

Bestimmung der Kapazitätssteigerung durch Einführung der Mittelpufferkupplung und ep-Bremse

In diesem Beitrag soll die Steigerung der Schienenkapazität durch Umrüstung der Güterzüge auf Mittelpufferkupplung und ep-Bremse quantifiziert werden. Als Methodik werden Fahrpläne vor und nach der Umrüstung automatisch konstruiert und hinsichtlich zusätzlich konstruierbarer Trassen verglichen.



1. Einleitung

Wenn immer mehr Güter nicht mehr auf der Straße, sondern auf der Schiene transportiert werden sollen, dann ist eine notwendige Bedingung, dass das Schienennetz genügend Kapazitäten für eine Steigerung der Anzahl der Zugtrassen bereithält. Neben infrastrukturellen und betrieblichen Maßnahmen lässt sich Kapazität auch durch eine effizientere Infrastrukturnutzung gewinnen, indem die technische Ausstattung der Züge verbessert wird. Eine Umrüstung von der veralteten Schraubenkupplung hin zur Mittelpufferkupplung (MPK) und einer elektro-pneumatischen Bremse (ep-Bremse) kann eine solche Verbesserung darstellen (vgl. Martin U., 2015a et al., und Martin et al., 2015b). In diesem Beitrag soll der Kapazitätsgewinn einer solchen Umrüstung anhand zusätzlich konstruierbarer Fahrplantrassen quantifiziert werden. Kapazität auf der Schiene lässt sich messen in der Anzahl der Züge, die mit einer definierten Betriebsqualität verkehren können. In der Planungsphase wird dieser Zusammenhang in einem konfliktfreien Fahrplan abgebildet. Im Projekt Digitale Kapazitätssteigerung (DK) der DB Netz AG konnte nachgewiesen werden, dass eine automatische Konstruktion von Trassen eine Steigerung der Kapazität im Schienengüterverkehr (SGV) um 3% im Vergleich zur manuellen Konstruktion bewirken kann (vgl. Pöhle et al., 2021, und Schlaich et al., 2017). Mithilfe dieser Methodik zur automatischen Konstruktion von Trassen wird in diesem Beitrag gezeigt, dass die Anzahl der Trassen und damit die Kapazität im SGV um weitere 4% steigt, wenn alle Güterzüge

mit einer MPK und ep-Bremse ausgestattet werden.

2. Automatische Trassenkonstruktion als Methodik zur Bemessung von Schienenkapazität

Das Verfahren der automatischen Trassenkonstruktion wurde in dem Projekt DK der DB Netz AG (vgl. Pöhle et al., 2021, und Schlaich et al., 2017) erfolgreich angewandt, um den Netzfahrplan exemplarisch für einen Tag automatisch zu erstellen. Dazu wurde zunächst das Schienennetz in Streckenabschnitte unterteilt, auf denen später Trassen konstruiert werden sollen. Diese Streckenabschnitte werden als Systemtrassenanforderungen (STA) (vgl. Schlaich et al., 2017) oder auch Zuglaufabschnitte (vgl. Pöhle et al., 2016) bezeichnet. Zwei oder mehr STA können sich überschneiden und werden dann in Gruppen zusammengefasst, sodass je zwei STA verschiedener Gruppen keine Überschneidungen mehr haben. Zu jeder STA gehört neben den Streckeneigenschaften auch eine Menge von Zugcharakteristiken, denen jeweils Tagesganglinien zugeordnet sind. Eine Zugcharakteristik besteht aus zugspezifischen Attributen wie Gewicht, Höchstgeschwindigkeit oder Länge. Sie definiert damit die Fahrdynamik der Trasse und soll die typischerweise auf der Strecke der STA verkehrenden Züge mit ihren Eigenschaften abbilden. Eine Tagesganglinie einer Zugcharakteristik definiert den Bedarf, wie oft eine Trasse dieser Charakteristik auf der STA über den Tag hinweg gebraucht wird. Typischerweise bestehen die Tagesganglinien aus der gewünschten Anzahl von



Julian Reisch

Algorithmeningenieur in der Verkehrsoptimierung Synoptics GmbH
julian.reisch@synoptics.de



Prof. Dr. Natalia Kliewer

Professorin für Wirtschaftsinformatik am Fachbereich Wirtschaftswissenschaft der Freien Universität Berlin
natalia.kliewer@fu-berlin.de



Prof. Dr.-Ing. Ullrich Martin

Direktor des Instituts für Eisenbahn- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart
ullrich.martin@ievwwi.uni-stuttgart.de



Dr.-Ing. Daniel Pöhle

Leiter Fahrplan und Kapazitätsmanagement der Region Mitte bei der DB Netz AG, Frankfurt am Main,
daniel.poehle@deutschebahn.com

Trassen je 2-Stunden-Intervall über die 24 Stunden eines Tages. Damit legt eine STA fest, wo wie viele Trassen mit welchen Eigenschaften konstruiert werden sollen.

Je STA werden dann die gewünschten Trassen automatisch konstruiert, sodass zu jeder der STA zugeordneten Zugcharakteristiken in jedem Zeitintervall höchstens so viele Trassen konstruiert werden,



1: Ablaufdiagramm der automatischen Trassenkonstruktion



2: Karte von STA

Quelle: Schlaich et al., 2017

wie in der Tagesganglinie gefordert werden. Außerdem sind die Trassen einer STA zueinander sowie zu ggf. bereits vorher geplanten Verkehren konfliktfrei. Dies wird u.a. erreicht, indem bei Zügen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten Überholmöglichkeiten genutzt oder Geschwindigkeiten harmonisiert werden. Je STA werden die Trassen sukzessive und unabhängig von anderen STA konstruiert mit der Zielfunktion die Fahrzeit der Trasse zu minimieren (vgl. Großmann et al., 2013, für eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus). Haben zwei Trassen zweier STA einer Gruppe einen Konflikt auf ihren überlappenden Laufwegen, wird dieser

ausgeregelt, indem eine der beiden Trassen wieder verworfen wird. Das Ergebnis ist somit ein konfliktfreier Fahrplan, dessen Trassen optimale Fahrzeiten besitzen und der den Anforderungen hinsichtlich Charakteristika und Anzahl über den Tag hinweg entspricht.

3. Berechnungsergebnisse von Konstruktionszenarien bei sukzessiver Umrüstung auf Mittelpufferkupplung

3.1. Referenzszenario

Das Referenzszenario (ohne MPK und ep-Bremse), mit dem die Ergebnisse aus

den Berechnungen der Konstruktionszenarien verglichen werden, besteht aus insgesamt 297 STA mit jeweils bis zu 3 Zugcharakteristiken und zugehörigen Tagesganglinien in Deutschland, und stammt ebenfalls aus dem Projekt DK. Grundlage für die Bestimmung der Zugcharakteristiken und Tagesganglinien waren einerseits Trassenanmeldungen von Güterzügen für den Netzfahrplan sowie Prognosen über Anmeldungen von Güterzügen im Gelegenheitsverkehr (vgl. Schlaich et al., 2017).

Eine STA im Referenzszenario besitzt meist Zugcharakteristiken sowohl für schnelle Trassen (mit 100 km/h) als auch für langsamere (mit 60 oder 80 km/h), sodass für jedes 2-Stunden-Intervall am Tag verschiedene Trassen bereitstehen. Insgesamt gibt es 885 Paare aus Zuglaufabschnitt und Zugcharakteristik. Die sich zum Teil überlappenden STA wurden in 90 Gruppen zusammengefasst.

Damit die konstruierten Trassen nicht nur untereinander, sondern auch zu den bereits im Netzfahrplan geplanten Reisezügen konfliktfrei sind, beinhaltet das Szenario außerdem Sperrzeiten aller Reisezüge sowie ausgewählter (nicht zur automatischen Konstruktion geeigneter) Güterzüge eines Referenztages aus 2013. Alle konstruierten Trassen sind unter Berücksichtigung der Sperrzeiten einschließlich Mindestzugfolgezeiten konfliktfrei.

3.2. Abbildung der Mittelpufferkupplung und ep-Bremse in den Zugcharakteristiken

Für den Vergleich mit dem Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass die Fahrzeuge mit einer automatischen standardisierten, nicht-proprietären, robusten Mittelpufferkupplung mit Energieversorgungs- und Datenverbindung sowie einer ep-Bremse ausgerüstet werden (vgl. Martin U., 2015a et al.). Diese technischen Veränderungen ermöglichen u.a. höhere Geschwindigkeiten sowie schnellere Beschleunigungs- und Bremsvorgänge, die für die Berechnung im Modell durch veränderte Zugcharakteristiken abgebildet wurden. Als Parameter wurden deshalb die Geschwindigkeit (V_{max}) und die Bremsleistung (B_{rH}) in Verbindung mit der Bremsstellung (P statt G) variiert. Für die bis zu drei Zugcharakteristiken, die in der automatischen Trassenkonstruktion auf einem Zuglaufabschnitt vorgegeben sind, wurden folgende Annahmen für die Zugcharakteristiken getroffen:

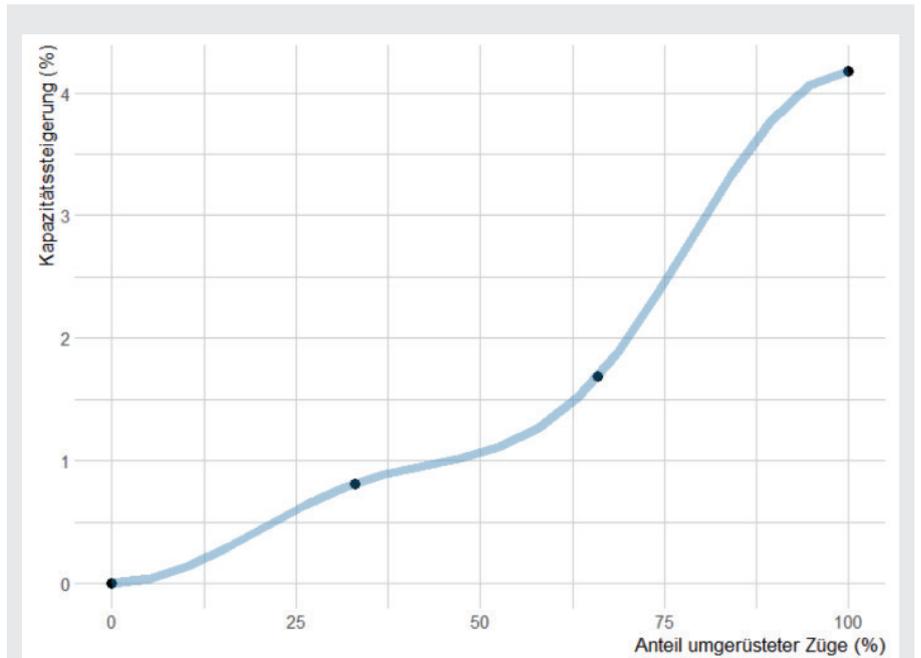
- Falls Gesamtzug Masse <2000 t: Setze BrH auf 95 und Vmax auf 120 und Bremsstellung auf „P“
- Falls Gesamtzug Masse >=2000 t und <3000 t: Setze BrH auf 65 und Vmax auf 100 und Bremsstellung auf „P“

Angewandt auf den vorhandenen Datensatz betreffen die Anpassungen 642 bzw. 224 von insgesamt 885 Paaren von STA und Zugcharakteristik.

3.3. Ergebnisse zur Steigerung der Trassenzahl

Es wird davon ausgegangen, dass nicht alle Züge zeitgleich umgerüstet werden können, und es stellt sich deshalb die Frage, wie die Kurve der Kapazitätssteigerung bei sukzessiver Umrüstung der Züge verläuft. Zur Beantwortung dieser Frage wird in den hier beschriebenen Szenarien unterstellt, dass zunächst die Fahrzeuge der schnelleren und später erst die Fahrzeuge der langsameren Züge umgerüstet werden. Demzufolge wurden zwei Migrationsszenarien, „Stufe 1“ und „Stufe 2“, erstellt, bei denen nur die schnellste bzw. die schnellsten beiden der höchsten drei Zugcharakteristiken gemäß den Annahmen im Abschnitt 3.2 umgerüstet worden sind. Dementsprechend wurden je Abschnitt die Zugcharakteristiken erst nach Vmax und dann nach BrH sortiert und nur die erste bzw. die ersten beiden der höchstens drei Zugcharakteristiken je Abschnitt angepasst. Die resultierenden Anzahlen der durch den Algorithmus automatisch konstruierten Trassen wurden als Stützstellen für die Steigerungskurve angenommen. Darüber hinaus wurde angenommen, dass die Kurve im aktuellen Zustand des Referenzszenarios sowie im Zielzustand, in dem alle Züge umgerüstet worden sind, eine Steigung von Null aufweist. Der Grund für diese Annahme ist, dass in beiden Fällen die Züge zueinander ähnliche Charakteristiken aufweisen und dadurch eine Fahrplanharmonisierung erreicht werden kann.

Im Referenzszenario wurden 63.384 Trassen deutschlandweit über alle STA hinweg konstruiert. Mit den veränderten Zugcharakteristiken ergeben sich 66.030 Trassen und somit etwa 4% mehr. In den Migrationsszenarios wurden 63.900 bzw. 64.456 Trassen konstruiert (vgl. Bild 3). Das Bild zeigt die erwartete Kurve der Kapazitätssteigerung, wenn sukzessive die schnellsten Züge umgerüstet werden. Die Kurve wurde anhand der 4 dargestellten

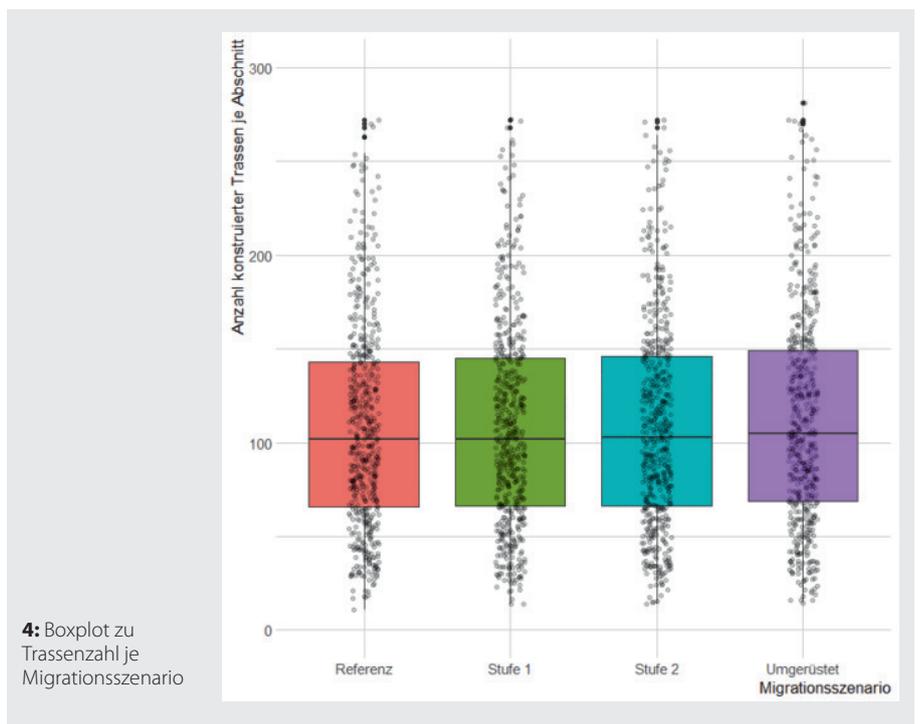


3: Steigerung der konstruierten Trassen nach Anteil umgerüsteter Züge

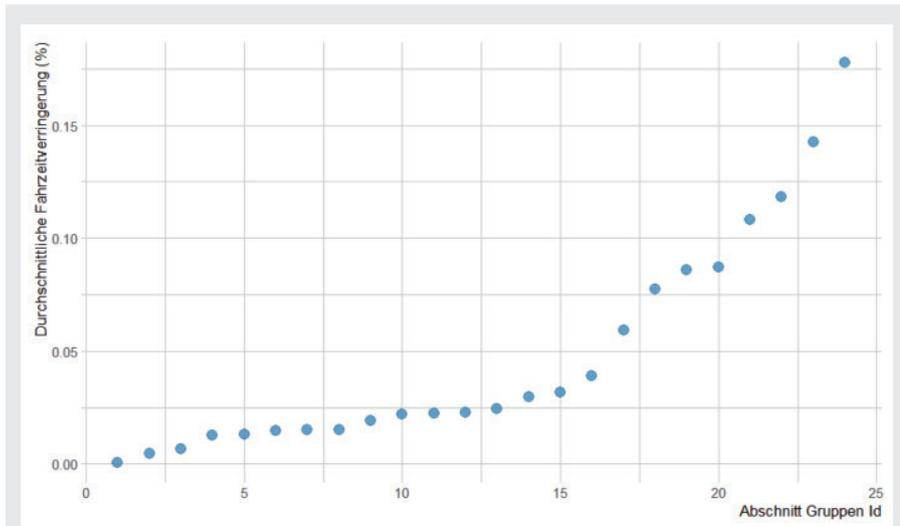
Stützstellen und der beiden Randbedingungen zur Ableitung durch eine Spline Funktion mit Grad 15 approximiert (vgl. Schoenberg, 1946).

Betrachtet man die Verteilung der Trassenzahlen je Abschnitt, so ergibt sich folgendes Bild (vgl. Bild 4). Zu sehen sind der Median (schwarze horizontale Linie),

die 25- und 75%-Quantile (Begrenzungen der farbigen Boxen) und die Einzelwerte (schwarze Punkte) je Szenario (verschiedene Farben). Es wird deutlich, dass die Trassenzahl zwar steigt, sich die Verteilungen aber nicht signifikant unterscheiden. So beträgt etwa die Varianz je Szenario 91, 92, 95 bzw. 88 und ist somit relativ gleichblei-



4: Boxplot zu Trassenzahl je Abschnitt



5: Fahrzeitverringerung vom Referenzszenario zum umgerüsteten Szenario

bend. Es lässt sich der Schluss ziehen, dass die Rechenergebnisse robust sind gegenüber Anpassungen von einer Teilmenge von Zugcharakteristiken.

3.4. Ergebnisse zur Senkung der Fahrzeiten

Wenn die Trassen durch ihre besseren Charakteristiken durch eine höhere Geschwindigkeit gekennzeichnet sind, dann folgt daraus, dass die Fahrzeiten im Mittel um 7% sinken von durchschnittlich 1474 auf 1368 Sekunden je STA. Bild 5 zeigt die prozentuale Verringerung der durchschnittlichen Fahrzeiten auf den konstruierten Trassen im Referenz- verglichen mit dem Szenario „Umgerüstet“ auf den 25 STA-Gruppen, bei denen alle Trassen durchschnittlich mindestens eine Fahrzeit von 60 Minuten Fahrzeit erfordern. Es ist davon auszugehen, dass kürzere Trassen wenig Aussagekraft hinsichtlich einer spürbaren Fahrzeitverringerung haben.

In der Abbildung wird deutlich, dass bis zu 15% Fahrzeit gespart werden kann, selbst auf den lohnenden langen Trassen von durchschnittlich über 1 Stunde Fahrzeit.

4. Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass sich durch die Einführung der MPK und ep-Bremse bis zu 4% Kapazität auf der bestehenden Infrastruktur für Güterverkehre in Form zusätzlicher Trassen schaffen lässt.

Für die Berechnung wurde auf die automatische Trassenkonstruktion als Methodik zur Kapazitätsbemessung zurückgegriffen,

Literatur

[1] Großmann, P., Labinsky, A., Opitz, J., Weiß, R., (2013), Capacity-utilized Integration and Optimization of Rail Freight Train Paths into 24 Hours Timetables, Proceedings of the 3rd International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS) 2013, S. 389–396, Dresden, Germany

[2] Martin, U., v. Molo, C., Ji, K., Körner, M., Podolskiy, I., (2015a), Umfassende Einführung der Mittelpufferkupplung, Neues Verkehrswissenschaftliches Journal des VWI – Ausgabe 13, Stuttgart, Germany.

[3] Martin, U., Neuberg, N., v. Molo, C., Ji, K., Körner, M., (2015b), Automatische Mittelpufferkupplung mit elektrischer Leitungsverbindung – Perspektiven für EIU und EVU, ETR 11/2015, Eurail Press, Germany.

[4] Pöhle, D., Feil, M., (2016), Optimierte Belegung von Systemtrassen im industrialisierten Fahrplan: Herausforderungen und erfolgreiche Ansätze, Tagungsband der 25. Verkehrswissenschaftlichen Tage 2016, Dresden, Germany

[5] Pöhle, D., Frank, A.-L., Kühn, S., Dahms, F., Schlaich, J., (2021), Automatisierte Fahrplanerstellung bei der DB Netz, Tagungsbericht Heureka 2021, FGSV Verlag, Cologne, Germany.

[6] Schlaich, J., Pöhle, D. (2017), Einsatz von Optimierungsverfahren in der Fahrplanerstellung, Tagungsbericht Heureka 2017, FGSV Verlag, Cologne, Germany.

[7] Schoenberg, I. J. (1946), Contributions to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions, Quarterly of Applied Mathematics, vol. 4, S. 45–99 und 112–141, Rhode Island, USA

die bei der DB Netz AG bereits im Einsatz ist.

Es wäre sinnvoll, als nächste Schritte zusätzliche Szenarien zu berechnen, die aus Sicht der Stakeholder als besonders verfolgenswert erachtet werden. Durch den Vergleich der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Szenarien kann die Robustheit der Erkenntnisse weiter erhöht werden. Darüber hinaus würde damit eine Grundlage zur Ableitung eines optimalen Migrationsszenarios geschaffen, wenn es gelingt, klare Ziele dafür zu definieren.

In einem weiteren Schritt bei der Anwendung des beschriebenen Ansatzes wäre es sinnvoll, unterschiedliche Störungsszenarien in die Betrachtung einzubeziehen, um den Einfluss der Erhöhung der Trassenzahl auf die Betriebsqualität in strukturierter Form abzubilden. Wie diese sich in der Zugcharakteristik abbilden lässt und wie viel Kapazitätsgewinn diese mit sich bringt, kann Gegenstand einer weiteren Studie mit der Methodik der automatischen Trassenkonstruktion sein.

Und schließlich lässt sich die hier beschriebene Methodik der Trassenkonstruktion auch auf weitere Szenarien anwenden, bei denen der Kapazitätsgewinn einer Maßnahme, sei sie infrastrukturell, betrieblich oder durch die technische Ausstattung von Zügen, bemessen werden soll.

Summary

Determination of capacity increase by implementing the centre buffer coupler and the ep-brake

In this article it was shown that by implementing the centre buffer coupler and the ep-brake, an increase of up to 4% capacity on the existing infrastructure for freight transport can be achieved by additional train paths. For the calculation, automatic track planning was used as a methodology for capacity assessment which is already in use at the DB Netz AG.