

Trassenvermarktung

Auktion versus Listenpreisverfahren

Nutzungsentgelte für die Schieneninfrastruktur sind ein Thema von erheblicher verkehrspolitischer und volkswirtschaftlicher Bedeutung. Die Besonderheit des Verkehrsträgers Eisenbahn liegt darin, dass – zumindest theoretisch – Kapazitätsprobleme durch den Fahrplankonstruktionsprozess gelöst werden sollen und sich Engpässe nicht durch Staus, sondern durch abgelehnte Trassenwünsche manifestieren. Ist es daher möglich, ein Preissystem zu etablieren, das die Knappheit von Trassen exakt reflektiert?

Interdisziplinäres
Forschungsprojekt Trassen-
börse (gefördert vom BMWi):

- Volkswirte (Leitung):
TU Berlin, Fachgebiet
Wirtschafts- und Infra-
strukturpolitik (WIP)
- Mathematiker:
Zuse-Institut Berlin (ZIB)
- Eisenbahningenieure:
TU Berlin, Fachgebiet
Schienenfahrzeuge und
Bahnbetrieb (SFWBB), und
TU Braunschweig, Institut für
Verkehrswesen, Eisenbahn-
bau und -betrieb (IVE)
- Management Consultants
Ilgmann, Miethner, Partner
(IMP)

Unter einer Trasse versteht man ein genau definiertes Nutzungsrecht des Schienennetzes; zum Beispiel das Recht, mit einem (näher zu bestimmenden) Güterzug zu einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Geschwindigkeit eine bestimmte Eisenbahnstrecke zu fahren.

Grundsätzlich bieten sich zwei Ansätze der Knappheitsbepreisung an: ein Auktionsverfahren und ein Listenpreisverfahren für räumlich und zeitlich definierte Infrastrukturelemente. Die Entwicklung und Untersuchung solcher Verfahren war das Thema des Forschungsprojekts Trassenbörse, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. An dem interdisziplinären Projekt waren Eisenbahningenieure, Spezialisten für mathematische Optimierung und Volkswirte beteiligt. Die Möglichkeiten der mathematischen Optimierung einer großen Zahl von Trassenwünschen sind von grundsätzlichem Interesse für eine hohe Auslastung von Schienennetzen, auch unabhängig von der Art der Trassenvermarktung [2]. Gleiches gilt für die Möglichkeiten einer geeigneten makroskopischen Abbildung des Bahnbetriebs, die eine Optimierung (oder andere, heuristische Verfahren zur Ermittlung guter kombinatorischer Lösungen) von unnötigem Informationsballast entlastet, andererseits aber den Test der Umsetzung in eine mikroskopische Simulationssoftware in der Regel besteht [6]. In diesem Aufsatz konzentrieren wir uns auf die volkswirtschaftlichen Aspekte des Projektes – und haben durchaus überraschende Resultate zu bieten.

Modellierungsgrundlagen

Eisenbahnbetriebliche Modellierung

Die Fahrplanberechnung beruht auf dem makroskopischen Infrastrukturmodell OPTRA [1]; [6]. Als Infrastrukturelemente gibt es Knoten und (gerichtete) Kanten, wobei sich die Knoten nach Stationen und Pseudoknoten untergliedern. Es wird mit diskreter Zeit, standardmäßig mit 1 min-Auflösung, gerechnet. Schematisierte Zugtypen definieren die Fahrzeiten auf jeder Kante. Auf

den Kanten müssen Zugfolgezeiten eingehalten werden, die Mindestabstände der Einfahrzeiten definieren. Wenn ein Zug eine Station in der entgegengesetzten Richtung wieder verlässt, muss zudem eine Wendezeit berücksichtigt werden. Die Kapazität einer Station wird über die Zahl der Züge definiert, die dort gleichzeitig bedient werden können. Dies alles wird nach Zugtypen und weiteren Eigenschaften unterschieden. In Pseudoknoten kann kein Zug halten oder wenden, sie dienen lediglich als Verknüpfungspunkte für Kanten.

Ein konkreter Zuglauf wird als Pfad durch den zeitexpandierten Graphen des makroskopischen Infrastrukturmodells dargestellt. Er enthält die Zeiten, zu denen der Zug die benötigten Infrastrukturelemente belegt bzw. freigibt. Ein fahrbarer Fahrplan entspricht einer konfliktfreien Pfadmenge, also einer Pfadmenge, welche die genannten Restriktionen einhält.

Ökonomische Nachfragemodellierung und der Begriff der Effizienz

Um die ökonomische Effizienz eines Trassenzu- teilungsverfahrens bewerten zu können, muss der hinter einem Trassenwunsch stehende ökonomische Nutzen der Eisenbahnverkehrs- unternehmen (EVU) dargestellt werden. Dies wird durch Slotrequests realisiert. Ein Slotrequest spezifiziert einen Trassenwunsch zeitlich und räumlich und verknüpft ihn mit einer Gebotshöhe, dem Basiswert. Zur räumlichen Spezifikation werden die gewünschten Halte angegeben, zur zeitlichen Spezifikation die bevorzugten Ankunfts- und Abfahrzeiten. Die genaue Streckenführung wird nicht festgelegt. Die Zeitspezifikation erlaubt die Angabe eines bevorzugten Zeitpunktes, eines zulässigen Zeitintervalls sowie eines linearen Abschlages von der Gebotshöhe für die Abweichung vom optimalen Zeitpunkt innerhalb des zulässigen Intervalls [7].

Um das Modell einfach zu halten, sehen wir von Abhängigkeiten zwischen Trassennachfragen (z. B. für Taktverkehre oder Zugumläufe) ab. Zumindest für den Güterganzzugverkehr sollte dies

zulässig sein, so dass wir im Folgenden Güterzüge betrachten.

Der Wert eines Fahrplans ist die Summe der Einzelnutzen der realisierten Slotrequests. Die Allokationseffizienz eines Fahrplans ist für ein konkretes Nachfrageszenario definiert als Quotient aus (i) dem volkswirtschaftlichen Nutzen der realisierten Allokation und (ii) dem volkswirtschaftlichen Nutzen der optimalen Allokation auf Grundlage der privaten Wertschätzungen der EVUs („Benchmark-Allokation“). Maximalwert der Allokationseffizienz ist 1.

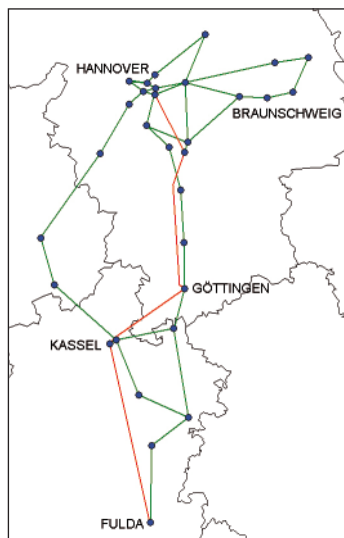


Abb. 1: HaKaFu-Netz, Abbildung mit Travis, ZIB

Das Effizienzpotenzial

Dass ein Listenpreisverfahren zu Ineffizienzen führt, ist in der Literatur bekannt. Wir wollen eine Abschätzung der Größenordnung dieser Ineffizienzen durchführen. Dazu untersuchen wir ein einfaches, auf einem einheitlichen Kilometerentgelt beruhendes Listenpreisverfahren. Dies entspricht idealisierend den Trassenpreissystemen in den meisten Ländern (allerdings unterscheiden wir nicht Kilometerpreise für verschiedene Zugtypen). In unseren Simulationsrechnungen wählen wir denjenigen Kilometerpreis, bei dem der Wert der Listenpreis-Allokation maximal wird. Um die Effizienz dieser Allokation zu berechnen, müssen wir zudem die Benchmark-Allokation bestimmen.

Unsere Methodik beruht auf folgenden Elementen (siehe [5]):

- Das makroskopische Netz „HaKaFu“ (Abbildung 1), welches das Schienennetz der Region Hannover–Kassel–Fulda umfasst (erstellt vom Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb der TU Berlin sowie dem IVE Braunschweig).
- Die Optimierungssoftware TS-OPT (entwickelt vom Konrad-Zuse-Institut), die vollautomatisch einen Fahrplan berechnen kann, der die Gesamtsumme der den Trassenanmeldungen (Slotrequests) zugewiesenen Werte maximiert. Diese Werte sind
 - die km-basierten Listenpreise für das Listenpreisverfahren,
 - die privaten Wertschätzungen für das Optimum (Benchmark).
- Eine nach Gütergruppen gegliederte Verkehrsmatrix für den Güterverkehr, der im Untersuchungsgebiet seinen Ursprung oder seine Be-

stimmung hat oder es passiert.

- Ein Verkehrsmodell, das aus der Verkehrsmatrix sowie diversen eisenbahntechnischen Daten stochastisch Slotrequests generiert.
- Ein stochastisches Modell für die privaten Wertschätzungen der Slotrequests.

Nachfrage- und Verkehrsmodell

Die Online-Datenbank des Statistischen Bundesamtes, GENESIS, enthält Daten über Transportmengen für den Schienengüterverkehr, die nach sog. Güterhauptgruppen gegliedert sind. Eisenbahnverkehrliches Spezialwissen¹ erlaubte es, einerseits den Güterströmen Transportkorridore durch das Untersuchungsgebiet „HaKaFu“ zuzuordnen sowie aus den Tonnenkilometerangaben ungefähre Zugzahlen, unter Berücksichtigung notwendiger Leerfahrten, zu erhalten. Die Zugzahlen konnten mit Expertenwissen validiert werden. Um die Rechenzeit zu beschränken, wurden sie auf ein Zeitfenster von 1 h herunter gebrochen. Die konkreten Slotrequests wurden stochastisch als Poisson-Prozess modelliert. Der Intensitätsparameter des Poisson-Prozesses wurde mit einem multiplikativen Skalierungsfaktor versehen und so gewählt, dass wir in Simulationen mit einem Skalierungsfaktor von 1 Trassenbelegungen erhalten, die ungefähr den im Verkehrsmodell ermittelten Zugzahlen entsprechen. Die zeitliche Flexibilität der Trassenbestellungen wurde einheitlich auf ± 5 Minuten gesetzt.

Um die Zahlungsbereitschaften der EVU abzuschätzen, sind wir wie folgt vorgegangen: Nach Aussagen von Marktteilnehmern liegen die erzielten Margen im Schienengüterverkehr zwischen 2 % und 6 %, der Kostenanteil der Trassen liegt bei 25 %. Da die maximalen Zahlungsbereitschaften bei dem Wert liegen, der die Marge auf 0 % drücken würde, können wir auf Zahlungsbereitschaften schließen, die zwischen 8 % und 24 % über den aktuellen Listenpreisen liegen. Wir nehmen an, dass die Zahlungsbereitschaften normalverteilt sind. Für die Schätzung der Varianz setzen wir an, dass 80 % der Werte im genannten Intervall zwischen 8 % und 24 % liegen.

Simulationsrechnungen

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Simulationsrechnungen. Da für jeden Skalierungsfaktor mehrere Simulationen (jeweils auf Basis unterschiedlicher Realisationen der stochastischen Slotrequests) durchgeführt wurden, geben wir jeweils die Minimal-, Mittel- und Maximalwerte an. Die zweite Spalte zeigt die Zahl der Trassenbestellungen, die dritte Spalte die Zahl der zugeteilten Trassen. Die Effizienz wird in der vierten Spalte angegeben. Das berechnete Effizienzpotenzial – also die Differenz zwischen der erreichten Effizienz und dem Wert 1 – liegt zwischen 0 und 10 %. Es erhöht sich mit steigender Nachfrage.

Folgende Überschlagsrechnung soll eine Vorstellung von der Größenordnung vermitteln: Im Jahr 2009 wurden Güterverkehrstrassen im Wert

Skalierungsfaktor	Anzahl Trassenbestellungen (min - mittel - max)	Anzahl realisierbare Züge	Effizienz
0.8	14 - 19.2 - 26	9 - 12.2 - 14	1.000 - 0.991 - 0.955
1	17 - 24.3 - 29	13 - 15.5 - 17	1.000 - 0.990 - 0.968
1.5	28 - 37.6 - 45	18 - 20.5 - 28	1.000 - 0.961 - 0.912
2	34 - 48.3 - 63	18 - 24.8 - 34	0.998 - 0.970 - 0.933
2.5	44 - 60 - 72	31 - 30.3 - 44	1.000 - 0.965 - 0.841
4	68 - 86.6 - 105	38 - 38.7 - 68	0.970 - 0.934 - 0.905
6	121 - 138.3 - 152	45 - 48.6 - 121	0.950 - 0.911 - 0.877

Tab. 1: Zusammenhang zwischen Nachfrage (SGV, HaKaFu, 1 h), Zuteilungen und Effizienz eines herkömmlichen Listenpreisverfahrens

von ca. 600 Mio. EUR verkauft.² Setzt man den Mittelwert der Marge (16%) an und berücksichtigt entsprechend den Wachstumsprognosen für den Güterverkehr einen Skalierungsfaktor von 1,5, so ergibt sich ein Effizienzpotenzial im Wert von ca. 40 Mio. EUR.

Dies wäre eine untere Abschätzung des volkswirtschaftlichen Gewinns, den man zukünftig erhalten könnte, wenn man allein die Güterverkehrsstrassen nicht nach einem kilometer-basierten Listenpreissystem, sondern mit einer Auktion zuteilen würde.

Allerdings würden beide Allokationsverfahren in der Praxis nicht so perfekt funktionieren wie in den Simulationen.

Token-basierte Preissysteme

Die Preisfindung des oben beschriebenen Listenpreisverfahrens beruht auf der Länge einer Trasse. Es ist naheliegend, ein reformiertes Listenpreissystem zu entwickeln, in dem die Preisdifferenzierung den Knappheitsverhältnissen angepasst wird. Ziel ist es, durch geeignete Preisfindung eine möglichst effiziente Trassenvermarktung zu erzielen.

Infrastrukturkapazität als ökonomisches Gut

Als „Token“ bezeichnen wir ein Belegungsrecht für ein bestimmtes Infrastrukturelement (Station oder Gleisabschnitt) während einer bestimmten Zeitspanne. Wir bestimmen Preise für einzelne Token. Für die Dauer einer sog. „Zeitscheibe“ sind die Minutenpreise konstant; die Zeitscheibengröße ist ein freier Parameter.

Jede konkrete Trasse besteht aus einer Sammlung von Token, die „im Paket“ gekauft werden. Der Trassenpreis entspricht der Summe der Preise der benötigten Token.

Die zu bezahlende Belegungsdauer in einer Station entspricht der Verweildauer des Zuges in der Station. Für Kantenbelegungen liegen die Dinge komplizierter, da die Zugfolgezeit – d.h. die effektive Belegungszeit – von den Eigenschaften (Zugtyp und Fahrdynamik) sowohl des vorausfahrenden als auch des nachfolgenden Zuges abhängt. Naheliegend ist es, die für die Zahlung relevante Belegungsdauer mit einer (eventuell geeignet gewichteten) Durchschnittsbildung über alle möglichen Profile nachfolgender Züge zu bestimmen.

Wir präsentieren Rechnungen mit nur einem Zugtyp. Zudem sehen wir von zeitlichen oder räumlichen Variationsmöglichkeiten von Trassen ab, so dass jeder Slotrequest nur durch einen einzigen Optra-Pfad implementiert werden kann.

Effizienz token-basierter Allokationen

Die optimale preisgestützte Allokation und die optimalen Tokenpreise $price(T)$ ergeben sich aus dem folgenden linearen Programm. Dabei steht p für verschiedene Optra-Pfade bzw. Trassen (also hier Züge). Q sei die Menge aller nachgefragten Trassen. Die Indikatorfunktion $X(p)$ gibt an, ob Trasse p zugeteilt wird (1) oder nicht (0). Die Zahlungsbereitschaft für die Trasse wird mit $pathvalue(p)$ bezeichnet, so dass in der ersten Zeile die Summe der Zahlungsbereitschaft

Optimierte Listenpreise für die zeitlich definierte Belegung von Infrastrukturelementen (Token)

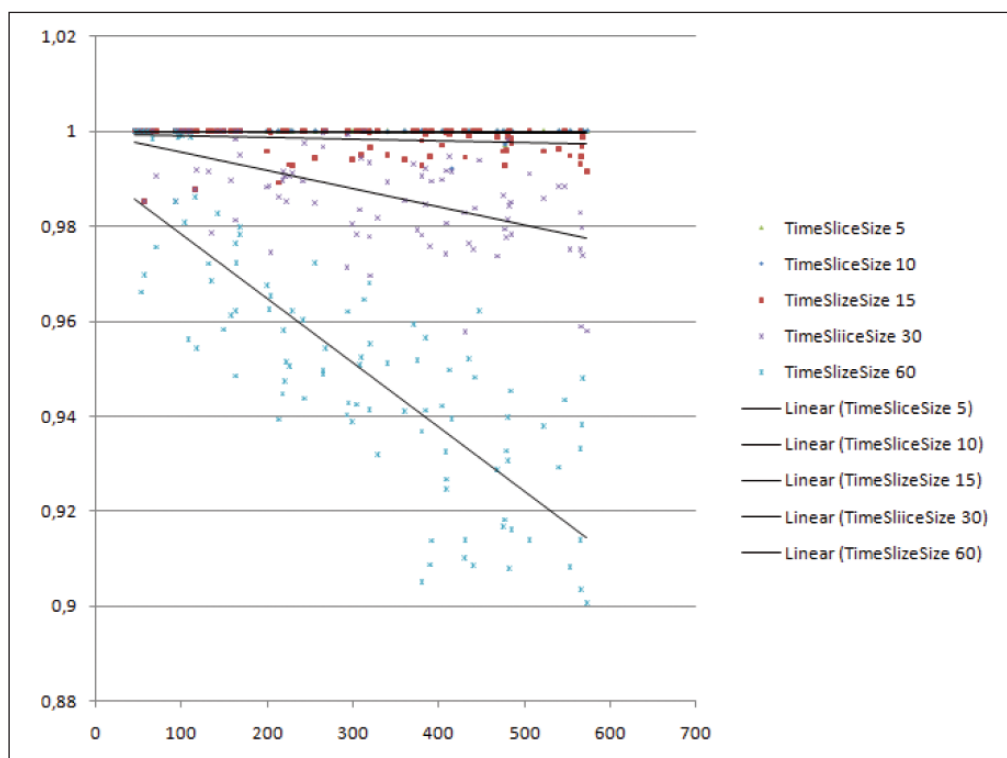


Abb. 2: Effizienz der token-basierten Allokation in Abhängigkeit von der Zuganzahl, für Zeitscheiben von 5, 10, 15, 30, 60 Minuten

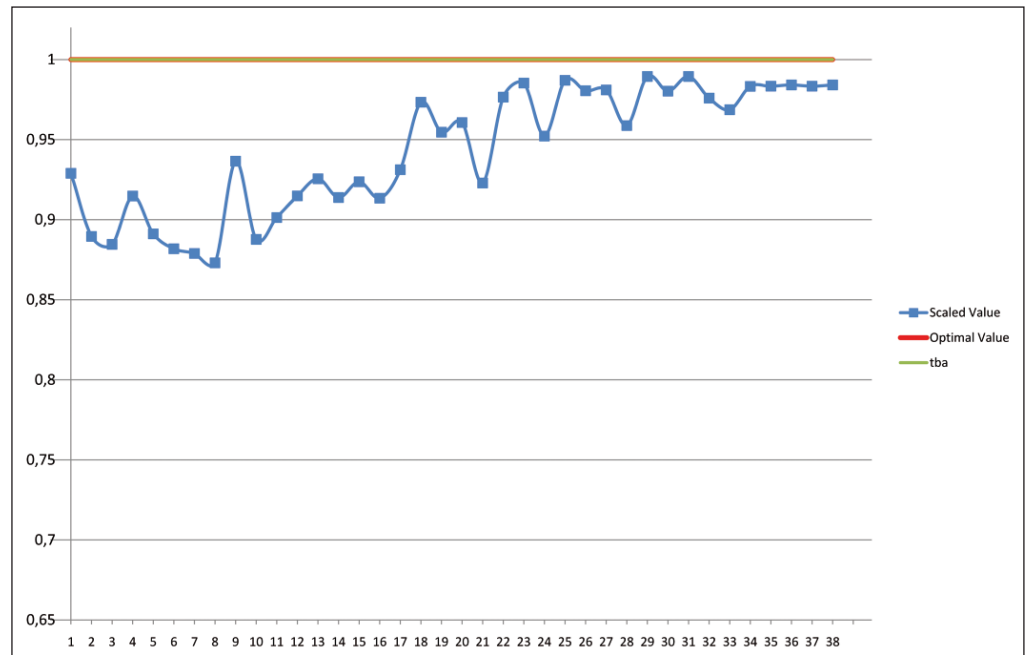


Abb. 3: Effizienz im Tâtonnementprozess

ten der zugeteilten Züge maximiert wird. Die erste Nebenbedingung stellt schematisch die Konfliktfreiheit des Fahrplans im Optra-Modell dar. Hinter ihr verbirgt sich ein Satz linearer Nebenbedingungen für die Knoten- und Kantenrestriktionen.

$$\begin{aligned} \max_{\chi, price(T)} \quad & \sum_{p \in Q} \chi(p) \text{pathvalue}(p) \\ \text{feas} \quad & (\{p \in Q : \chi(p) = 1\}) \\ \chi(p) = 1 \quad & \text{price}(p) \leq \text{pathvalue}(p) \\ \chi(p) = 0 \quad & \text{price}(p) \geq \text{pathvalue}(p) \\ \chi(p) \in \quad & \{0,1\} \end{aligned}$$

Der Preis einer Trasse $price(p)$ entspricht der Summe der Preise der benötigten Token. Die beiden Preisgleichgewichtsbedingungen besagen, dass die Preise für akzeptierte Slotrequests die private Zahlungsbereitschaft nicht übersteigen dürfen, während abgelehnte Slotrequests preislich unattraktiv sind, d. h. ihr Preis liegt oberhalb der Zahlungsbereitschaft.

Das Maximum wird über alle möglichen Pfadvergaben und alle möglichen Tokenpreise bestimmt, d. h. als Ergebnis der Maximierung ergibt sich eine preisgestützte Allokation zusammen mit den sie stützenden Tokenpreisen.

Abbildung 2 zeigt die Simulationsergebnisse. Wird die Zeitscheibengröße auf höchstens 15 Minuten gesetzt, liegen die Effizienzwerte oberhalb von 99 %.

Preiserkundung durch Tâtonnement

Damit wurde gezeigt, dass bei richtiger Preissetzung der Token fast effiziente Allokationen erzielt werden können. Wie können diese Preise aber gefunden werden, wo doch die privaten Zahlungsbereitschaften unbekannt sind? Klassi-

scherweise wird eine solche Preisfindung durch einen Tâtonnementprozess beschrieben. Dabei handelt es sich um einen iterativen Prozess, bei dem Preiserhöhungen für übernachgefragte und Preissenkungen für unternachgefragte Güter stattfinden. Der Prozess endet, wenn alle Bestellungen angenommen werden. Wir haben einen solchen Prozess durch eine Simulation nachvollzogen.

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Effizienz während des Iterationsverfahrens. Nach ca. 20 Iterationen liegt die Effizienz über 95 %.

Schließlich haben wir untersucht, wie sich die Einführung eines zweiten Zugtyps in das Szenario auswirkt. Erwartungsgemäß verringert sich die Effizienz, wenn die Heterogenität der Fahreigenschaften der Züge zunimmt, jedoch blieb sie stets über 95 %.

Auktionen oder token-basiertes Listenpreissystem als geeignete Form der Trassenallokation?

Eine kombinatorische Auktion besticht durch Stringenz und Perfektionismus. Ungewöhnlich ist an ihr jedoch, dass eine kombinatorische Optimierung über die Grenzen konkurrierender Firmen hinweg stattfindet. Sonst wird die kombinatorische Optimierung meistens zur Optimierung firmeninterner Abläufe oder in einer Planwirtschaft eingesetzt.³ Beiden Situationen ist gemein, dass keine Interessenkonflikte zu lösen sind und dass die Modellentwicklung, also die Festsetzung der Nebenbedingungen und Zielfunktionen, intern stattfindet.

Fraglich ist daher, ob eine kombinatorische Auktion den Anforderungen eines Trassenmarkts

Simulationsrechnungen weisen auf geringe Effizienzverluste bei token-basierten Preissystemen hin.

gerecht wird. Die Kernkompetenz der EVU besteht in der Akquisition von Transportaufträgen sowie der Disposition von rollendem Material und Personal. Dabei sollte ihr Markt für Input-Güter, also insbesondere für Trassen, stabil und berechenbar sein. Eine kombinatorische Optimierung führt jedoch zu unkalkulierbaren Wechselwirkungen zwischen den Trassennachfragen. Hinsichtlich der Funktion von Preisen als Signale für die Nachfrager über die Marktbedingungen für Trassen sind die Preissignale, die eine kombinatorische Optimierung erzeugt, weitgehend nutzlos, weil instabil und schwer interpretierbar. Nach der Transaktionskostentheorie organisieren sich Firmen so, dass sie komplexe Transaktionen firmenintern halten und einfache über Märkte auslagern. Dies bedeutet umgekehrt: Wenn die Interaktion zwischen Infrastruktur und Transport als Markt zwischen verschiedenen Unternehmen gestaltet werden soll, dann muss der Trassenmarkt einfach und berechenbar gestaltet werden.

Ein neuartiges, differenziertes Listenpreisverfahren für Token erfüllt diese Voraussetzung. Die relativ schwierige Aufgabe, richtige Knappheitspreise für die Token zu bestimmen, wird dem Infrastrukturunternehmen (und dem Regulierer) überlassen. Hingegen ist die Interaktion mit den EVU einfach. Sie können sich über den Preis einer gewünschten Trasse idealerweise am Internet erkundigen, indem der Infrastrukturbetreiber entsprechende Software bereitstellt. Die vorgenommenen Simulationsrechnungen weisen zudem darauf hin, dass der volkswirtschaftliche Effizienzverlust vertretbar gering gehalten werden kann.

Ein Trassenmarkt sollte ferner – ähnlich wie die Strommärkte – Möglichkeiten der längerfristigen Bindung, der Last-Minute-Bestellungen und des Wiederverkaufs bieten. Dabei sollte der Sekundärmarkt vorzugsweise über den Infrastrukturbetreiber organisiert werden, indem er Trassen zu vorgegebenen Bedingungen zurücknimmt und erneut verkauft. Eine kombinatorische Auktion wäre schwer mit einem Sekundärmarkt sowie einer kurzfristigen Trassenvergabe zu vereinen, da sie darauf beruht, dass sich die Trassenpreise in großen, umfassenden Verkaufsveranstaltungen jeweils aktuell am Markt bilden. Auch hier wäre ein token-basiertes Listenpreisverfahren aufgrund der relativen Stabilität der Preise im Vorteil.

Welcher Platz bleibt für Auktionen im Trassenmarkt? Derzeit existiert noch (allerdings eher theoretisch) das sog. Höchstpreisverfahren (EIBV § 9 Abs. 6). Dies ist gleichbedeutend mit der Versteigerung eines isolierten Tokens. Ein Gewinner kann nicht sicher sein, ob er auch die anderen für eine Trasse benötigten Fahrtrechte erhält. Dieses Verfahren ist daher nicht hilfreich [4].

Über den selektiven Einsatz von (nicht kombinatorischen) Auktionen auf bestimmten Strecken,

die regelmäßig überlastet sind, könnte nachgedacht werden. Es sollten dann ganze Trassen versteigert werden, die im Jahresfahrplan bereits vorkonstruiert wurden, z. B. Güterverkehrsstrassen im Nachtsprung auf der Rheinschiene. Allerdings sollte auch hier zunächst das einfachere Instrument der Knappheitslistenpreise geprüft werden. Vermutlich wird eine Auktion erst dann besser abschneiden, wenn für eine größere Menge relativ homogener Trassen die Knappheit deutlich zunimmt. ■

- 1 Dank an Martin Balsler, TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb.
- 2 Nach Geschäftsbericht DB Netz, 2009, wurden Trassen im Wert von ca. 4 Mrd. EUR verkauft, davon entfielen ca. 15 % auf den Güterverkehr.
- 3 Die Originalarbeit von Kantorovich zur linearen Programmierung (Kantorovich 1960) behandelt ein Produktionsproblem für eine Holzwerkstofffabrik [3]. In seiner Rede anlässlich der Nobelpreisverleihung 1975 betont er ausdrücklich die Bedeutung der zentralen Kontrolle der Ökonomie.

LITERATUR

- [1] BORNDÖRFER, R.; SCHLECHTE, T. 2007: Models for Railway Track Allocation. Conference Proceedings of 7th Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, 2007.
- [2] BORNDÖRFER, R.; SCHLECHTE, T.; WEIDER, S. 2010: Railway Track Allocation by Rapid Branching. Conference Proceedings of 10th Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, 2010.
- [3] KANTOROVICH, L. V. 1960: Mathematical Methods of Organizing and Planning Production. Management Science, Vol. 6, 1960, S. 366-422.
- [4] MITUSCH, K.; TANNER, A. 2007: Trassenzuteilung und Konfliktlösung nach neuer EIBV – Anmerkungen aus volkswirtschaftlicher Sicht. In M. Ronellenfitsch und R. Schweinsberg, Herausgeber: Aktuelle Probleme des Eisenbahnrechts XII, Vorträge im Rahmen der Tagung am 6.-7. September 2006 in Tübingen. Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 2007, S. 169-197.
- [5] SCHLECHTE, T.; TANNER, A. 2010: Railway capacity auctions with dual prices. Selected Conference Proceedings of 12th World Conference on Transport Research, 2010.
- [6] SIEGMANN, J.; BALSER M.; GILLE, A. 2011: Trassenplanung auf Basis abstrahierter Infrastrukturdaten. EI – Der Eisenbahningenieur, 62 (2011) 5.
- [7] NILSSON, J. 2002: Towards a welfare enhancing process to manage railway infrastructure access. Transportation Research Part A 36 (5), 2002, S. 419 – 436.



Andreas Tanner, Dr.
IVU Traffic Technologies AG
andreas.tanner@ivu.de



Kay Mitusch, Prof.
Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW), Leiter Fachgebiet
Netzwerkökonomie
mitusch@kit.edu