.; Meyer zu Hörste, M.; Hainz, S.: „Impact assessment method to forecast high speed“, 15 September 2021. [Online]. Verfügbar: https://elib.dlr.de/143974/1/HSR_Workshop_DICEA.pdf. [Zugriff am 11. April 2022 um 16:30]
- [5] IMPACT-2, „D4.3 - Reviewed quantitative KPI model, Volume 1,“ 2019

AUTOREN | AUTHORS

Filiz Kurt, M.A.

Wiss. Mitarbeiterin Design und Bewertung von Mobilitätslösungen /
Scientific staff Evaluation of Transportation
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: filiz.kurt@dlr.de

Alessa Isberner, M.Sc.

Wiss. Mitarbeiterin Design und Bewertung von Mobilitätslösungen /
Scientific staff Evaluation of Transportation
Anschrift / Address: Rutherfordstraße 2, D-12489 Berlin
E-Mail: alessa.isberner@dlr.de

Dr.-Ing. Michael Meyer zu Hörste

Shift2Rail Work Area Lead KPI Integrated Assessment
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: michael.meyerzuHoerste@dlr.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Florian Brinkmann

Gruppenleiter Design und Impact Assessment /
Team Leader Design and Impact Assessment
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: florian.brinkmann@dlr.de

Svenja Hainz, M.Sc.

Repräsentant Verkehrsforschung im DLR-Büro Brüssel /
Representative for transport research at DLR's Brussels office
Anschrift / Address: Rue du Trône 98, B-1050 Brüssel
E-Mail: svenja.hainz@dlr.de