

Steigerung der Streckenkapazität durch schnellere Güterzüge

Zentrales Ziel der Politik ist eine Kapazitätssteigerung im Schienengüterverkehr.

Schnellere Güterzüge können neue Trassenpotenziale erschließen, indem die Geschwindigkeiten auf stark ausgelasteten Strecken harmonisiert werden.

In diesem Artikel werden die Auswirkungen schnellerer Güterzüge auf Betriebsqualität und Streckenkapazität untersucht.

Eine bedarfsweise Erhöhung der Güterzuggeschwindigkeit ist für eine Steigerung der Streckenkapazität vielversprechender als Expressgüterzugtrassen.

1. Einleitung und Ziel der Untersuchung

Im Wettbewerb der Verkehrsträger kann die Schiene mit einer hohen Umweltfreundlichkeit überzeugen. Politik und Eisenbahnsektor setzen daher auf eine Kapazitätssteigerung im Schienenverkehr, insbesondere im Wachstumsfeld Schienengüterverkehr (SGV) [1]. Ziel ist es, den Anteil des Schienengüterverkehrs am Verkehrsmix zu steigern. Voraussetzung dafür ist die ausreichende Anzahl verfügbarer Trassen, denn zahlreiche europäische Streckenabschnitte mit netzweiter Bedeutung sind von dichtem Verkehr und einer hohen Auslastung geprägt [2]. Hierbei stellt sich die Frage, wie unter diesen Randbedingungen zusätzliche Kapazitäten insbesondere im Schienengüterverkehr erschlossen werden können. Neben technischen Verbesserungen wie der Erneuerung der Leit- und Sicherungstechnik zur Umsetzung kürzerer Zugfolgezeiten kann in den Ausbau der Infrastruktur investiert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anpassung von Fahrplanung oder betrieblichen Abläufen.

Die Kapazität einer Bahnstrecke kann u. a. durch eine Geschwindigkeitsharmonisierung gesteigert werden, sodass eine effektivere Kapazitätsnutzung und dichtere Zugfolge ermöglicht wird. Insbesondere tagsüber ist der Fahrplan auf Mischverkehrsstrecken durch heterogenen Verkehr und große Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den einzelnen Zuggattungen gekennzeichnet, was große Mindestzugfolgezeiten und nicht vermarktbarere Lücken im Fahrplan bedingt. Eine gesteigerte Höchstgeschwindigkeit soll Güterzügen das Ausnutzen dieser Fahrplanlücken ermöglichen, indem sich die Güterzüge in ihrer Trassencharakteristik den schnellen Personenzügen annähern. Dies könnte den Güterzügen einen besseren Zugang zu Trassenkapazität während des stark frequentierten Tageszeitraums ermöglichen und die Anzahl verfügbarer Trassen erhöhen. Im Folgenden wird anhand verschiedener Szenarien überprüft, inwiefern eine Erhöhung der Güterzuggeschwindigkeit zu einer Steigerung der Streckenleistungsfähigkeit führen kann.

2. Stand der Wissenschaft

Die Leistungsfähigkeit von Eisenbahnstrecken kann durch eine *theoretische* Kapazität charakterisiert werden, was der maximalen Anzahl von Zugtrassen entspricht, die auf einem bestimmten Streckenabschnitt innerhalb eines definierten zeitlichen Abschnittes konfliktfrei konstruiert werden können [3]. In der Regel wird diese Definition erweitert um den Aspekt der Marktorientierung, was zur *praktischen* Kapazität führt [3]. Diese unterstellt eine gewünschte



M. Sc. Jakob Geischberger

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V., Institut für
Verkehrssystemtechnik
jakob.geischberger@dlr.de



M. Sc. Michael Mönsters

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V., Institut für
Verkehrssystemtechnik
michael.moensters@dlr.de



Dipl.-Ing. Philip Ritzer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V., Institut für
Verkehrssystemtechnik
philip.ritzer@dlr.de

Betriebsqualität (level of service) [4]. Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit der Analyse der Streckenkapazität sowie der Optimierung der Kapazitätsnutzung (vgl. z. B. [5], [6], [7]); verschiedene Maßnahmen hierzu wurden bereits eingangs in Kapitel 1 diskutiert.

Schnellere Güterzüge sind bzw. waren Bestandteile unterschiedlicher Betriebskonzepte. Die meisten wurden jedoch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oder geringem Bedarf wieder eingestellt [8]. Der Fokus dieser Konzepte lag jedoch hauptsächlich auf der zu erwartenden schnelleren Transportzeit und weniger auf einer

Steigerung der Kapazität. In [9] wurde der Markt für schnellere Güterzüge untersucht, mit dem Hinweis auf zu erwartende betriebliche Implikationen. Außerdem haben die Autoren die vorliegende Fragestellung kürzlich in einer detaillierteren Untersuchung beleuchtet [10].

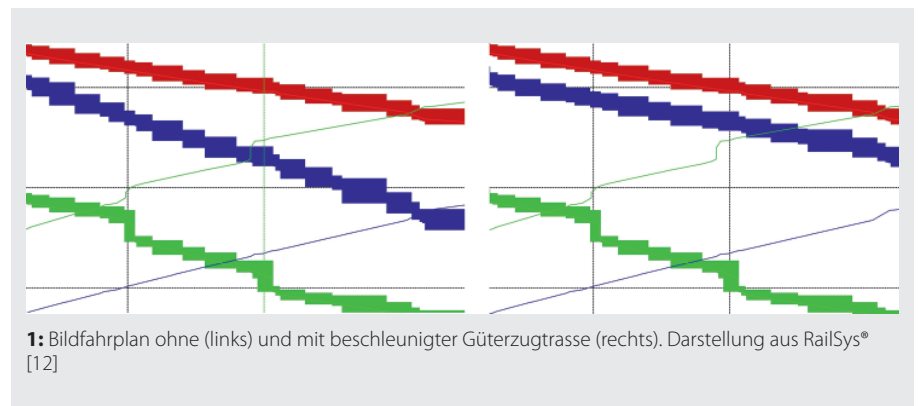
Der Betrieb schnellerer Güterzüge geht mit diversen technischen Aufrüstungen des Wagenmaterials einher, die erhebliche Zusatzkosten verursachen können. Die Berichte in [8] und [11] legen nahe, dass dies für eine Geschwindigkeit von 160 km/h zutrifft, während Zielgeschwindigkeiten bis 140 km/h mit vergleichsweise geringen Investitionen zu realisieren sind.

3. Methodik

Schnellere Güterzüge können bei Mischverkehrsstrecken zu einer stärkeren Harmonisierung von Geschwindigkeiten und somit Fahrplänen führen (s. Kapitel 1). Es wird generell angenommen, dass dadurch die mittleren Mindestzugfolgezeiten sinken und die Kapazität des Streckenabschnitts steigt. Bild 1 skizziert diesen Ansatz schematisch: Während die Güterzugtrasse (blau) im linken Bildfahrplan noch konventionell verkehrt, wurde sie im rechten Bild beschleunigt. Sie verläuft dort flacher und nähert sich der Trasse des Schienenpersonenfernverkehrs (SPFV, rot) an. Dadurch könnte unter Berücksichtigung der gewünschten Betriebsqualität eine zusätzliche Trasse eingefügt werden, ehe ein Zug des Schienenpersonennahverkehrs (SPNV, grün) abfährt.

Neben diesem planerischen Kontext kann die erhöhte Geschwindigkeit aber auch in einem stärker operativen Zusammenhang zum Tragen kommen. Daher werden zwei grundsätzliche Betrachtungsfälle bzw. Szenarien definiert, welche den Ausgangspunkt der weiteren Untersuchung darstellen:

- Im Szenario *Express* verkehren Güterzüge fahrplanmäßig schneller, indem sie einer sog. Expressrasse zugewiesen werden. Dadurch steigt die Harmonisierung des Fahrplankonstrukts.
- Im Szenario *Flexibilität* verkehren Güterzüge nur bei Bedarf schneller, während die Trassierungsgeschwindigkeit beibehalten wird. Die höhere Maximalgeschwindigkeit kann betrieblich genutzt werden, um beispielsweise Verspätungen aufzuholen oder Überholungen zu vermeiden und ermöglicht somit eine höhere operative Flexibilität.



Beide Szenarien haben eine Erhöhung der Geschwindigkeit von Güterzügen gemein. Es gilt jedoch zu untersuchen, ob sich die Potenziale schnellerer Güterzüge hinsichtlich einer Erhöhung der Streckenkapazität eher in einem taktisch-fahrplanerischen (Szenario *Express*) oder operativen Kontext (Szenario *Flexibilität*) ausschöpfen lassen.

Zur Bewertung des Einflusses schnellerer Güterzüge auf die Streckenleistungsfähigkeit wird auf eine mikroskopische Eisenbahnbetriebssimulation mithilfe von RailSys® [12] zurückgegriffen. Im Vergleich zu anderen Möglichkeiten zur Bewertung der Streckenkapazität [6] bietet dies den Vorteil, dass eine höhere betriebliche, aber nicht notwendigerweise trassierte Geschwindigkeit modelliert werden kann, wie sie im Szenario *Flexibilität* vorgesehen ist.

Als Bewertungskriterium und Maßstab für die Betriebsqualität wird der Verspätungszuwachs gewählt (vgl. [3]). Dieser errechnet sich aus der Differenz von Einbruchs- und Ausbruchsverspätung und zeigt somit an, ob ein bestimmter Zug beim Durchlaufen des Systems Verspätung abbaut (negativer Verspätungszuwachs) oder aber Verspätung aufbaut (positiver Verspätungszuwachs). Ein geringfügiger Verspätungszuwachs zeugt von einer befriedigenden Betriebsqualität. Weicht der Parameter stärker in den positiven bzw. negativen Wertebereich ab, so wird von mangelhafter bzw. guter Betriebsqualität gesprochen. Dies steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit des Abschnitts: Strecken mit guter Betriebsqualität können das Einlegen zusätzlicher Trassen erlauben, wohingegen mangelhafte Betriebsqualität ein Indikator für eine notwendige Reduzierung der Zuganzahl ist [13].

Das vorgestellte Bewertungskonzept wird wie folgt auf schnellere Güterzüge übertragen: Ein Basisfahrplan stellt den Referenzwert der Untersuchung dar. Unter der Annahme, dass durch die Erhöhung der Güterzuggeschwindigkeit der Verspätungszuwachs der Züge im Mittel sinkt, steigt die Betriebsqualität entsprechend. Diese Annahme gilt für beide oben eingeführten Szenarien. Nun werden in den Basisfahrplan in einem iterativen Anreicherungsprozess schrittweise zusätzliche Güterzugtrassen eingelegt und der Verspätungszuwachs gemessen. Die der Untersuchung zugrunde liegende Hypothese lautet, dass bei höherer Güterzuggeschwindigkeit so lange zusätzliche Trassen in einen Fahrplan eingelegt werden können, bis die resultierende Betriebsqualität das Niveau des Basisfahrplans erreicht. Die ermittelte Anzahl an zusätzlichen Güterzugtrassen gibt dann Aufschluss über die mögliche Kapazitätssteigerung des Streckenabschnitts.

Das Anreichern der Trassen wird mittels der in RailSys® verankerten Funktionalität anhand des UIC Code 406 bewerkstelligt. Gemäß diesem findet zunächst eine Kompression des Trassengerüsts statt. Der resultierende verkettete Belegungsgrad berechnet sich aus dem Quotienten von Belegungszeit im komprimierten Zustand und der Betrachtungszeit. Er gibt Aufschluss über die „Lücken“ im Originalfahrplan und somit auch die Anzahl einzulegender zusätzlicher Trassen.

Die eingangs beschriebenen Fälle werden mittels drei verschiedener Szenarien untersucht. Diese sind in Tabelle 1 aufgelistet:

Das Referenzszenario stellt den Basisfahrplan dar. Im Szenario *Flexibilität* beträgt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für

Tabelle 1: Szenarien für die Fälle Flexibilität und Express

Szenario	Bezeichnung	Höchstgeschwindigkeit der Güterzüge (km/h)
Referenzszenario	Basisfahrplan (BFP)	konventionell (100)
Szenario <i>Flexibilität</i>	BFP v_{max} 160	160
Szenario <i>Express</i>	Expresstrasse v_{max} 160	160

Tabelle 2: Verspätungszuwachs Basisfahrplan

Zuggattung	Verspätungszuwachs (s)
Fernverkehr (SPFV)	4,2
Nahverkehr (SPNV)	-22,2
Güterverkehr (SGV)	25,4
Gewichteter Durchschnitt über alle Zuggattungen	1,9

Güterzüge 160 km/h. Diese wird jedoch nicht vorab trassiert, sondern nur bei Bedarf wahrgenommen. Das Szenario *Express* weist den Güterzügen Expresstrassen mit 160 km/h zu.

4. Fallstudie

Der in Kapitel 3 beschriebene methodische Ansatz wurde in einer Fallstudie angewendet. Dazu wurde eine Strecke modelliert, die sich am realen Abschnitt Offenburg – Freiburg orientiert. Dieser Strecke fällt als Teil des TEN-Korridors Rhein – Alpen eine hohe Bedeutung für den SGV zu, was sich in einem hohen Güterzugaufkommen äußert. Es handelt sich um eine stark frequentierte Mischver-

kehrsstrecke, bei der eine große Heterogenität des Betriebsprogramms vorliegt und ein besonderer Bedarf nach zusätzlicher Kapazität besteht. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 160 km/h. Als Messpunkte für den Verspätungszuwachs wurden die Bahnhofsausfahrt Offenburg sowie der Abzweig Gundelfingen kurz vor Freiburg gewählt. Dies stellt sicher, dass das Betriebsprogramm in der Simulation unverändert bleibt. Für den Untersuchungszeitraum wurde der Zeitraum 6 bis 22 Uhr gewählt. Das Betriebsprogramm wird frei zugänglichen Quellen entnommen und die Zuggattungen ICE, IC, RE, RB, S-Bahn sowie vier verschiedene Güterzugtypen modelliert. Den einzelnen Zuggattungen wird zudem eine bestimmte

Verspätungsverteilung hinterlegt, die der DB-Richtlinie 405 zu entnehmen ist [3].

Die Durchführung der Betriebssimulation in RailSys erfolgt in jeweils 100 Simulationsläufen je Datenpunkt. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis für den Basisfahrplan.

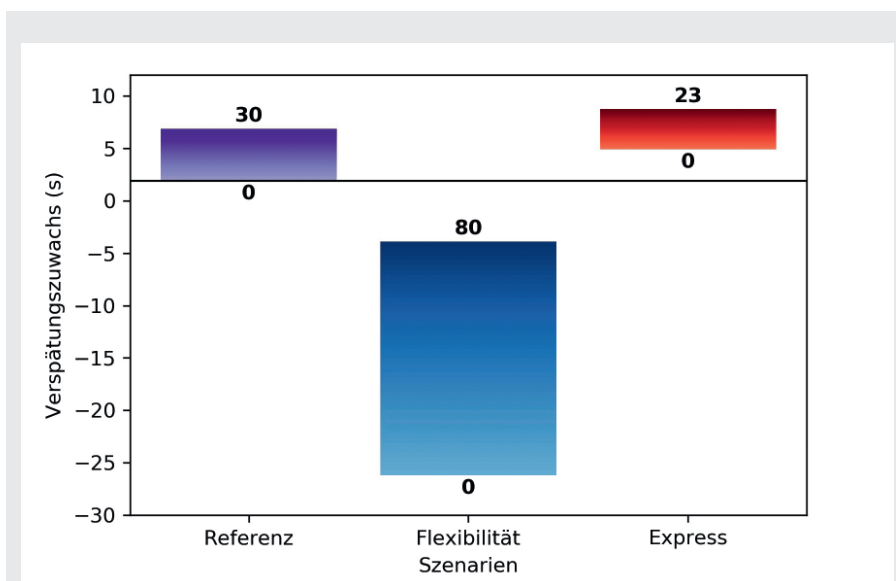
Tabelle 2 bestätigt die hohe Auslastung der Mischverkehrsstrecke, die mit einem Verspätungszuwachs über alle Züge von leicht über 0 s am Rande des Kapazitätsmaximums einzuordnen ist. Die Werte stellen jeweils einen Mittelwert aus Hin- und Rückrichtung dar, da das Betriebsprogramm in beide Richtungen sehr ähnlich ist und in der Simulation die Züge unterschiedlicher Fahrtrichtungen an Überleit- oder Abzweigstellen miteinander interagieren. Interessant ist die Verteilung des Messparameters über die Zuggattungen: Während der SPFV sehr nahe am Mittelwert einzuordnen ist, weist der SPNV einen stark negativen Wert auf. Diese Fahrplanrobustheit ist darauf zurückzuführen, dass verspäteten Regionalzügen in der Simulation erlaubt wurde, im Verspätungsfall ihre Haltezeit auf einen Minimalwert zu verkürzen. Der SGV hingegen weist einen hohen Verspätungszuwachs auf, was angesichts der zugrunde gelegten üblichen Dispositionsroutine mit Priorisierung von Personenzügen nicht überrascht.

Im nächsten Schritt wurden die Grundfahrpläne der jeweiligen Szenarien schrittweise mit Trassen angefüllt.

Bild 2 zeigt den Verspätungszuwachs je Szenario (s. Tabelle 1). Dabei wird ein Wertebereich ausgegeben, um den Prozess der Trassenanreicherung in die Darstellung zu integrieren: Die Unterkanten der Balken stellen jeweils den nicht angereicherten Grundfahrplan dar. Die Oberkante hingegen zeigt den Verspätungszuwachs im maximal angereicherten Zustand. Dies symbolisiert auch der angedeutete Farbverlauf von „hell“ (keine Zusatztrassen) zu „dunkel“ (maximale Anzahl zusätzlicher Trassen). Der Wert von 1,9 s aus Tabelle 2 stellt demnach die Unterkante des violetten Balkens von Szenario 1 dar. Er bildet den Referenzwert gemäß der in Kapitel 3 formulierten Hypothese. Aus diesem Grund wurde er als horizontale Orientierungslinie mit aufgenommen.

Es lässt sich erkennen, dass sich die Betriebsqualität im Szenario *Flexibilität* unterhalb des Referenzniveaus bewegt. Dies bedeutet, dass trotz des Hinzufügens der maximalen Anzahl an Trassen die Betriebsqualität dennoch besser als im Basisfahr-

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



2: Verspätungszuwachs je Szenario mit Güterzuganzahlen im Grund- sowie maximal angereicherten Zustand (Trassenanreicherung von hell nach dunkel)

plan bleibt. Dies ist hinsichtlich der Trassenkapazität vielversprechend.

Anders hingegen verhält sich das Szenario Express: Es zeugt von schlechterer Betriebsqualität als der Basisfahrplan, d. h. der Einsatz von Güterzugexpresstrassen verschlechtert die Betriebsqualität tendenziell. Dies entspricht auf den ersten Blick nicht dem erwarteten Verhalten, dass Expresstrassen durch Harmonisierungseffekte zu einer höheren Streckenkapazität führen (s. Kapitel 1). Analysiert man hier jedoch die einzelnen involvierten Zuggattungen, so erkennt man, dass der SPFV zwar in hohem Maße von den Expresszügen profitiert, da es zu weniger Konflikten mit vorausfahrenden Güterzügen kommt. Andererseits erleiden die schnelleren Güterzüge selbst einen erheblichen Nachteil aus ihrer erhöhten Geschwindigkeit: Durch die deutlich höhere Differenz zum Geschwindigkeitsniveau des SPNV einerseits und die geringe Priorität in der Disposition andererseits wächst der Verspätungszuwachs der Expressgüterzüge signifikant an. Im Mittel überwiegt aufgrund des hohen Anteils von Güterzügen am Gesamtbetriebsprogramm der negative der beiden genannten Einflüsse, woraus sich die leicht schlechtere Betriebsqualität gegenüber dem Basisfahrplan erklären lässt.

5. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Fallstudie in Kapitel 4 zeigen, dass aus betrieblicher Sicht eine bedarfsweise, operative Erhöhung der Güterzuggeschwindigkeit hinsichtlich der Steigerung der Streckenkapazität vielversprechend ist. Das Szenario Flexibilität weist auch unter Einlegen der maximal möglichen Anzahl an zusätzlichen Güterzugtrassen noch eine bessere Betriebsqualität als der Basisfahrplan auf. Die ermittelte Größenordnung von ca. 80 zusätzlichen Trassen entspricht bei zwei Richtungen und 16 h Untersuchungszeitraum mehr als zwei zusätzlichen Trassen je Richtung und Stunde. Diese Zahl könnte im Realbetrieb jedoch niedriger ausfallen, da keine Verspätungspropagationseffekte über das Streckensegment hinaus (sog. Netzwerkeffekte [14]) mit in die Simulation aufgenommen wurden.

Im Szenario Flexibilität konnte bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h eine sehr gute Betriebsqualität verzeichnet werden. Angesichts der unterschiedlichen Investitionen je Höchstgeschwindigkeit

(s. Kapitel 2) stellt es jedoch nicht zwangsweise die beste ökonomische Lösung dar. Vielmehr bietet sich hier eine Abstufung der Geschwindigkeitsniveaus an, um einen positiven Einfluss auf die Betriebsqualität auch bei geringeren Höchstgeschwindigkeiten von z. B. 120 bzw. 140 km/h zu untersuchen [10].

Das Szenario Express hingegen bewirkt keine Verbesserung der Streckenkapazität. Es ist anzunehmen, dass dies auf die verwendeten höheren Dispositionsprioritäten von Personenzügen zurückzuführen ist. Ein Anheben der Priorität von Güterzügen ob ihrer höheren Geschwindigkeit ist Bestandteil weiterer Untersuchungen. In jedem Fall zeigt die Untersuchung, dass ein reines Betrachten von Mindestzugfolgezeiten oder Verspätungsminuten ohne Einbezug von Dispositionsprioritäten für ein umfassendes Kapazitätsverständnis nicht ausreichend ist (vgl. [15]).

In dieser Untersuchung wurde vollständige Migration unterstellt, d. h. alle Güterzüge wiesen die Charakteristik des jeweiligen Szenarios auf. Da der Bedarf nach konventionellem SGV in jedem Fall bestehen bleiben wird (z. B. schwere Erzzüge), gilt es zunächst den Bedarf nach schnellem SGV umfassend zu analysieren.

Nicht zuletzt sei erwähnt, dass eine höhere Anzahl an Güterzügen nicht zwangsläufig auch eine höhere Gesamttransportkapazität der Strecke bedeutet, da aus regulatorischen wie physikalischen Gründen höhere Geschwindigkeiten geringere Nutzlasten bedeuten können.

Das beschriebene Forschungsvorhaben wurde im Rahmen des EU-Projekts fr8hub betrieben, gefördert durch das Shift2Rail Joint Undertaking im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 unter dem Grant Agreement No. 777402.

6. Zusammenfassung

Eine Möglichkeit zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Eisenbahnstrecken ist die Harmonisierung von Geschwindigkeiten. In diesem Zusammenhang werden die Auswirkungen schnellerer Güterzüge auf Streckenkapazität und Betriebsqualität einer stark frequentierten Mischverkehrsstrecke untersucht. Ein bedarfsweises, operatives Anheben der Geschwindigkeit erweist sich in dieser Hinsicht als vielversprechend, wohingegen ein Betrieb mit vorab geplanten Expresstrassen wenige Vorteile verspricht. ●

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Masterplan Schienengüterverkehr“, 2017. [Online]. Available: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/masterplan-schienengueterverkehr.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 5. Mai 2020].
- [2] European Commission, „JRC technical reports: Capacity assessment of railway infrastructure“, 2016. [Online]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/58e8439c-2629-11e6-86d0-01aa75ed71a1>. [Zugriff am 14. Mai 2020].
- [3] DB Netz AG, Richtlinie 405 Fahrwegkapazität (idF v. 13. 2. 2009).
- [4] International Union of Railways, UIC Code 406, Paris, 2013.
- [5] M. Abril. et. al., „An assessment of railway capacity“, Transportation Research Part E, Bd. 44, p. 774 – 806, 2008.
- [6] Pouryousef, Hamed; Lautala, Pasi; White, Thomas, „Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe“, J. Mod. Transport. (2015) 23(1):30 – 42.
- [7] Weik, Norman, Long-term capacity planning of railway infrastructure: a stochastic approach capturing infrastructure unavailability, Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2020.
- [8] Shift2Rail Fr8Hub, WP3: Real time network management and simulation of increasing speed for freight trains. Deliverable 3.1 State-of-the-art and specification of innovations, demonstrations and simulations., 2018.
- [9] G. Troche, „High-speed rail freight. Sub-report in efficient train systems for freight transport“, in Report / KTH Railway Group, Bd. 0512, KTH Stockholm, 2005.
- [10] J. Geischberger und M. Mönsters, „Impact of faster freight trains on railway capacity and operational quality“, Int. J. Transp. Dev. Integr., Bd. 4, Nr. 3, pp. 274 – 285, 2020.
- [11] Forschungs-Informationssystem, „InterCargoExpress, 2012“, [Online]. Available: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/402142/>. [Zugriff am 6. Mai 2020].
- [12] Radtke, Alfons; Bendfeldt, Jan-Philipp, Handling of railway operation problems with RailSys, University of Hanover, Germany: Institute of Transport, Railway Construction and Operation (IVE).
- [13] G. Heister, Eisenbahnbetriebstechnologie, DB-Fachbuch, Heidelberg u.a.: Eisenbahn Fachverlag, 2006.
- [14] A. Landex, Network effects in railways, WIT Press, 2012.
- [15] Gast, Ingolf, „Systemtrassen im Fahrplanprozess – Wie viele können bei vorgegebener Qualität vermarktet werden?“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Nr. 4, pp. 22 – 28, 2015.

Summary

Increase of route capacity by faster freight trains

The central goal of policy is to increase capacity in rail freight transport. Faster freight trains can open up new route potentials by harmonizing the speed on strongly frequented sections. In this article the effects of faster freight trains regarding operational quality and route capacity are examined.