

Kapazitätsbelastung der Rheintalbahn

Zugzahlmessung mit Infrarottechnik

Die Analyse von Engpässen im Güterverkehr ist eine wichtige Voraussetzung, um zukünftige Herausforderungen der Infrastrukturplanung und Logistik bewältigen zu können. Im Rahmen des EU-Projekts Code24 sollen Strategien für die Behandlung zukünftiger Herausforderungen im Schienengüterverkehr im wichtigsten europäischen Güterverkehrskorridor Rotterdam-Genua entwickelt werden. Hierfür sind Informationen über Zugzahlen und die Kapazitätsauslastung auf einzelnen Streckenabschnitten eine wichtige Voraussetzung.

Die Autoren: Hansjörg Drewello, Ingo Dittrich, Stephan Gütle

Die Deutsche Bahn AG behandelt die Veröffentlichung dieser Daten seit Jahren äußerst restriktiv. Auf Anfrage bezeichnete sie diese Informationen als Betriebsgeheimnis. Im Februar 2013 wurde deshalb in Lahr (Schwarzwald) eine Zugzählung auf der Rheintalbahn mit Hilfe einer Hochleistungsinfrarotkamera vorgenommen. Die Ergebnisse geben einen neuen Einblick in die Diskussion um die Auslastung der Rheintalbahn.

Das EU-Projekt Corridor Development Rotterdam-Genoa (Code24)

Die Nord-Süd-Transversale von Rotterdam nach Genua verbindet mehrere europäische Regionen mit höchster Wirtschaftskraft. Rund 70 Mio. Menschen leben und arbeiten im Einzugsbereich dieses Korridors. Jedes Jahr werden rund 700 Mio. t Güter allein auf der Schienenverkehrsachse transportiert. Mit der Öffnung der beiden Alpenbasistunnel in der Schweiz

2007 am Lötschberg und voraussichtlich im Dezember 2016 am Gotthard entsteht zudem eine Hochleistungsstrecke im europäischen Nord-Süd-Bahnverkehr und damit die Chance, zusätzlichen Güterfernverkehr in erheblichem Umfang von der Straße auf die Schiene zu verlagern. Nicht alle Engpässe können dabei rechtzeitig behoben werden, so beispielsweise im Abschnitt Karlsruhe-Basel.

Das von der EU im Rahmen des INTERREG-IVB-Programms Nordwesteuropa geförderte Projekt Code 24 erarbeitet eine abgestimmte Entwicklungsstrategie der Regionen entlang des Korridors in den Themenfeldern Raumplanung, Verkehr, Wirtschaft und Umwelt. 17 Partner aus Forschung, Wirtschaft und Verwaltung untersuchen die Rahmenbedingungen für eine zukünftige Nutzung des Verkehrskorridors¹.

Die theoretische Leistungsfähigkeit eines Eisenbahnstreckenabschnitts

Die Ermittlung der Leistungsfähigkeit einer Eisenbahnstrecke ist relativ komplex, da sie von sehr vielen Faktoren beeinflusst wird. Hierzu gehören die Anzahl der Richtungs- und Ausweichgleise, der Abstand der Blocksignale, Höchstgeschwindigkeiten und Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Zügen, Zugfolgen von langsamen und schnellen Zügen, Sperr-, Mindestzugfolge- und Pufferzeiten.

Der Internationale Eisenbahnverband (UIC) empfiehlt aufgrund des Zusammenhangs zwischen Infrastrukturbelegung und Betriebsqualität folgende Definition: „Streckenleistungsfähigkeit ist die gesamte Anzahl möglicher Fahrplantrassen in einem festgelegten Zeitfenster unter Beachtung des festgelegten Trassenmix beziehungsweise bekannter Entwicklungen und den eigenen Annahmen des Eisenbahninfrastrukturunternehmens; in Knoten, auf einzelnen Strecken oder in Teilen des Netzes; mit marktorientierter Qualität“.²

	Personenfernverkehr	Personennahverkehr	Güterverkehr
Vorbelegungszeit	40,50	48,03	58,00
Belegungszeit	101,26	135,01	180,00
Nachbelegungszeit	19,95	15,75	44,00
Sperrzeit	161,71	198,79	282,00
Brems- bzw. Beschleunigungszeit	44,44	33,33	25,00
Höchstgeschwindigkeit	160 km/h	120 km/h	80 bis 100 km/h

Tabelle 1: Belegung der Rheintalstrecke durch die unterschiedlichen Zuggattungen

Vorbelegungszeit besteht aus Fahrstraßenbilddzeit (ca. 12 s), Sichtzeit (ca. 6 s) und Annäherungsfahrzeit (= Zeit vom Passieren des Vorsignals bis zum Erreichen des Hauptsignals).

Nachbelegungszeit besteht aus Fahrstraßenauflösezeit (ca. 6 s) und Räumfahrzeit.

Die Räumfahrzeit hängt von der Geschwindigkeit sowie der Länge des Zuges und der Länge des Durchrutschweges ab.

Brems- bzw. Beschleunigungszeit: angenommener Beschleunigungs- und Bremsvorgang 1 m/s².

(Alle Daten entsprechend Jochim, Lademann: 2009)

Der Kapazitätsverbrauch einer einzelnen Zugsbewegung (Fahrplantrasse) wird in Deutschland seit vielen Jahren durch das von Happel entwickelte Sperrzeitenmodell bestimmt³. In ihm werden die oben genannten Faktoren berücksichtigt. Aufbauend auf dieser Arbeit wird heute die Betriebsqualität einer stark belasteten Eisenbahnstrecke häufig mit dem „Verketteten Belegungsgrad“ bestimmt. Dies ist der Grad der zeitlichen Auslastung eines Fahrwegabschnitts durch Sperrzeiten. Die Sperrzeit ist die Zeit, in der ein Streckenblock durch einen Zug blockiert wird.⁴ Außerdem wird der Streckenabschnitt in der Regel durch einen zeitlichen Puffer für nachfolgende Züge gesperrt. Er wird bestimmt mit:

- n_{verk} : Verketteter Belegungsgrad
- z : Zahl der Züge im untersuchten Zeitraum
- t_U : Dauer des untersuchten Zeitraumes
- $t_{zf,min}$: Mittlere Mindestzugfolgezeit; durchschnittlicher minimaler Abstand, in dem sich zwei Züge ohne gegenseitige Behinderung folgen können⁵

Aufgrund von Erfahrungswerten empfiehlt Pachl für typische Mischbetriebsstrecken, dass der verkettete Belegungsgrad über einen längeren Zeitraum den Wert von 0,5 nicht wesentlich überschreiten sollte⁶. Dies erklärt sich aus der Berücksichtigung von Pufferzeiten, die die Betriebsqualität erhöhen, indem Übertragungen von Verspätungen auf nachfolgende Züge reduziert werden, und von Zeiten für Instandhaltung.

Die Leistungsfähigkeit des Streckenabschnitts Offenburg–Lahr

Der Abschnitt Offenburg–Lahr der Rheintalbahn ist zweigleisig. Im Norden schließt sich in Richtung Baden-Baden ein vierspuriger Abschnitt an, im Süden ist die Rheintalbahn bis nach Basel, mit Ausnahme im Bereich des neu eröffneten Katzenbergtunnels, zweispurig. Der untersuchte Streckenabschnitt ist in vier Blöcke mit jeweils etwa fünf Kilometern Länge aufgeteilt. Die Strecke der Rheintalbahn wird fast ausnahmslos als Mischbetriebsstrecke genutzt.

Aufgrund von Erfahrungs- und Schätzwerten wurden die Daten in *Tabelle 1* für den Personenfern-, Personennah- und Güterverkehr ermittelt⁷. Hieraus ergeben sich für die drei Zuggattungen Sperrzeiten für den Streckenabschnitt Offenburg–Lahr, wie in *Tabelle 2* zu sehen.

Aus den oben genannten Daten für die Strecke Offenburg–Lahr wurde eine mittlere Mindestzugfolgezeit von annähernd 5 min ermittelt. Die Mindestzugfolgezeit ist der minimale Abstand, mit dem sich zwei Züge folgen können. Der verkettete Belegungsgrad für die Tage Dienstag bis Freitag ist 0,5. An diesen Wochentagen ist die Kapazität des Streckenabschnitts unter Berücksichtigung einer optimalen Betriebsqualität voll ausgelastet. Wenn der optimale verkettete Belegungsgrad bei 0,5 liegt, bedeutet dies, dass über einen längeren Zeitraum gerechnet die mittlere Pufferzeit in

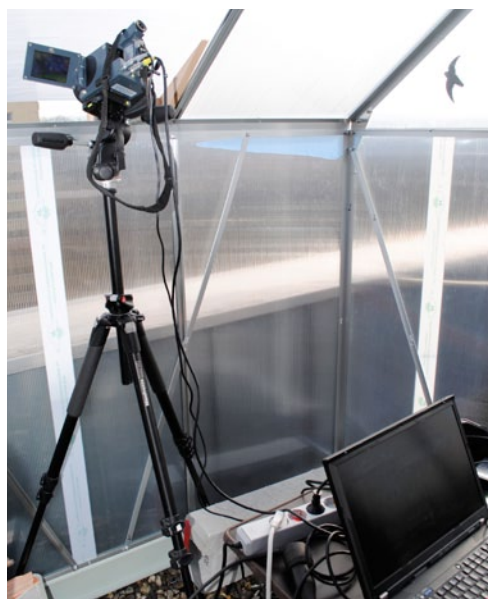


Bild 1: Die Kamera wurde auf einem Hochhaus mit freiem Blick auf die Bahnstrecke montiert.

etwa der mittleren Mindestzugfolgezeit entsprechen sollte. Über den Tag verteilt kann dieser Wert deutlich unterschritten werden, wenn anschließend ausreichende „Erholungsphasen“ vorgesehen werden, in denen sich der Betrieb wieder entspannen kann⁸. Unter Einbeziehung einer Pufferzeit von 5 Minuten wurde die Zahl von 288 Zügen pro Tag errechnet, die für diesen Streckenabschnitt als maximale Kapazität bei ausreichender Betriebsqualität zugrunde gelegt wird.⁹

Messtechnik und Messergebnisse

Die Messung wurde in der Zeit vom 14. bis 27. Februar 2013 mit einer Hochleistungswärmebildkamera vom Typ VarioCAM hr durchgeführt. Die Kamera wurde auf einem neunstöckigen Hochhaus in Lahr mit freiem Blick auf die Bahnstrecke montiert (*Bild 1*). Sie kann so eingestellt werden, dass Bilder aufgenommen werden, wenn eine vorher eingestellte maximale Temperatur im Bildausschnitt überschritten wird. Beendet

Personenfernverkehr	Ausfahrt Block1	Block2	Block3	Block4
Sperrzeitbeginn	-0,20 min	0,96 min	2,64 min	4,25 min
Vorbeifahrt am Signal	0,00 min	1,64 min	3,35 min	4,92 min
Sperrzeitende	1,98 min	3,68 min	5,25 min	7,24 min
Personennahverkehr	Ausfahrt Block1	Block2	Block3	Block4
Sperrzeitbeginn	-0,20 min	1,10 min	3,34 min	6,04 min
Vorbeifahrt am Signal	0,00 min	1,91 min	4,18 min	6,83 min
Sperrzeitende	2,17 min	4,45 min	7,09 min	10,30 min
Güterverkehr	Ausfahrt Block1	Block2	Block3	Block4
Sperrzeitbeginn	-0,20 min	1,33 min	4,33 min	7,18 min
Vorbeifahrt am Signal	0,00 min	2,32 min	5,35 min	8,14 min
Sperrzeitende	3,05 min	6,08 min	8,87 min	12,41 min

Tabelle 2: Sperrzeiten für den Streckenabschnitt Offenburg–Lahr

wird die Aufnahme durch Unterschreiten der maximalen Temperatur im Bildausschnitt. Im Messzeitraum lagen die Außentemperaturen in der Regel unter 0°C. Die wärmsten Bauteile der durchfahrenden Züge waren Räder und Bremsen. Deren Temperatur lag bei 5 bis 10°C. Die Kamera wurde so justiert, dass ein durchfahrender Zug mit seiner Temperatur eine Bildaufnahme auslöste, die mit Uhrzeit und Datum versehen wurde. Auf den Bildern lassen sich die Umriss der Züge deutlich erkennen. Eine Unterscheidung der drei Zuggattungen Güter-, Personennah- und Personenfernverkehr ist problemlos möglich (*Bild 2*). Das Bildmaterial wurde nach Beendigung der Messperiode ausgewertet. Für die einzelnen Wochentage ergaben sich anhand der Messung die durchschnittlichen Zugzahlen wie in *Bild 3* dargestellt. Es fällt auf, dass die Zugzahlen an Sonntagen deutlich niedriger sind, als an anderen Wochentagen. Insbesondere die Zahl der Güterzüge erreicht nur ein Drittel der Zugzahl an den hochfrequentierten Wochentagen Dienstag bis Freitag. Auch die Zahl der Personenzüge ist um 15% niedriger. An den beiden Wochentagen Samstag und Montag verringert sich die Zahl der Züge ebenfalls signifikant gegenüber den meistbelasteten Tagen (ca. -23%). An den Tagen Dienstag bis Freitag kommt die gemessene durchschnittliche Zugzahl der errechneten Kapazitätsgrenze von 288 Zügen relativ nahe.

In der folgenden Grafik (*Bild 4*) wird die durchschnittliche Verteilung der Zugzahlen am Mittwoch dargestellt. Der Tag wurde in drei Zeitintervalle unterteilt: Morgenintervall (0 Uhr bis 8 Uhr), Tagesintervall (8 Uhr bis 16 Uhr) und Nachtintervall (16 bis 24 Uhr). Signifikant ist die deutlich niedrigere Zahl der Personenzüge im Morgenintervall im Vergleich zur Zahl der Güterzüge. In den anderen beiden Zeitintervallen entsprechen sich diese Zahlen in etwa.

Die Kapazitätsinanspruchnahme ist im Tagesintervall am höchsten. Die durchschnittliche maximale Kapazitätsauslastung bei optimaler Betriebsqualität beträgt 48 Züge in 8 Stunden auf einem Gleis. Damit erreicht die Kapazitätsauslastung im Tagesintervall bis zu 115%. Vergleicht man Morgen- und Nachtintervall, so fällt auf, dass am Morgen die Kapazitätsgrenze in Richtung Süden und in der Nacht in Richtung Norden überschritten wird. Die Auslastung auf dem

jeweils anderen Gleis ist deutlich niedriger. Abschließend wurde mit einer Stichprobe aus 66 Zügen die durchschnittliche Geschwindigkeit und Länge der Güterzüge rechnerisch geschätzt. Hierfür wurde die Geschwindigkeit der Güterzüge auf einem 200 m langen Streckenabschnitt gemessen. Anhand der so gemessenen Geschwindigkeit ließ sich für jeden Zug anhand der Zeit, die verging, bis der gesamte Zug den Messpunkt passiert hatte, die Länge der Züge ermitteln. Aus der Stichprobe ergab sich eine durchschnittliche Geschwindigkeit von knapp 94 km/h und eine durchschnittliche Länge der Güterzüge von ca. 530 m. Bei einer maximalen Zuglänge von 740 m ergibt sich im Durchschnitt eine nicht genutzte Länge von 210 m.

Diese Ergebnisse wurden durch Abgleich mit Personenverkehrsfahrplänen der Deutschen Bahn und durch ein Gespräch mit Vertretern der DB Netz am 19. April 2013 in Karlsruhe auf Plausibilität getestet. Im Gespräch äußerten die Experten des Netzbetreibers, dass die gemessene Verteilung der Zugzahlen sowie die absoluten Zahlen ihren Erfahrungen entsprechen. Sie gehen außerdem davon aus, dass die Zugzahlen auf der Rheintalbahn auch saisonalen Schwankungen unterliegen. Das saisonale Maximum an Zugzahlen wird in den Monaten Mai und Juni sowie Oktober und November erreicht.

Schlussfolgerungen für Logistikprozesse und Trassenmanagement

Die Untersuchung der Auslastung der Rheintalbahn am Beispiel des Streckenabschnittes Offenburg-Lahr zeigt eine Auslastung am Limit der Kapazität, aber auch Potenzial für zusätzlichen Verkehr: Zunächst sind einzelne Trassen besonders in den Tagesrandzeiten und am Wochenende ungenutzt. Zur Nutzung solcher zeitgebundener Reserven in Verkehrssystemen wird häufig über Yard Management diskutiert: Durch eine Erhöhung der monetären Attraktivität soll eine Nutzung von bisher freien Trassen erfolgen, deren zeitliche Attraktivität für die Nutzer gering ist. Dieses würde zusätzlich auch eine ausgleichende Umlenkung von Güterströmen aus den Spitzenzeiten bringen. Dadurch würde aber das ohnehin als unflexibel angesehene Verkehrsmittel Bahn aus Sicht der Verlagerer vermutlich noch unattraktiver. Zudem können einzelne Güter-

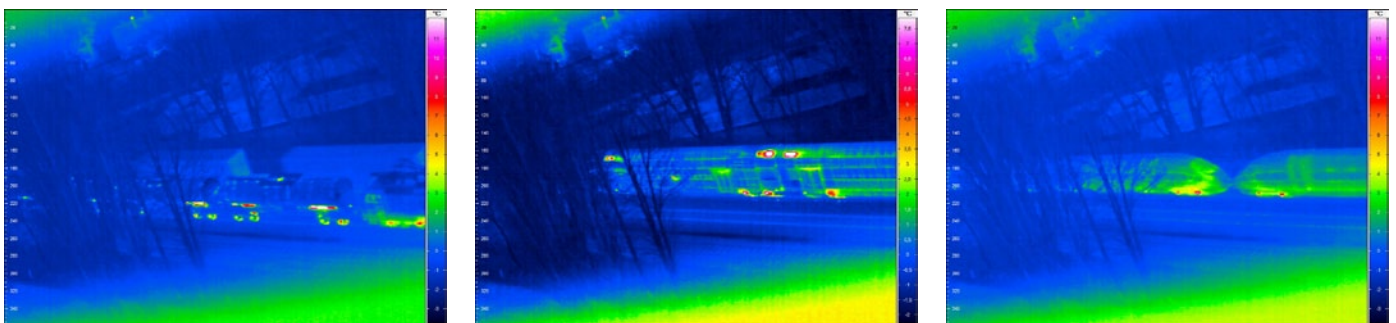


Bild 2: Auf den Infrarotbildern sind die Zuggattungen klar erkennbar: links Güterverkehr, Mitte Personennahverkehr, rechts Personenfernverkehr.

ströme, beispielsweise der Hafenhinterlandverkehr, nicht an den Restriktionen einer einzelnen Teilstrecke ausgelegt werden. Durch die Nutzung dieser letzten Reserven würden auch Störungen im System noch schlechter als heute ausgeglichen werden können. Eine technische Erhöhung der möglichen Anzahl an Trassen wurde durch Einführung der Linienzugbeeinflussung (LZB) auf der Rheintalbahn bereits erzielt. In Zukunft könnte ECTS Level 3 noch eine Steigerung ermöglichen¹⁰. Eine umfassende Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf der Schiene erscheint unter diesen Bedingungen am Oberrhein utopisch. An einem Ausbau der Rheintalbahn führt also aus Sicht der Anzahl nutzbarer Trassen sicherlich kein Weg vorbei.

Es findet sich allerdings durchaus noch Raum für logistische Maßnahmen zur Erhöhung des Transportvolumens: In der Untersuchung hat sich in den einzelnen Blöcken eine Reserve von etwa 210 m Zuglänge oder etwa 30 % und damit ein erhebliches Potenzial gezeigt. Technisch sind die Fahrzeuge für größere Längen geeignet. Fehlende Überholungs- und Rangiergleise mit ausreichender Länge müssen über den schon erwähnten Ausbau gelöst werden. Forschungs- und Handlungsbedarf liegt hier vor allem auf organisatorischer Seite: Güterströme müssen über Wettbewerber und Zugarten hinweg gebündelt werden. Vor allem kurze Ganzzüge stellen eine Herausforderung dar. DB Schenker hat diesbezüglich durch die Netzwerkbahn einen interessanten Schritt getan. Es bleibt abzuwarten, inwiefern sich die neue Organisation dieses großen EVU auf die Kapazität der Rheintalbahn auswirken wird. Im Projekt Code24 wird auf Basis der vorgestellten Ergebnisse die Ausnutzung der bestehenden Strecke weiterhin eine große Beachtung finden.

Abschließend ist anzumerken, dass auch die linksrheinische Schieneninfrastruktur im französischen Elsass im Rahmen eines grenzüberschreitenden Verkehrskonzepts für den Oberrhein berücksichtigt werden sollte. ■

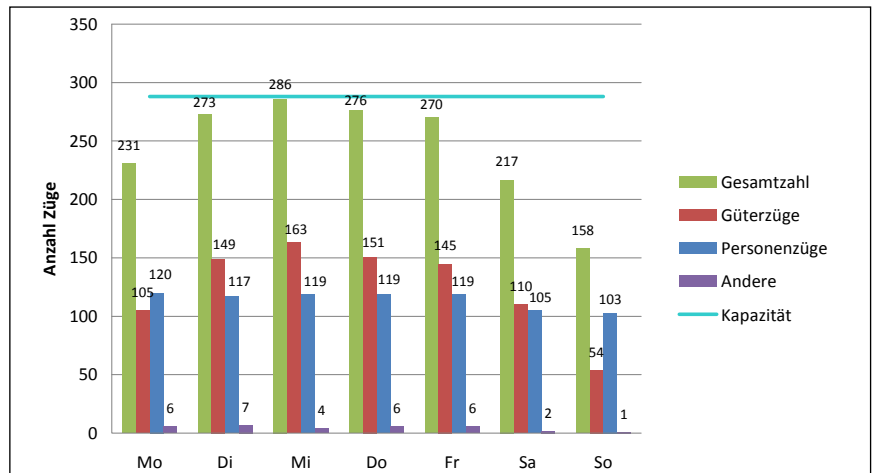


Bild 3: Durchschnittliche Zugzahlen nach Wochentagen

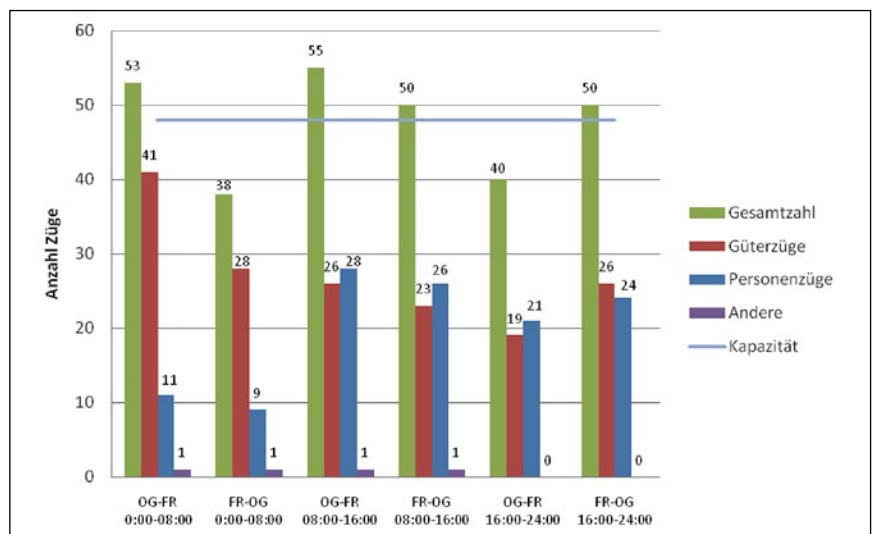


Bild 4: Durchschnittliche Zugzahlen nach Zeitintervallen (Mittwoch)

Valley. Results of a railway capacity analysis by the town of Lahr. 3rd Code24 report of action 9, Kehl, August 2013, S. 14 ff.

¹⁰ Vgl. Jochim, Lademann, 2009, S. 209, und Weigand, Werner: Mehr Kapazität für den Schienenverkehr – Reicht das bestehende Streckennetz aus? In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), Nr. 12, 2009, S. 722 ff.

¹ s.a. www.code-24.eu

² Union International des Chemins de Fer (Hrsg.): UIC Code 406, Paris, 2004, S. 6

³ Happel, O.: Sperrzeitentreppe als Grundlage für die Fahrplan-konstruktion, Eisenbahntechnische Rundschau 8, Heft 2, 1959, S. 79-90

⁴ Gert Heister, Jörg Kuhnke, Carsten Lindstedt, Roswitha Pomp, Thomas Schill, Thorsten Schaefer, Stephan Schmidt, Norbert Wagner, Wolfgang Weber: Eisenbahnbetriebstechnologie, DB-Fachbuch, Heidelberg/Mainz, 2009, S. 298 ff.

⁵ Wolfgang Fengler: Das System Bahn, DVV Media Group GmbH, 2008

⁶ Pachl, J.: Systemtechnik des Schienenverkehrs. 6. Aufl., Wiesbaden, 2011, S. 174

⁷ vgl. Jochim, Haldor, Lademann, Frank: Planung von Bahnanlagen: Grundlagen - Planung - Berechnung, München, 2009, S. 208 ff.

⁸ Pachl, 2011, 176

⁹ Zur Berechnung der Kapazitätsgrenze vgl. Drewello, H., Gütle, S.: The need for investment on the 'Rheintalbahn' in the Upper Rhine



Hansjörg Drewello, Prof. Dr.
Wirtschaftsförderung und Regionalökonomie,
Fakultät Wirtschafts-, Informations- und Sozialwissenschaften,
Hochschule für öffentliche Verwaltung Kehl
drewello@hs-kehl.de



Ingo Dittrich, Prof. Dr.
Spedition/Transport/Logistik, Fakultät Betriebswirtschaft und Wirtschaftsingenieurwesen,
Hochschule Offenburg
ingo.dittrich@hs-offenburg.de



Stephan Gütle, B. Eng.
Akademischer Mitarbeiter der Hochschule Offenburg
stephan.guetle@hs-offenburg.de