

# Konnektivität im Schienennetz der Deutschen Bahn

Matthias Möller und Verena Kuschke

## Zusammenfassung

Schnelle, direkte Bahnverbindungen sind ein Zeichen eines ökonomisch funktionierenden, modernen Staates. Deutschland hat ein dichtes und sehr gut ausgebautes Streckennetz im weltweiten Vergleich. Die Frage ist nun, wie die Konnektivität in diesem Netzwerk bewertet werden kann. Dafür werden anhand von zehn ausgewählten Bahnhöfen vier verschiedene Indizes angewandt und das Resultat wird bezogen auf seine Aussagekraft hin bewertet. Der Konnektivitätsindex wird ausgewählt und auf die 106 wichtigsten Bahnhöfe in Deutschland angewandt. Das Ergebnis der Studie ist eine kartographische Visualisierung dieser Bahnhöfe entsprechend ihrer Konnektivität.

## Summary

*Fast and direct train connections are a reliable measure for a wealthy economy of a modern state. The railway network in Germany is one of the most densest in the world. Connectivity in a railway network is the key question of this article. How can it be measured and what is the most reliable measure for connectivity? Ten major stations in Germany have been selected first for a test of four connectivity indices. The connectivity index has been selected for a second, more extensive study. For this study, the 106 most important stations have been checked regarding their connectivity. Finally the result of this comparison is illustrated and presented based on a map.*

**Schlüsselwörter:** Konnektivität, Netzwerkanalyse, Schienennetz, Erreichbarkeit, Deutsche Bahn

## 1 Einleitung

Die Bahn transportiert Menschen und Güter zwischen Orten und verbindet diese durch das Schienennetz. Sie ist ein zuverlässiges Verkehrs- und Transportmittel und sie arbeitet, verglichen mit dem individuellen Personentransport, deutlich effizienter über größere Distanzen bezogen auf den Energieverbrauch pro Personenkilometer (PKW 0,56 kWh, Bahn 0,19 kWh vgl. UBA). Im Vergleich zu einem PKW-Fahrer kann sich der Fahrgast in der Bahn entspannen, er kann arbeiten und sich auf Termine nach der Ankunft am Ziel vorbereiten. Während eine Fahrt mit dem PKW bequem vom Startpunkt bis zum Endziel der Reise durchgängig ist, ist eine Fahrt mit der Bahn immer an den Verlauf des Schienennetzes gebunden. Dieses hat fixe Punkte, Bahnhöfe, als Knoten im Netzwerk, was zu Einschränkungen bei der Reise führt. So ist der Startpunkt der Reise (fast) nie ein Bahnhof und das Endziel kann oft nicht direkt erreicht werden. Zwei weitere Anschlussfahrten, zum Startbahnhof und vom Endbahnhof

bis zum eigentlichen Ziel, sind hierfür notwendig. Liegt der Endbahnhof abseits vom Hauptstreckennetz, dann müssen auch Zugwechsel, also ggf. ein mehrfaches Umsteigen, eingeplant werden. Dies ist für den Fahrgast der Bahn immer mit einem gewissen Aufwand und Verlust an Komfort verbunden.

Damit die Reisezeit mit der Bahn im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln konkurrenzfähig ist, muss die Bahn schnell und möglichst direkt fahren, das Umsteigen auf einer Fahrt sollte minimiert werden. Es ist daher wichtig, dass Bahnhöfe direkte Verbindungen haben, sodass viele Reisende bequem und schnell vom Startbahnhof zum Zielbahnhof gelangen ohne umzusteigen.

Deutschland verfügt über ein gut ausgebautes Schienennetz von ca. 42.000 km Länge (CIA), das der dichten Besiedelung bei relativ kleiner Flächengröße absolut gerecht wird. Damit liegt das Land bezogen auf die Länge des Schienennetzes auf einem sehr guten Rang 6 im internationalen Vergleich, nimmt man die Fläche als Vergleichsmaß, liegt Deutschland beispielsweise auf Platz 63.

Neben den Bahntrassen der ersten Generation wurde in den 1970er Jahren mit Planung und Bau komplett neuer Gleistrassen für einen sehr viel schnelleren Personenverkehr mit neuen ICE-Zügen begonnen. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie weitgehend geradlinig verlaufen und daher in den deutschen Mittelgebirgen oft durch Tunnel führen. So können ICE-Züge relativ lange Distanzen mit Geschwindigkeiten von bis zu 300 km/h direkt und ohne Halt zurücklegen und damit die Reisezeit deutlich verkürzen.

## 2 Untersuchungsgegenstand und Fragestellungen

Insgesamt 5.400 Bahnhöfe werden in Deutschland über das sehr gut ausgebaute Streckennetz bedient (DB Station & Service AG). Dies entspricht einer Dichte von einem Bahnhof pro 66 km<sup>2</sup> Fläche; damit liegt jeder Ort Deutschlands im Durchschnitt ca. 5,75 km vom nächsten Bahnhof entfernt. Fahrgäste können also ihre Fahrt mit der Bahn nah am eigentlichen Start ihrer Reise beginnen. Alle Bahnhöfe sind mit einem unterschiedlichen Grad an Konnektivität ausgestattet, dabei stellen sich diese wesentlichen Fragen:

1. Wie sind ausgewählte Bahnstationen in Deutschland in das Schienennetz eingebunden?
2. Wie weit liegen diese Bahnhöfe auseinander (Streckenlänge vs. Fahrzeit)?
3. Wie direkt ist die Verbindung mit der Bahn, d.h. wie ist das Verhältnis der Entfernung der Luftlinie zur Schienenstrecke?

4. Wie lange benötigt ein Fahrgast, wenn er zwischen Städten reist?
5. Wie wirkt sich das (ggf. mehrfache) Umsteigen dann aus, wenn keine Direktverbindung vorhanden ist?

Diesen Fragen soll in der hier vorgestellten Studie im Sinne einer Netzwerkanalyse nachgegangen werden. Die Netzwerkanalyse beruht auf fünf Kriterien (nach Marr (b)):

1. Platzierung: Wo ist ein Knoten innerhalb des Netzwerks gelegen?
2. Direkte und indirekte Verbindungen: Sind Knoten direkt miteinander verbunden und/oder über weitere Knoten miteinander verbunden?
3. Schwächung: Unterschiede zwischen direkten und indirekten Verbindungen sollen betrachtet werden.
4. Redundanz: Dies meint, dass der Einfluss redundanter Verbindungen gering gehalten werden sollte.
5. Ungleiche Verbindungen: Verbindungen sollten gewichtet und gewertet werden.

Die Konnektivität in dieser Studie ist das Maß der Verbindung ausgewählter Bahnhöfe in größeren Städten, sie soll mit verschiedenen Methoden der angewandten Geoinformation und Statistik mit Hilfe eines GIS (Geoinformationssystem, vgl. Bill 2010) analysiert werden. Bewusst wurden für die Untersuchung einerseits die Hauptbahnhöfe in Städten in Randlagen Deutschlands ausgewählt, ebenso wie Hauptbahnhöfe in Städten, die zentral und in der geographischen Mitte Deutschlands liegen und/oder als Knotenpunkte des Personenbahnverkehrs dienen. Alle Bahnhöfe sind in dem Netzwerk direkt miteinander verbunden oder können über (wenige) Umstiege erreicht werden. Es handelt sich um Großstädte (nach der Einwohnerzahl > 100.000 Ew.) bis auf Zwickau und Cottbus, die mit 91.251 bzw. 99.944 Einwohnern als Mittelstädte zählen. Die Einwohner der Städte: Berlin (3,335 Mio.), Bielefeld (0,327 Mio.), Darmstadt (0,146 Mio.), Dresden (0,525 Mio.), Frankfurt (0,682 Mio.), Hannover (0,511 Mio.), Leipzig (0,520 Mio.), Osnabrück (0,155 Mio.) (Stichtag 31.12.2012, vgl. Genesis).

### 3 Konnektivität

»Connectivity is the relative degree of connectedness within a transportation network« (nach Marr (a)). Die Konnektivität ist ein Maß für die Einbindung von Knoten in ein Netzwerk. Knoten mit vielen Verbindungen werden als hoch konnektiv bezeichnet, Knoten in einer Randlage des Netzwerks, die nur wenige Verbindungen zu weiteren Knoten haben, gelten als isoliert. Die Konnektivität kann mit vier verschiedenen Indizes gemessen und bewertet werden, wenn das Netzwerk und die Lage der Knoten bekannt sind:

- mit dem Konnektivitätsindex,
- mit dem Shimmel-Index,

- mit einer gewichteten Graphenanalyse und
- mit dem Circuitry-Index.

Konnektivitätsindex und Shimmel-Index sind sich ähnlich, beide geben eine Vergleichszahl und eine Reihenfolge der betrachteten Verbindungspunkte im Netzwerk an. Der Konnektivitätsindex misst alle Umstiege auf allen Strecken, der Shimmel-Index die Anzahl der Umstiege auf der kürzesten Strecke. Mit Hilfe einer gewichteten Graphenanalyse wird die Konnektivität anhand der reinen Fahrzeiten bewertet. Der Circuitry-Index ist ein Maß für die räumliche Distanz, er stellt eine Relation der Entfernung zwischen der Orthodrome und der tatsächlichen Distanz her.

Ein erstes, vergleichsweise einfaches Maß für Konnektivität ist die reine Anzahl der Direktverbindungen, die von einem Bahnhof ausgehen. Am Beispiel der Bahnhöfe von Berlin, Frankfurt und Bielefeld kann dies deutlich gemacht werden. So weist Berlin 104 Direktverbindungen auf, davon 16 ins Ausland; Berlin ist also eine Stadt mit einer hohen Reichweite und Konnektivität (vgl. DB Reiseauskunft). Frankfurt hat mit 105 die meisten Direktverbindungen, aber nur neun davon führen ins Ausland. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass nahe bei Frankfurt auch die Großstadtbahnhöfe Mainz und Wiesbaden liegen und dass Frankfurt mit dem Großflughafen das Drehkreuz der alten Bundesrepublik darstellt. Mit 33 Direktverbindungen weist Bielefeld eine vergleichsweise geringere Zahl auf; obendrein führt keine dieser Direktverbindungen ins Ausland.

#### 3.1 Untersuchung verschiedener Indizes

Die oben genannten vier Indizes sollen nun auf die zehn ausgewählten Bahnhöfe angewandt und deren jeweilige Aussagekraft objektiv beurteilt werden.

##### 3.1.1 Konnektivitätsindex

Der Konnektivitätsindex ist ein Maß der Erreichbarkeit von Knoten in einem Netzwerk, Entfernungen und/oder Fahrzeiten werden dabei nicht berücksichtigt. Einziges Kriterium ist die Anzahl des Umsteigens vom Startbahnhof zum Zielbahnhof. Die Verbindungen werden in einer Matrix aufgetragen (Tab. 1), der Wert (1) steht für eine direkte Verbindung, (0) für einmaliges Umsteigen; daraus resultiert Grundmatrix  $M^1$ .

Diese Grundmatrix wird nun in einem zweiten Schritt spaltenweise mit sich selbst multipliziert (Matrizenmultiplikation); für das Beispiel Berlin-Zwickau ergibt sich also beispielsweise diese Berechnung:

$$0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 2.$$

Das Ergebnis ist in Matrix  $M^2$  zu sehen (Tab. 2); es sind nun für alle Verbindungen die Anzahl der Reisemöglichkeiten über zwei Kanten angegeben (Marr (a)).

Tab. 1: Grundmatrix  $M^1$  mit Direktverbindungen

	Berlin	Bielefeld	Cottbus	Darmstadt	Dresden	Frankfurt	Hannover	Leipzig	Osnabrück	Zwickau	Summe
Berlin	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
Bielefeld	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	6
Cottbus	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4
Darmstadt	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
Dresden	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	7
Frankfurt	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	7
Hannover	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	8
Leipzig	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	7
Osnabrück	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
Zwickau	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2

Tab. 2: Multiplizierte Matrix  $M^1 \cdot M^1 = M^2$

	Berlin	Bielefeld	Cottbus	Darmstadt	Dresden	Frankfurt	Hannover	Leipzig	Osnabrück	Zwickau	Summe
Berlin	8	5	3	2	5	6	7	5	3	2	46
Bielefeld	5	6	4	3	4	5	5	4	3	2	41
Cottbus	3	4	4	2	3	4	3	3	2	2	30
Darmstadt	2	3	2	3	3	2	2	3	3	0	23
Dresden	5	4	3	3	7	4	5	6	4	1	42
Frankfurt	7	6	4	3	5	7	7	5	4	2	50
Hannover	8	6	4	3	6	7	8	6	4	2	54
Leipzig	6	5	4	3	7	5	6	7	4	2	49
Osnabrück	4	4	2	3	4	4	4	4	4	0	33
Zwickau	2	2	2	0	2	2	2	2	0	2	16

Tab. 3: Rangfolge der indizierten Konnektivität der Bahnhöfe

Stadt	$M^{1+2+3}$	Index/Rang
Berlin	2174	1,00
Hannover	2174	1,00
Frankfurt	1994	0,92
Dresden	1942	0,89
Leipzig	1942	0,89
Bielefeld	1856	0,85
Cottbus	1326	0,61
Osnabrück	1318	0,61
Darmstadt	1022	0,47
Zwickau	624	0,29

Aus Tab. 1 ist ersichtlich, dass eine Bahnfahrt von Berlin nach Zwickau nicht ohne Umsteigen möglich ist. Zwei Möglichkeiten mit einmaligem Umsteigen kommen für diese Reise in Betracht, dabei handelt es sich um die Verbindungen: (1) Berlin–Dresden–Zwickau und (2) Berlin–Cottbus–Zwickau. Durch Addition von  $M^1$  mit  $M^2$  ergibt sich die Matrix, die jeweils die Anzahl aller Verbindungen über eine oder zwei Kanten enthält ( $M^{1+2}$ , vgl. Marr(a)).

Zur Ermittlung weiterer Verbindungen wird nun  $M^{1+2}$  mit  $M^2$  multipliziert, das Ergebnis ist  $M^3$ . Diese Matrix gibt die Anzahl der möglichen Verbindungen über drei Kanten an. Zu Matrix  $M^3$  wird nun  $M^{1+2}$  aufaddiert, das Ergebnis ist Matrix  $M^{1+2+3}$ , in der alle Verbindungen enthalten sind. In  $M^{1+2+3}$  sind alle 0-Werte eliminiert, die Summe jeder Zeile ist ein direktes Maß für die Konnektivität eines Bahnhofs (Knoten) im Netzwerk. In Tab. 3 sind alle Bahnhöfe geordnet und normiert von 0 bis 1 aufgelistet; diese Werte stellen den Konnektivitätsindex dar. Man erkennt, dass in dem Netzwerk von zehn Bahnhöfen die Städte Berlin und Hannover die höchste Konnektivität aufweisen, Zwickau ist aufgrund seiner isolierten Randlage vergleichsweise schwer zu erreichen.

### 3.1.2 Shimmel-Index

Der Shimmel-Index arbeitet ähnlich dem Konnektivitätsindex, er bezieht sich aber alleine auf die Verbindungen in einem Netzwerk. Er wird für jeden Knoten im Netzwerk berechnet und gibt die Anzahl der Kanten an, die den jeweiligen Knoten mit den anderen Knoten verbinden. Dabei stehen direkte Verbindungen mit niedrigen Werten vorne, Verbindungen über mehrere Kanten ergeben in Summe hohe Werte. Über Matrizenmultiplikation kann der Shimmel-Index ähnlich dem Konnektivitätsindex berechnet werden, er stellt sich wie in Tab. 4 dar.

### 3.1.3 Gewichtete Graphenanalyse

Die gewichtete Graphenanalyse basiert auf Fahrzeiten zwischen den Bahnhöfen. In Tab. 5 sind die Fahrzeiten aufgetragen, entweder direkt (z.B. Berlin–Hannover mit 101 Minuten); bei Verbindungen mit Umsteigen wurde die jeweils schnellste Fahrzeit eingetragen. So kann z.B. die Strecke Berlin–Zwickau sowohl über Dresden, wie auch über Leipzig zurückgelegt werden; hier wurde dann die

Tab. 4: Shimbel-Index für zehn Bahnhöfe

	Berlin	Bielefeld	Cottbus	Darmstadt	Dresden	Frankfurt	Hannover	Leipzig	Osnabrück	Zwickau	Summe Kanten	Shimbel-Rang
Berlin	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	10	1
Bielefeld	1	0	2	2	1	1	1	1	1	2	12	3
Cottbus	1	2	0	2	1	2	1	1	2	2	14	4
Darmstadt	1	2	2	0	2	1	1	2	2	3	16	6
Dresden	1	1	1	2	0	1	1	1	2	1	11	2
Frankfurt	1	1	2	1	1	0	1	1	1	2	11	2
Hannover	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	10	1
Leipzig	1	1	1	2	1	1	1	0	2	1	11	2
Osnabrück	1	1	2	2	2	1	1	2	0	3	15	5
Zwickau	2	2	2	3	1	2	2	1	3	0	18	7

schnellere Verbindung über Leipzig (mit 148 Minuten) verwendet, im Vergleich dazu dauert die Reise über Dresden 248 Minuten. Verbindungen über drei Kanten wurden ebenfalls berücksichtigt. Es kann vorkommen, dass Fahrzeiten zwischen Bahnhöfen variieren, wenn man jeweils die Hin- und Rückfahrt betrachtet; die unterschiedlichen Fahrzeiten sind betriebsbedingt verursacht.

In dem Netzwerk der zehn Bahnhöfe ist der Bahnhof Hannover am schnellsten zu erreichen, Berlin hat aufgrund seiner isolierten Lage im Osten einen zeitlichen Abstand von 36 Minuten, dichtauf folgt Leipzig mit 44 Minuten. Mit größerem Abstand folgt dann Bielefeld, das mit 340 Minuten Differenz zu Hannover deutlich ungünstiger zu erreichen ist.

Tab. 5: Summe der Fahrzeiten (in min) für alle Verbindungen

	Berlin	Bielefeld	Cottbus	Darmstadt	Dresden	Frankfurt	Hannover	Leipzig	Osnabrück	Zwickau	Summe	Rang
Berlin	0	150	85	252	126	246	101	72	172	148	1352	2
Bielefeld	147	0	232	201	273	195	50	211	60	287	1656	4
Cottbus	84	234	0	332	113	317	185	111	256	187	1819	7
Darmstadt	241	193	236	0	295	16	144	223	215	299	1952	9
Dresden	131	275	109	287	0	272	226	66	297	90	1753	5
Frankfurt	225	177	310	15	279	0	128	207	199	283	1823	8
Hannover	97	49	310	151	223	145	0	161	71	283	1316	1
Leipzig	75	209	110	221	72	206	160	0	231	76	1360	3
Osnabrück	167	60	252	221	293	215	70	231	0	307	1816	6
Zwickau	151	285	186	297	133	282	236	76	307	0	1953	10

### 3.1.4 Circuitry-Index

Als vierte Messgröße für Konnektivität wird der Circuitry-Index eingeführt, der die Entfernung der Knoten (Bahnhöfe) in einem Netzwerk berücksichtigt. Er wird als Quotient der Entfernung zweier Bahnhöfe über die Kanten im Netzwerk und der direkten Verbindung per Luftlinie, der Orthodrome, ausgedrückt. Damit beurteilt er die Effizienz der Schienenverbindung im Vergleich zur direkten Distanz. Der Circuitry-Index wird bei direkten Verbindungen zwischen zwei Bahnhöfen angewandt, eine Messung über mehrere Kanten macht wenig Sinn. Die Abfrage der Bahnstreckenlänge erfolgt über ein Portal der Tschechischen Bahngesellschaft (IDOS). Die Orthodrome lässt sich über Lagekoordinaten im GIS ermitteln. Die Berechnung (nach Marr (a)):

$$k_{ij} = \frac{(l_{ij} - d_{ij})}{l_{ij}}$$

Dabei beschreibt  $ij$  den Verbindungsindex,  $l_{ij}$  steht für die tatsächliche Länge der Schienenstrecke und  $d_{ij}$  steht für die Distanz der Orthodrome von Bahnhof  $i$  zu Bahnhof  $j$ . Die Streckenangaben sind auf ganze Kilometer gerundet, das Ergebnis ist in Tab. 6 dargestellt. Die unterlegten Farben stehen für eine Klassifikation in sechs gleichgroße Klassen; ein heller Ton bedeutet eine eher direkte Verbindung, dunkel zeigt hingegen eine weniger direkte Verbindung an. Der Index kann ggf. um die Angaben der Zugtaktung und der Geschwindigkeit erweitert werden; beide Parameter wurden in dieser Studie aber nicht berücksichtigt.

Tab. 6: Quotient aus Länge der Bahnstrecke und der Orthodrome

	Berlin	Bielefeld	Cottbus	Darmstadt	Dresden	Frankfurt	Hannover	Leipzig	Osnabrück	Zwickau	Mittelwert	Rang
Berlin	-	0,102	0,107	0,250	0,134	0,230	0,058	0,205	0,087	-	0,146	2
Bielefeld	0,102	-	-	-	0,246	0,524	0,172	0,271	0,367	-	0,280	7
Cottbus	0,107		-	-	0,251	-	0,049	0,054	-	-	0,115	1
Darmstadt	0,25			-	-	0,064	0,234	-	-	-	0,182	4
Dresden	0,134	0,246	0,251		-	0,230	0,196	0,165	-	0,544	0,294	8
Frankfurt	0,230	0,524		0,064	0,230	-	0,293	0,223	0,498	-	0,412	10
Hannover	0,058	0,172	0,049	0,234	0,196	0,293	-	0,201	0,143	-	0,168	3
Leipzig	0,205	0,271	0,054		0,165	0,223	0,201	-	-	0,209	0,190	5
Osnabrück	0,087	0,367				0,498	0,143		-	-	0,274	6
Zwickau					0,544			0,209		-	0,377	9

Man erkennt in Tab. 6, dass die Bahnhöfe von Cottbus (mit vier Direktverbindungen), Berlin und Hannover (beide mit je acht Direktverbindungen) mit den kürzesten/direktesten Verbindungen erreichbar sind. Frankfurt als zentraler IC-Knoten im Westen Deutschlands ist auf direktem Weg nicht so optimal erreichbar. Auf den hinteren Plätzen liegen Dresden (mit sechs Direktverbindungen) und Zwickau (mit zwei Direktverbindungen).

### 3.1.5 Zusammenfassende Betrachtung aller Indizes

In der Gesamtbetrachtung der untersuchten Indizes liegt der Hauptbahnhof Berlin in der Erreichbarkeit vorne, dicht gefolgt von Hannover Hauptbahnhof. Das erklärt sich dadurch, dass Berlin als Hauptstadt der neue Knoten im Osten Deutschlands ist, Hannover immer schon einen zentralen Kreuzungspunkt (Ost-West und Nord-Süd) im Norden Westdeutschlands darstellt. Frankfurt Hauptbahnhof hat in diesem Netzwerk nur wenige direkte, schnelle Verbindungen aufzuweisen. Aufgrund seiner geografischen Lage und auch der Randlege im Netzwerk liegt der Hauptbahnhof in Zwickau bei allen getesteten Indizes auf den hinteren Plätzen.

Es zeigte sich an den untersuchten Indizes, dass keiner für sich alleine zufriedenstellende Ergebnisse liefern kann. Eine Kombination aus Konnektivitätsindex und der gewichteten Graphenanalyse wäre aussagekräftig. Leider existiert eine solche Berechnung derzeit nicht, stellt aber für zukünftige Arbeiten eine Herausforderung dar. Diese müsste sowohl Umstiege, wie auch die Fahrzeit berücksichtigen, also die beiden wesentlichen Kriterien bei der individuellen Planung einer Reise mit der Deutschen Bahn (s. o.).

Bei vergleichender Betrachtung des Konnektivitätsindex mit der gewichteten Graphenanalyse muss der Vermeidung von Umsteigen eindeutig eine höhere Priorität eingeräumt werden als der reinen Fahrzeit. Dies zählt insbesondere dann, wenn z. B. Rollstuhlfahrer, ältere Reisende und Familien mit Kindern, mit Kinderwagen und Gepäck, eine Bahnreise planen. Die reguläre Umsteigezeit der Bahn ist mit 5 Minuten knapp bemessen, empfohlen wird für die o. g. Personengruppe eine Umsteigezeit von 30 bis 45 Minuten (Süddeutsche Zeitung 2015). Unabhängig von Fahrzeit und Distanz liefert der Konnektivitätsindex (vgl. Kap. 3.1.1) also den zuverlässigsten Wert der Erreichbarkeit, daher wird im Folgenden mit diesem Index fortgefahren.

tät eingeräumt werden als der reinen Fahrzeit. Dies zählt insbesondere dann, wenn z. B. Rollstuhlfahrer, ältere Reisende und Familien mit Kindern, mit Kinderwagen und Gepäck, eine Bahnreise planen. Die reguläre Umsteigezeit der Bahn ist mit 5 Minuten knapp bemessen, empfohlen wird für die o. g. Personengruppe eine Umsteigezeit von 30 bis 45 Minuten (Süddeutsche Zeitung 2015). Unabhängig von Fahrzeit und Distanz liefert der Konnektivitätsindex (vgl. Kap. 3.1.1) also den zuverlässigsten Wert der Erreichbarkeit, daher wird im Folgenden mit diesem Index fortgefahren.

## 4 Konnektivität wichtiger DB-Bahnhöfe

Um eine Aussage bezogen auf die Fläche Deutschlands hinsichtlich der Konnektivität machen zu können, wurden die 106 wichtigsten Bahnhöfe ausgewählt. Diese konnten mit Hilfe einer Abfrage an die online-Fahrplanauskunft der DB GmbH auf ihre jeweiligen Verbindungen hin analysiert werden.

### 4.1 Untersuchungsgegenstand

Die DB Station & Service AG hat alle durch sie betreuten Bahnhöfe in Deutschland nach einem bestimmten Schema klassifiziert in die Kategorien 1 bis 7; so steht Kategorie 1 für bestens ausgebaute Bahnhöfe in Innenstadtlage, Kategorie 2 sind »... häufig wichtige Zustiegspunkte für den Fernverkehr oder Schnittstellen zu den großen Flughäfen und Hauptbahnhöfe größerer Städte« (DB Station & Service AG). Die letzte Kategorie 7 bezeichnet einen »Landhalt«. Insgesamt 106 Bahnhöfe der beiden ersten Kategorien 1 und 2 (Abb. 1) wurden ausgewählt, um

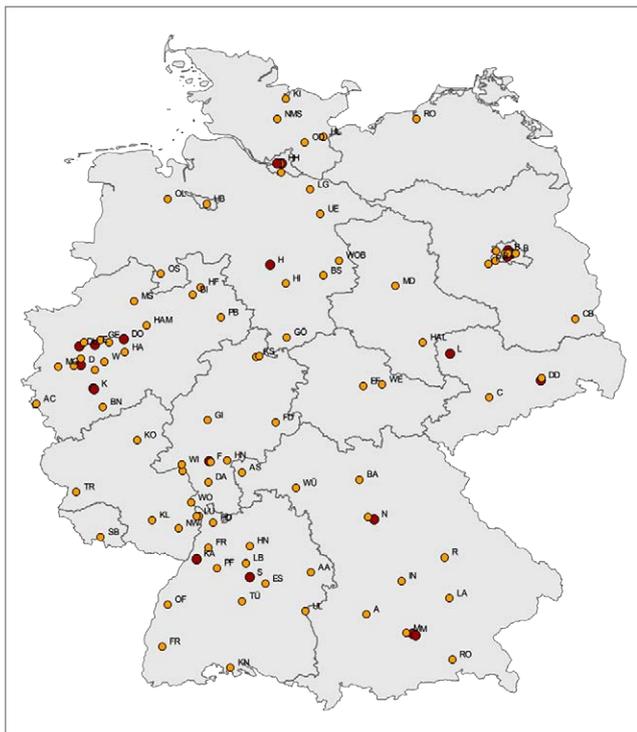


Abb. 1: Bahnhöfe der Kategorien 1 (rot) und 2 (orange)

deren Konnektivität zu berechnen. Diese 106 Bahnhöfe kommen auf 11.130 mögliche Verbindungen untereinander, im Vergleich dazu haben die in Kap. 3 untersuchten Bahnhöfe nur 90 Verbindungen untereinander.

Um das Netzwerk erstellen zu können, musste eine Methode für die Abfrage entwickelt werden, über die die Knoten (Bahnhöfe) und Kanten (Streckenabschnitte) aus dem Fahrplan der Deutschen Bahn abgeleitet werden können. Dies erfolgte über eine in Visual Basic 6 (VB) programmierte Auslesemöglichkeit. VB bietet mit den Microsoft Internet Controls (MS) eine Möglichkeit, direkt auf Felder in HTML-Seiten zuzugreifen. So fragt das VB-Programm den elektronischen Fahrplan der Deutschen Bahn ab (Deutsche Bahn Reiseauskunft), der im Internet angeboten wird. Das Programm liest die Zeiten für die Bahnhöfe der Kategorien 1 und 2 aus und speichert sie dann zur weiteren Analyse. Die Verbindungsdaten werden daraufhin abgefragt, ob eine Direktverbindung zwischen zwei Bahnhöfen besteht (Attribut 1) oder nicht (Attribut 0). Diese Art einer Abfrage ist nach den Nutzungsbedingungen der Deutschen Bahn explizit zulässig, denn dort heißt es unter dem Punkt »Zulässige Nutzungen«: »... (2.) Prüfen von Informationen zu An- und Abfahrtszeiten ...« (Deutsche Bahn)

Die Verbindungen der 106 Bahnhöfe werden als Matrix ausgegeben und können direkt an MS Excel übergeben werden. Dort erfolgt die Matrizenberechnung, analog wie in Kap. 3.1.1. Schließlich wird eine geordnete Liste des Konnektivitätsindex ausgegeben (Tab. 7).

Die kartographische Darstellung der Bahnhöfe der Kategorien 1 und 2, bezogen auf ihre Konnektivität, ist aus Abb. 2 ersichtlich. Hier sind die 106 Bahnhöfe entsprechend von dunkelrot und groß (hohe Konnektivität)

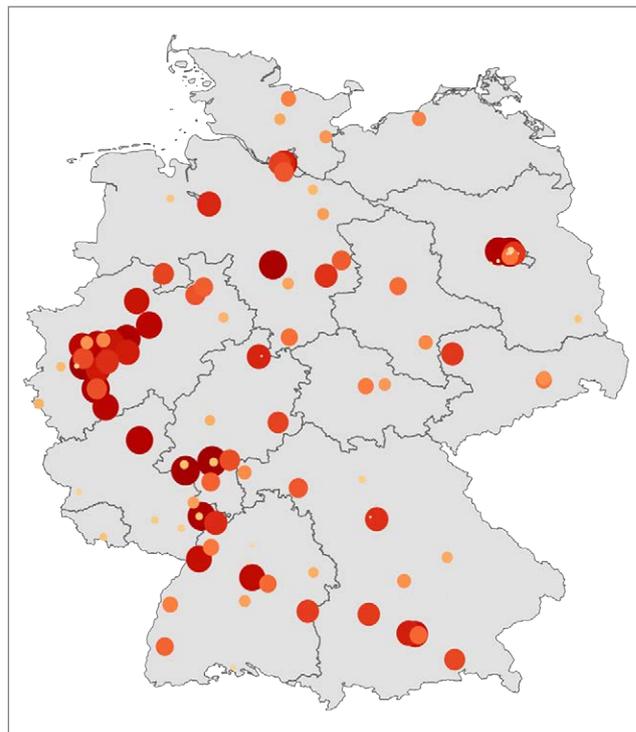


Abb. 2: Kartographische Visualisierung der 106 wichtigsten Bahnhöfe in Deutschland bezogen auf ihre Konnektivität

bis hellbeige und klein (geringe Konnektivität) eingefärbt dargestellt.

Deutlich erkennbar ist die hohe Konnektivität von Bahnhöfen in einer gekrümmten Form, die sich von Hamburg im Norden über das Ruhrgebiet im Westen bis Frankfurt zieht, weiter über die Rhein-Neckar-Schiene verläuft und dann über Stuttgart bis nach München im Süden geht. Eine weitere Achse kann für die Bahnhöfe Hamburg, Hannover, Kassel, Fulda, Würzburg, Nürnberg, München ausgemacht werden; diese entspricht exakt dem Verlauf der ICE-Trasse (vgl. Kap. 1).

## 5 Fazit und Ausblick

Diese Studie gliedert sich in zwei Teile. Zunächst wurde ein Vergleich von vier verschiedenen Indizes zur Bewertung der Konnektivität von zehn Bahnhöfen in Deutschland durchgeführt. Dabei kann kein Index für sich allein zufriedenstellende Ergebnisse liefern, der Konnektivitätsindex und die gewichtete Graphenanalyse bringen jeweils die zuverlässigste Aussage. In einer Fortführung der hier vorgestellten Untersuchung sollte daher an einer sinnvollen Kombination beider Indizes gearbeitet werden.

Im zweiten Teil wurden 106 Bahnhöfe der DB Kategorien »eins« und »zwei« ausgewählt und diese dann auf Basis des Konnektivitätsindex analysiert. Dem Konnektivitätsindex wurde letztlich eine höhere Priorität bezogen auf die Aussagekraft der Erreichbarkeit eingeräumt. Denn das Umsteigen auf einer Bahnreise stellt ein deut-

Tab. 7: Konnektivitätsindex ausgewählter Bahnhöfe der Kategorien 1 und 2

Bahnhof	Anzahl Kanten	Rang	Norm. Index
Frankfurt Main HBF	7214917	1	1,00
Düsseldorf HBF	7043034	2	0,98
Mainz HBF	7000721	3	0,97
Berlin HBF	6927193	4	0,96
Hannover HBF	6856385	5	0,95
...	...	...	...
Leipzig HBF	5515963	32	0,76
...	...	...	...
Osnabrück HBF	5106111	37	0,71
...	...	...	...
Bielefeld HBF	4900114	42	0,68
...	...	...	...
Darmstadt HBF	4573197	47	0,63
...	...	...	...
Dresden HBF	3994818	54	0,55
...	...	...	...
Kassel HBF	605201	100	0,08
Berlin Potsdamer Platz	583657	101	0,08
Landshut (Bay) HBF	581537	102	0,08
Berlin Lichtenberg	479551	103	0,07
Pforzheim HBF	470051	104	0,07
Chemnitz HBF	323625	105	0,04
Bad Oldesloe BF	257929	106	0,04

lich größeres Hindernis dar im Vergleich zu einer direkten Verbindung mit ggf. längerer Fahrzeit.

Das Ergebnis des Konnektivitätsindex für die 106 Bahnhöfe in einer kartographischen Visualisierung spiegelt zutreffend die historisch gewachsenen Bahnstrecken in Deutschland wider, einerseits das alte Streckennetz im Westen, das die dicht besiedelten Regionen miteinander effizient verbindet. Andererseits ist das neuere ICE-Netz abgebildet, das in den 1970er, 1980er und 1990er Jahren geplant und gebaut wurde und das auf weitgehend direktem Weg von Nord nach Süd verläuft. Benachteiligt bei dieser gesamtdeutschen Betrachtung ist eindeutig der Osten; hier ist nur Berlin als zentraler Knoten mit wenigen oder ganz ohne Umsteigen direkt zu erreichen. Die urbanen Zentren im Osten (Dresden, Leipzig und Rostock) fallen dahingegen deutlich ab.

Es muss berücksichtigt werden, dass diese Betrachtung allein auf das Streckennetz und die 106 Bahnhöfe Deutschlands der Kategorien 1 und 2 beschränkt ist und sich die Bewertung ändert, wenn internationale Ver-

bindungen in das angrenzende Ausland mit in die Betrachtung einbezogen werden. Direkte Trassen über das Hochgeschwindigkeitsnetz der französischen Bahn (TGV – train à grande vitesse) nach Paris, über den Railjet nach Wien oder über die Trasse nach Zürich etwa können den Konnektivitätsindex von Städten in einer Randlage wie Köln, München (Ost) oder Karlsruhe/Freiburg noch einmal deutlich anheben. Dies wäre eine interessante Fragestellung und Teil einer fortführenden Studie, die das Untersuchungsgebiet ausdehnt und sich mit den wichtigsten Bahnhöfen in Europa befasst.

Literatur

Bill, R.: Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Wichmann, 5. Auflage, 2010.  
 CIA: [www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html](http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html), letzter Zugriff 01/2015.  
 DB Reiseauskunft: <http://reiseauskunft.bahn.de/bin/query2.exe/dl>, letzter Zugriff 01/2015.  
 DB Station & Service AG: [www.deutschebahn.com/de/geschaefte/infrastruktur/bahnhof/bahnhofs\\_kategorien.html](http://www.deutschebahn.com/de/geschaefte/infrastruktur/bahnhof/bahnhofs_kategorien.html), letzter Zugriff 01/2015.  
 Deutsche Bahn: [www.bahn.de/p/view/home/agb/nutzungsbedingungen.shtml](http://www.bahn.de/p/view/home/agb/nutzungsbedingungen.shtml), letzter Zugriff 01/2015.  
 Genesis: [www.regionalstatistik.de/genesis/online](http://www.regionalstatistik.de/genesis/online), letzter Zugriff 01/2015.  
 IDOS: <http://jizdenka.idos.cz/IT.aspx?ResetHandle=1&ResetParams=1&Lang=69>, letzter Zugriff 01/2015.  
 Kuschke, Verena: Die Konnektivität ausgewählter Großstadtbahnhöfe. Nicht veröffentlichte Bachelorarbeit, 2014.  
 Marr(a): <http://webpace.ship.edu/pgmarr/TransMeth/Lec%202-Connectivity.pdf>, letzter Zugriff 01/2015.  
 Marr(b): <http://webpace.ship.edu/pgmarr/TransMeth/Lec%203-Shimbel%20Distance.pdf>, letzter Zugriff 01/2015.  
 MS: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms970672.aspx>, letzter Zugriff 01/2015.  
 Süddeutsche Zeitung: [www.sueddeutsche.de/reise/tipps-fuer-die-zugfahrt-so-entspannen-sie-beim-bahnfahren-1.1733949-4](http://www.sueddeutsche.de/reise/tipps-fuer-die-zugfahrt-so-entspannen-sie-beim-bahnfahren-1.1733949-4), letzter Zugriff 01/2015.  
 UBA: [www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/effizienz/effizienzverkehr](http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/effizienz/effizienzverkehr), letzter Zugriff 01/2015.  
 Zwickau: [www.zwickau.de/de/wirtschaft/standort/ziz/bevoelkerung.php](http://www.zwickau.de/de/wirtschaft/standort/ziz/bevoelkerung.php), letzter Zugriff 01/2015.

Anschrift der Autoren

Prof. Dr. Matthias Möller  
 Beuth Hochschule für Technik  
 Professur für Kartographie, Geoinformation und Fernerkundung  
 Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin  
 mmoeller@beuth-hochschule.de  
 Tel.: 030 4504-5424

BA Eng. GI Verena Kuschke  
 verena030285@googlemail.com

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter [www.geodaesie.info](http://www.geodaesie.info).