

Einfluss von Preissystemen auf die Verbindungsauswahl im Eisenbahnfernverkehr

Dr.-Ing. Johannes Friedrich

Berlin, den 23.10.2017

Sehen Sie die optimale Verbindung?

Suche **Auswahl** Ticket & Optionen Zahlung Prüfen & Buchen Bestätigung

Hinfahrt **Zittau → BERLIN**
Fr, 28.04.17, ab: 11:19

Reisende **1 Erwachsener, 2. Klasse**

[Angaben ändern](#)

Häufige Fragen

- > Wo finde ich Sparpreise?
- > Was bedeutet "Preisauskunft nicht möglich"?
- > Alle häufigen Fragen

Hinfahrt am 28.04.17 Druckansicht

Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Dauer	Umst.	Produkte	Sparangebote	Flexpreis
^ Früher						
Zittau Berlin Hbf	12:01 15:24	3:23	1	OE, RE	44,00 EUR	52,80 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden	> Rückfahrt hinzufügen		Zur Angebotsauswahl			
Zittau Berlin Hbf	13:01 16:24	3:23	1	OE, RE	44,00 EUR	52,80 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden	> Rückfahrt hinzufügen		Zur Angebotsauswahl			
Zittau Berlin Hbf	14:01 17:24	3:23	1	OE, RE	44,00 EUR	52,80 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden	> Rückfahrt hinzufügen		Zur Angebotsauswahl			

Preis für alle Reisenden inkl. Ermäßigungskarten*

Bildquelle: DB RIS

Die Bahn findet die optimale Verbindung auch nicht...

✓ Suche


Auswahl


Ticket & Optionen

Zahlung

Prüfen & Buchen

Bestätigung

 Druckansicht



Wir haben günstige Preise für Sie gefunden.

Ihr Ticket

1 Erwachsener

2. Klasse

Hinfahrt

Bitte wählen Sie rechts Ihre Hinfahrt aus.

Hinfahrt am **Fr, 28.04.17**

Zittau → BERLIN

← 1 Tag früher
1 Tag später →

	Preis*▲	Ab▲	An▲	Dauer▲	Umst.▲	Produkte	Start/Ziel	
<input type="radio"/>	29,00 €	05:10	08:58	3:48	1	IC	Zittau → Berlin Hbf (tief)	
<input type="radio"/>	29,00 €	22:12	07:33	9:21	2	ICE	Zittau → Berlin Hbf (tief)	
<input type="radio"/>	39,25 €	03:51	07:27	3:36	2	IC	Zittau → Berlin Hbf	
<input type="radio"/>	39,25 €	22:01	07:27	9:26	2	IC	Zittau → Berlin Hbf	

Angebote filtern

Hinfahrt

0:00 Uhr bis 24:00 Uhr

Dauer

bis max. 09:26

Preis

Bildquelle: DB RIS

Aber es gibt sie: die optimale Verbindung!

Suche **Auswahl** Ticket & Optionen Zahlung Prüfen & Buchen Bestätigung

Hinfahrt **Zittau → BERLIN**
Fr, 28.04.17, ab: 11:19

Reisende **1 Erwachsener, 2. Klasse**

[Angaben ändern](#)

Häufige Fragen

- > Wo finde ich Sparpreise?
- > Was bedeutet "Preisauskunft nicht möglich"?
- > Alle häufigen Fragen

Hinfahrt am 28.04.17 Druckansicht

Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Dauer	Umst.	Produkte	Sparangebote	Flexpreis
Zittau Berlin Hbf (tief)	11:19 16:44	5:25	2	TLX, IC, ICE	keine Sparangebote verfügbar	84,50 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden				Rückfahrt hinzufügen	Zur Angebotsauswahl	
Zittau Berlin Hbf (tief)	12:32 16:57	4:25	1	TL, EC	29,00 EUR	59,50 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden				Rückfahrt hinzufügen	Zur Angebotsauswahl	
Zittau Berlin Hbf (tief)	13:19 18:27	5:08	2	TLX, RB, RE	44,00 EUR	Preisauskunft nicht möglich
<input type="checkbox"/> Details einblenden				Rückfahrt hinzufügen	Zur Angebotsauswahl	

Bildquelle: DB RIS

Gegenüberstellung der Varianten

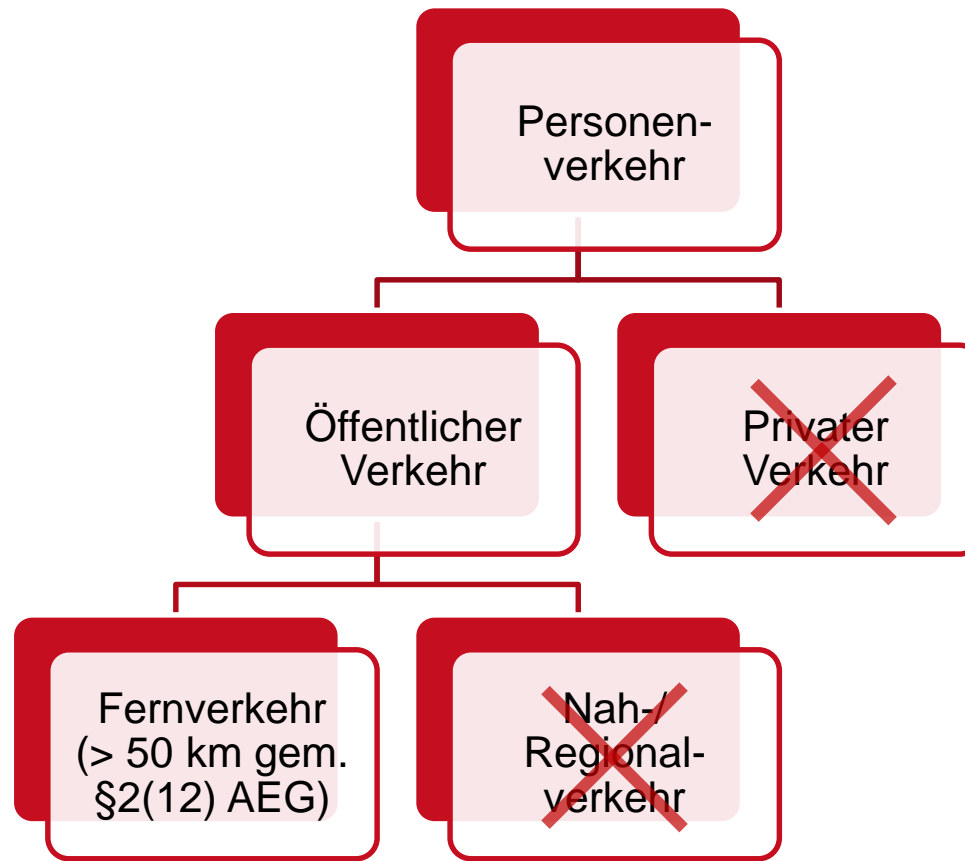
- Es ergeben sich Fragen:
 - Was ist „**optimal**“ bzw. die „optimale Verbindung“?
 - Warum findet die Suche der Bahn diese Variante nicht?

Ausprägung	über Cottbus	über Dresden
Fahrzeit	03:23	04:25
Umstiege	1	1
Umsteigezeit	00:05	00:34
Züge	OE, RE	TL, EC
Preis	44,00 €	29,00 €

Agenda

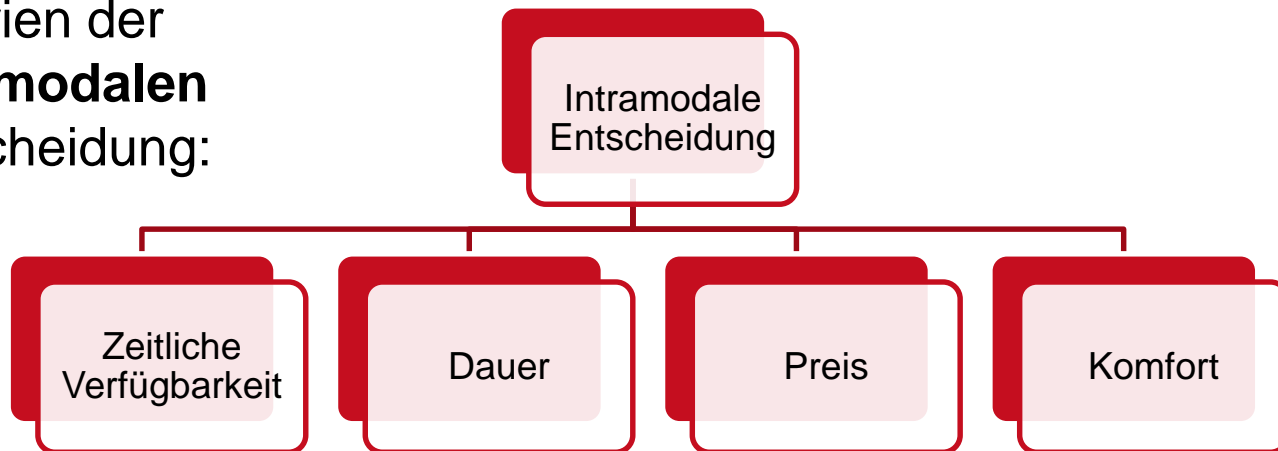
- Einleitendes Beispiel
- Abgrenzung der Problemstellung
- Passagiere
 - Vorstellung
 - Modellierung
- Datenmodell und Algorithmus
- Tarifauswirkungen auf die Verbindungsauswahl
- Fazit und Ausblick

Abgrenzung der Problemstellung



Vorstellung der **Passagiere**

- **Rational** handelnde Individuen
 - Rationale Entscheidung auf Basis der Nutzentheorie
→ alle Entscheidungsfaktoren sind quantifizierbar
 - Individuen modelliert und zusammengefasst in Clustern
- **Intermodale** Entscheidung entfällt (→ Abgrenzung)
- Kriterien der **intramodalen** Entscheidung:



Entscheidungskriterien im Modell

Zeitliche Verfügbarkeit

- Kann auf Abfahrt oder Ankunft bezogen sein
- Bewertet auch die **Wartezeit** auf die Reise (bei Terminen)

Dauer

- Bewertung der Reisedauer
 - **Fahrtzeit**
 - Umsteigezeiten

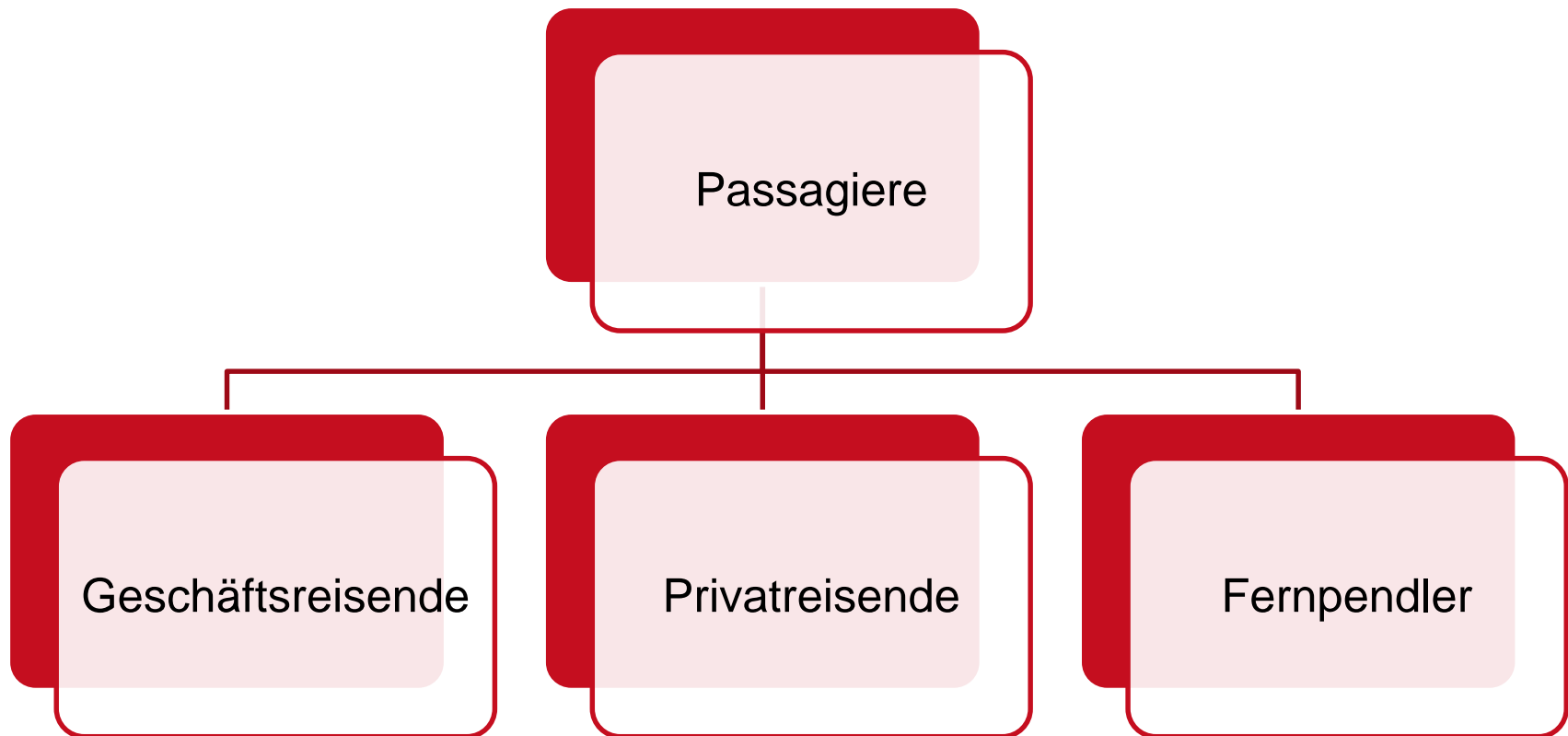
Preis

- Preis der Hauptleistung
- Preis von Nebenleistungen
 - Zuschlag für Erste Klasse, ...

Komfort

- Fahrtkomfort (Verkehrsmittel)
- Umsteigekomfort
 - **Anzahl** der Umstiege

Vorstellung der **Passagiere**



Vorstellung der **Geschäftsreisenden**

- Hohe Zahlungsbereitschaft:

Produktklasse	Reisen	Umsatz	Faktor
First Class	21,7 %	44,5 %	2,05
Standard	29,0 %	31,8 %	1,10
Discount	49,3 %	23,7 %	0,48

Datenquelle: Cole (1992)

- Mehr als 20 % der Reisen werden in der **First Class** zurückgelegt, diese ergeben mehr als 44 % des Umsatzes
 - Ergebnis einer Preisdifferenzierung?
 - Starke Nutzung der **First Class** durch Firmen induziert? (Motivation, Produktivität, ...)

Vorstellung der **Privatreisenden**

- Deutlich geringere Zahlungsbereitschaft als Geschäftsreisende:

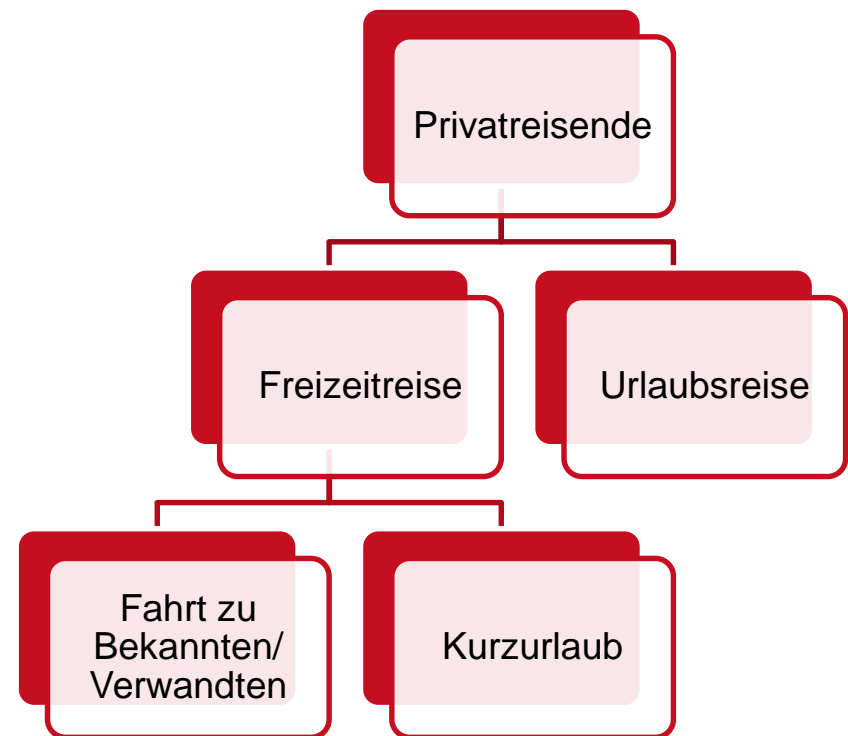
Produktklasse	Reisen	Umsatz	Faktor
First Class	2,3 %	7,2 %	3,13
Standard	12,3 %	19,7 %	1,60
Discount	85,4 %	73,1 %	0,86

Datenquelle: Cole (1992)

- Stärkere Nutzung des **Discount**-Sektors
 - Gesparter Preis wichtiger als entstehende Einschränkungen
 - Discount bezeichnet bei Cole auch Rabattkarten (BahnCard etc.)
- Vergleich der Faktoren der First Class (Geschäftsreisende: 2,05):
 - Niedrigerer Durchschnittspreis über alle verkauften Fahrkarten
→ Entweder Fahrkarten günstiger oder Distanzen geringer

Vorstellung der **Privatreisenden**

- Aufteilung der Privatreisenden nach **Zweck der Reise** und **Reisedauer**
- Kurze Reisen:
 - Zeit wichtiger als Komfort
- Lange Reisen:
 - Komfort wichtiger als Zeit



Vorstellung der Fernpendler

- In der Literatur wenig Aussagen zum Verhalten von Fernpendlern
- Erwartbares Verhalten:
 - Hohe Zeitsensitivität, weil viel Zeit mit dem Pendeln verbracht wird
 - Gewisse Preissensibilität, weil monetäre Belastung
 - Komfortpräferenz (bes.: Umsteigen)
 - Präferenz zu zuverlässigen Verbindungen (**kein Indikator** im Modell)
 - „Mischgruppe“ zwischen Privat- und Geschäftsreisenden
 - Unterscheidung zwischen Wochenend- und Tagespendlern notwendig
- Untersuchung des BMVBS 2006 zeigt:
 - Pendelweite steigt an,
Pendeldauer aber nicht

Modellierung: **Monetarisierung** der Widerstände

Zeit

- Zeitkosten der Fahrtzeit
10–30 €/h
- Abhängig von der Zielgruppe

Komfort

- Komfortkosten 0 €/h im ICE bis maximal 6 €/h in der S-Bahn
- Gewichtung des Reisekomforts des Verkehrsmittels: Sitze, Bordservice, Ruhebereiche, ...

Umstiege

- Zeitkosten beim Umstieg zwischen 13–40 €/h
- Zusätzlich: Umsteigewiderstand 6–14 € je Umstieg, Verdopplung ab drei Umstiegen

Preis

- Preis ist bereits monetarisiert
- Preisbereitschaft drückt sich in den anderen Widerständen aus
→ keine Gewichtung notwendig

Beispiele der Monetarisierung: Berlin – Hamburg

- Beispielfahrt Berlin Hbf – Hamburg Hbf

		ICE 706	EC 172
Berlin Hbf	ab	18:39	19:06
Hamburg Hbf	an	20:21	21:15
Dauer		01:42	02:09
Preis		79,00 €	65,00 €

Datenquelle: DB RIS

Beispiel der Monetarisierung: Zielgruppen

- Beispieldaten für Berlin Hbf – Hamburg Hbf (inklusive Fahrpreis):

ICE 706 [79,00 €]	Geschäfts- reisende	Pendler	Urlauber
Zeitkosten	51,00 €	34,00 €	17,00 €
Komfortkosten	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Summe	130,00 €	113,00 €	96,00 €

EC 172 [65,00 €]	Geschäfts- reisende	Pendler	Urlauber
Zeitkosten	64,50 €	43,00 €	21,50 €
Komfortkosten	10,75 €	5,38 €	5,38 €
Summe	140,25 €	113,38 €	91,88 €

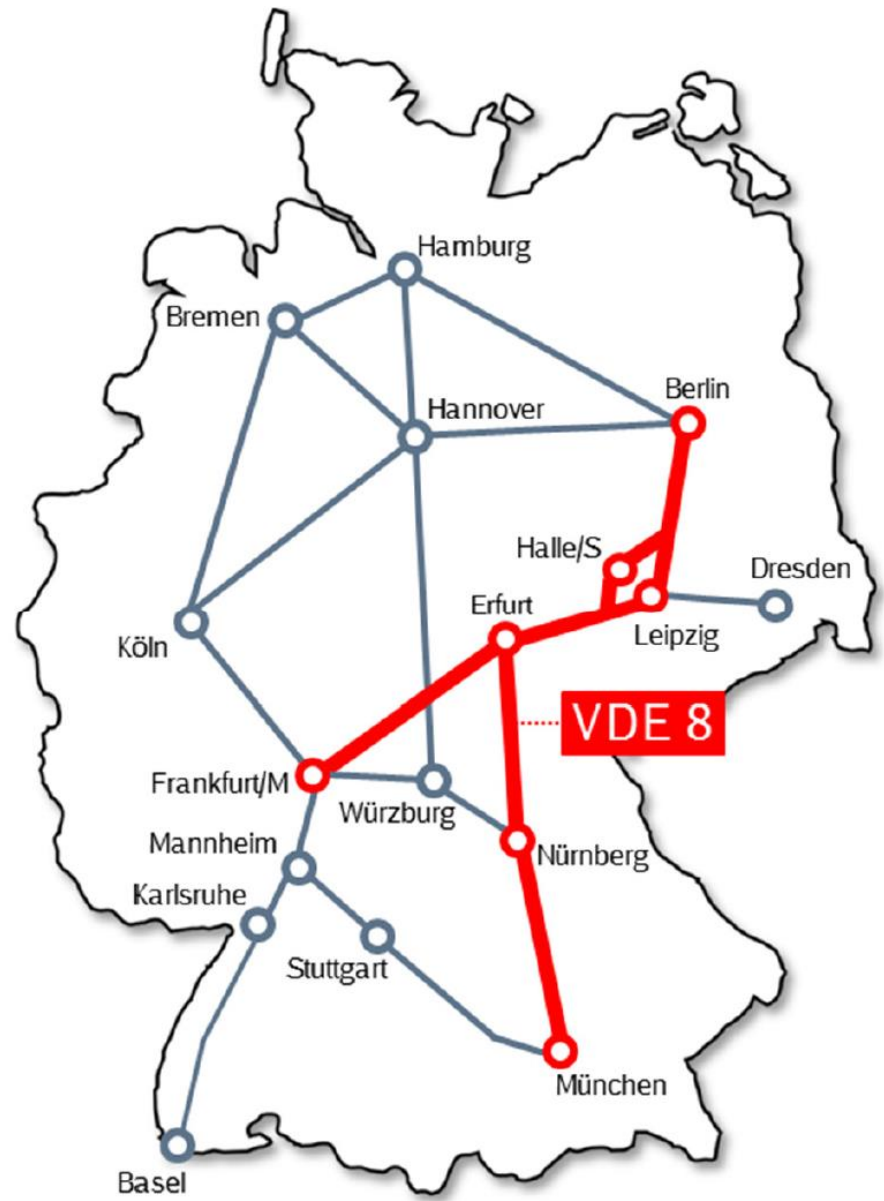
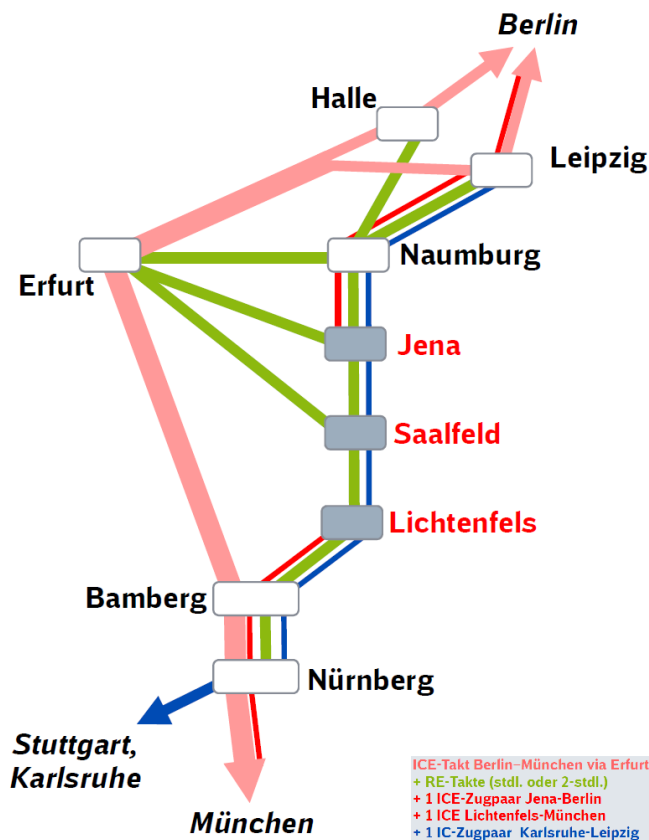
Das Beispiel VDE8

Berlin
unter 4 Stunden
München



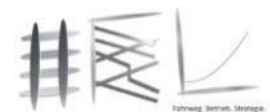
geänderte Darstellung nach: Deutsche Bahn, online unter <http://fgeb.org/files/SVV170914-Fahrgastsprechtag-Fernverkehr.pdf>

Das Beispiel VDE8






geänderte Darstellung nach: Deutsche Bahn, online unter <http://igeb.org/files/SVV170914-Fahrgastsprechttag-Fernverkehr.pdf>

geänderte Darstellung nach: Deutsche Bahn, online unter <http://igeb.org/files/SVV170914-Fahrgastsprechttag-Fernverkehr.pdf>



Das Beispiel VDE8: Verbindungen vorher

Regensburg Hbf	10:29	4:41	1	IC
Leipzig Hbf	15:10			
<input type="checkbox"/> Details verbergen		> Rückfahrt hinzufügen		
Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Gleis	Produkte	
Regensburg Hbf	ab 10:29	5	ICE 228	
Nürnberg Hbf	an 11:26	4		
 Umsteigezeit 8 Min.				
Nürnberg Hbf	ab 11:34	6	ICE 1610	
Leipzig Hbf	an 15:10	10		
> Zwischenhalte einblenden		 Verspätungen		
Hinweise fährt nicht täglich, 23. Okt bis 9. Dez 2017; nicht 5. Nov 2017, 13. bis 18. I				
<input type="checkbox"/> Bahnhofsinformationen		<input type="checkbox"/> Kartenansicht		

Regensburg Hbf	10:21	4:45	1	
Leipzig Hbf	15:06			
<input type="checkbox"/> Details verbergen		> Rückfahrt hinzufügen		
Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Gleis	Produkte	
Regensburg Hbf	ab 10:21	1	ALX84104	
Hof Hbf	an 12:20	4b		
 Umsteigezeit 13 Min.				
Hof Hbf	ab 12:33	1b	EBx81020	
Leipzig Hbf	an 15:06	6		
> Zwischenhalte einblenden				
Hinweise fährt nicht täglich, 23. Okt bis 9. Dez 2017				
<input type="checkbox"/> Bahnhofsinformationen		<input type="checkbox"/> Kartenansicht		

Das Beispiel VDE8: Vergleich vorher – nachher

Regensburg Hbf	10:29	4:41	1	IC
Leipzig Hbf	15:10			
<input type="checkbox"/> Details verbergen		<input type="checkbox"/> Rückfahrt hinzufügen		
Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Gleis	Produkte	
Regensburg Hbf	ab 10:29	5	ICE 228	
Nürnberg Hbf	an 11:26	4		
<input type="checkbox"/> Umsteigezeit 8 Min.				
Nürnberg Hbf	ab 11:34	6	ICE 1610	
Leipzig Hbf	an 15:10	10		
<input type="checkbox"/> Zwischenhalte einblenden		<input type="checkbox"/> Verspätung		
Hinweise fährt nicht täglich, 23. Okt bis 9. Dez 2017; nicht 5. Nov 2017, 13. bis 18. I				
<input type="checkbox"/> Bahnhofsinformationen		<input type="checkbox"/> Kartenansicht		

Regensburg Hbf	10:32	3:38	1	IC
Leipzig Hbf	14:10			
<input type="checkbox"/> Details verbergen		<input type="checkbox"/> Rückfahrt hinzufügen		
Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Gleis	Produkte	
Regensburg Hbf	ab 10:32		ICE 228	
Nürnberg Hbf	an 11:27			
<input type="checkbox"/> Umsteigezeit 38 Min.				
Nürnberg Hbf	ab 12:05		ICE 1510	
Leipzig Hbf	an 14:10			
<input type="checkbox"/> Zwischenhalte einblenden		<input type="checkbox"/> Verspätung		
Hinweise fährt nicht täglich, <input type="checkbox"/> Verkehrstage				
<input type="checkbox"/> Bahnhofsinformationen		<input type="checkbox"/> Kartenansicht		

Bildquelle: DB/RS

Datenmodell: Primärdaten

- Grundlage der Daten vom Online-Planspiel BahnPlan
 - Hohe Datenverfügbarkeit
 - Nutzung der deutschen Geographie und Infrastruktur
aber: Modellierung nur von Bahnhöfen, ohne Haltepunkte
→ aus modelltechnischer Sicht uninteressant!
 - Vollständiger Wettbewerb („englisches Modell“) → viele Verbindungen
 - Fahrplan auf Wochenbasis → Umfang nicht zu groß, keine Feiertage
 - Kein Nachtverkehr, da Fahrten über den Nachtsprung veränderten Präferenzen unterliegen
- Primärdaten
 - Daten der Züge (Verkehrstage, Zuggattung, Fahrpreis)
 - Daten des Zuglaufs (Haltestationen und -zeiten)
 - Daten des Netzwerks (Abstände zwischen Stationen, Einwohnerzahlen)

Datenmodell: Sekundärdaten

Zuerst:

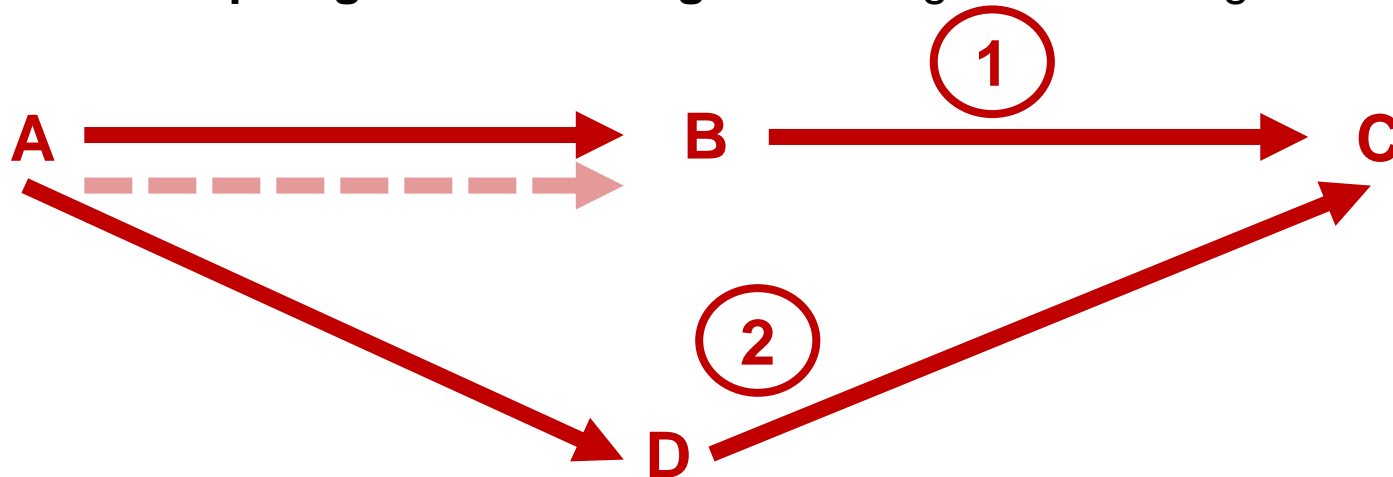
- Verrechnung der vorgenannten Präferenzen in **virtuellen Preis**, um Berechnung zu beschleunigen (eine Präferenz statt mehrerer)
→ Differenzierung nach der Berechnung aller Verbindungen

Danach: Nutzung des Ablaufschemas

- Berechnung der Direktverbindungen
- Zum Aufbau der Verbindungen des ersten Umstiegs:
 - Mögliche Umstiege zwischen Zügen
 - Parallel verkehrende Züge
 - Mögliche Umstiege zwischen Verbindungen
- Verbindungen mit einem Umstieg

Algorithmus zur Bildung von Verbindungen

- Berechnung der Verbindungen mit zwei bis fünf Umstiegen auf Basis der Verkettung der Verbindungen mit einem Umstieg
 - Spart Rechenzeit, weil beste Lösung muss sich im **Tupel der Verknüpfung bester Lösungen** vorheriger Verbindungen befinden



Algorithmus zur Bildung von Verbindungen

- Berechnung der Verbindungen mit zwei bis fünf Umstiegen auf Basis der Verkettung der Verbindungen mit einem Umstieg
 - Spart Rechenzeit, weil beste Lösung muss sich im **Tupel der Verknüpfung bester Lösungen** vorheriger Verbindungen befinden
 - Separate Betrachtung von **parallelen Zügen** notwendig:

Bahnhof		Zug #1	Zug #2	Zug #3	Zug #4
Berlin Hbf	ab	08:20			
Hannover Hbf	an	10:15			
Hannover Hbf	ab		10:20	10:50	
Dortmund Hbf	an		11:50	12:20	
Dortmund Hbf	ab				12:25
Köln Hbf	an				13:35

Zeiten beispielhaft ausgewählt.

Einsparpotential durch **Optimierung des Algorithmus**

- Optimierung durch die Nutzung des „**beste Tupel**“-Ansatzes

Szenario	Verbindungen	Anteil
Ohne Optimierungen	85.285.504	100,00 %
Mit Optimierungen	26.428	0,03 %

Beispiel: Abfahrende Verbindungen in Stuttgart Hbf, zwei Umstiege

- Optimierung durch Entfernung nicht sinnvoller Verbindungen **während** der Erzeugung (statt **nach** der Erzeugung) sowie der veränderten Entfernung (bei partieller Verkehrstageüberdeckung)

Szenario	Verbindungen	Anteil
Ohne Optimierungen	76.310	100,0 %
Mit Optimierungen	8.064	10,6 %

Beispiel: Abfahrende Verbindungen in Stuttgart Hbf, drei Umstiege

Bestimmung der **optimalen Verbindungen**

- Optimal ist eine Verbindung zwischen zwei Stationen dann, wenn sie für die jeweilige Zielgruppe **pareto-optimal** ist, also **keine** Verbindung existiert, die
 - **Schneller** ist,
 - **Günstiger** ist,
 - **weniger Umstiege** oder
 - **mehr Komfort** aufweist
- Entsprechend gibt es für Angehörige einer Zielgruppe keine Auswahlmöglichkeit, sondern **genau eine** optimale Verbindung

Tarifierung

- Mögliche generelle Tarifmodelle:
 - Entfernungsabhängiger Tarif
 - Regressiv (Grenzpreis sinkt bei steigender Entfernung)
 - Linear (Grenzpreis bleibt immer gleich)
 - Progressiv (Grenzpreis steigt bei steigender Entfernung)
 - Relationstarif
 - unabhängig von der Entfernung, nur aufgrund der Start-Ziel-Relation
- Weitere Tarifbestandteile:
 - Grundpreis („Preis für den ersten Kilometer“)
 - Höchstpreis („price cap“)
 - Zusatzleistungen (Fahrradbeförderung, Zuschlag für 1. Klasse, ...)

Beispiel der Raumbegrenzung



Online-Ticket

Bitte auf A4 ausdrucken

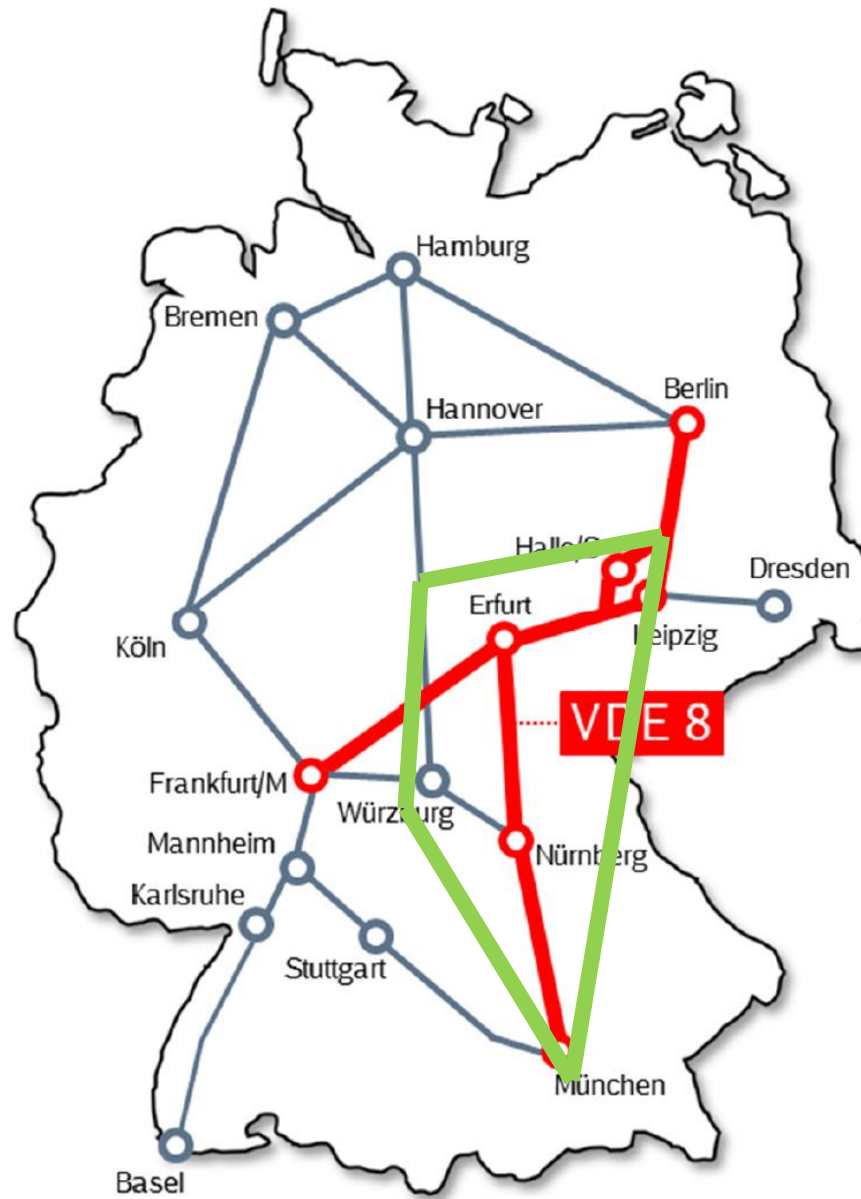
ICE Fahrkarte

Gültigkeit: am 14.11.2016	
Gilt in Zügen des Fern- und Nahverkehrs	
LIDL+Regio (Einfache Fahrt)	
Klasse:	2
Erw.:	1
Hinfahrt:	Kassel → München, mit ICE
Über:	(EICH*LEIF*NDH*SGH*ROBL*HAL*L*WSF*NMB*JS*RU München ICE *SLF*HOCK*PRO*LIF*BA*ER*N*IN/ FD*GEM*WUE*STEI*DON*A)
Kein Umtausch, keine Erstattung	

Zahlungspositionen und Preis

Positionen	Preis	MwSt (D) 19%	MwSt D: 7%
ICE Fahrkarte 1	5,00€	5,00€	0,80€
Summe	5,00€	5,00€	0,80€

Bildquelle: ICE-Treff/Azerty, online unter <http://www.ice-treff.de/index.php?mode=thread&id=458188>

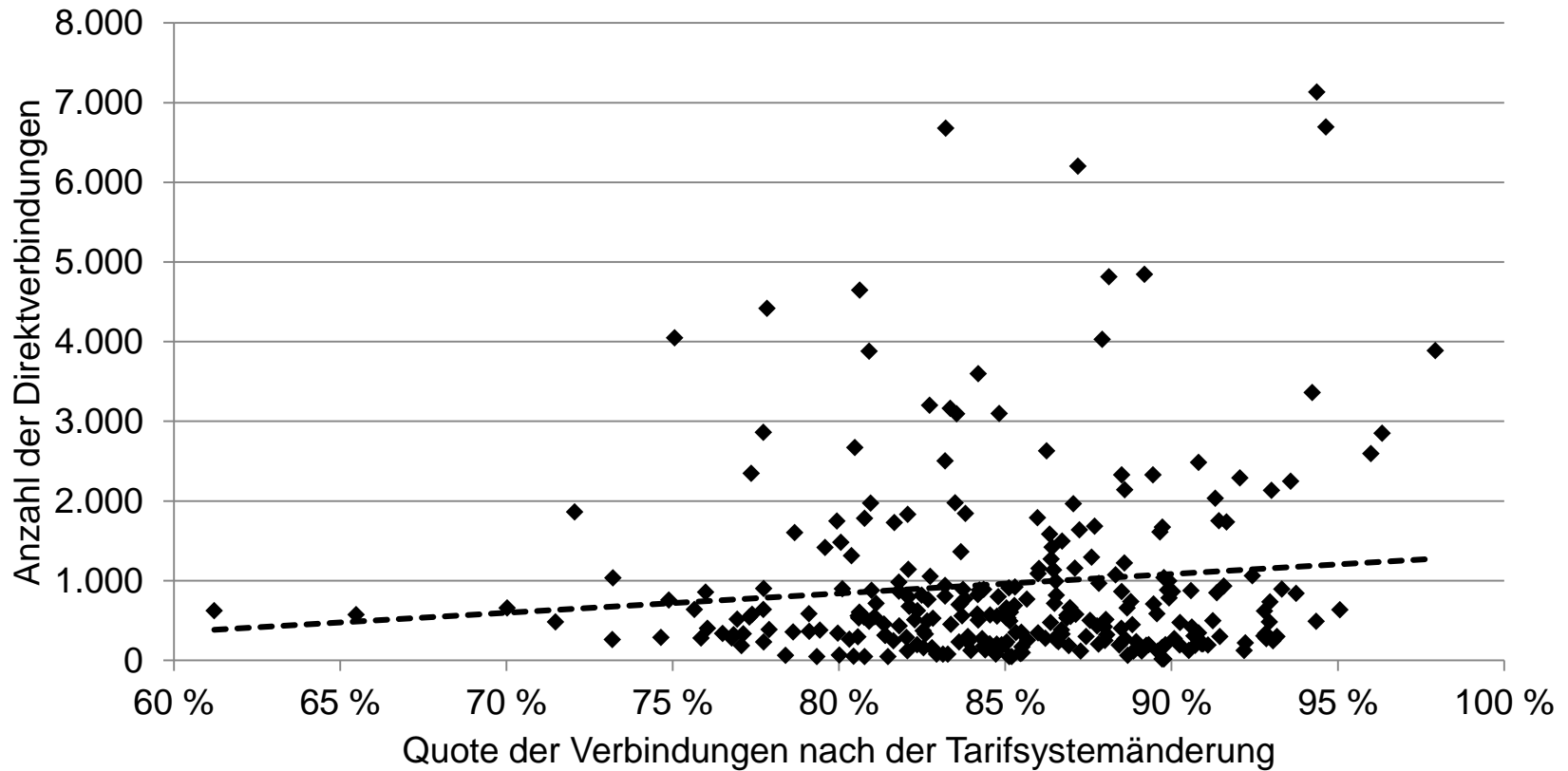


Auswirkung der Tarifierung auf Routenoptionen

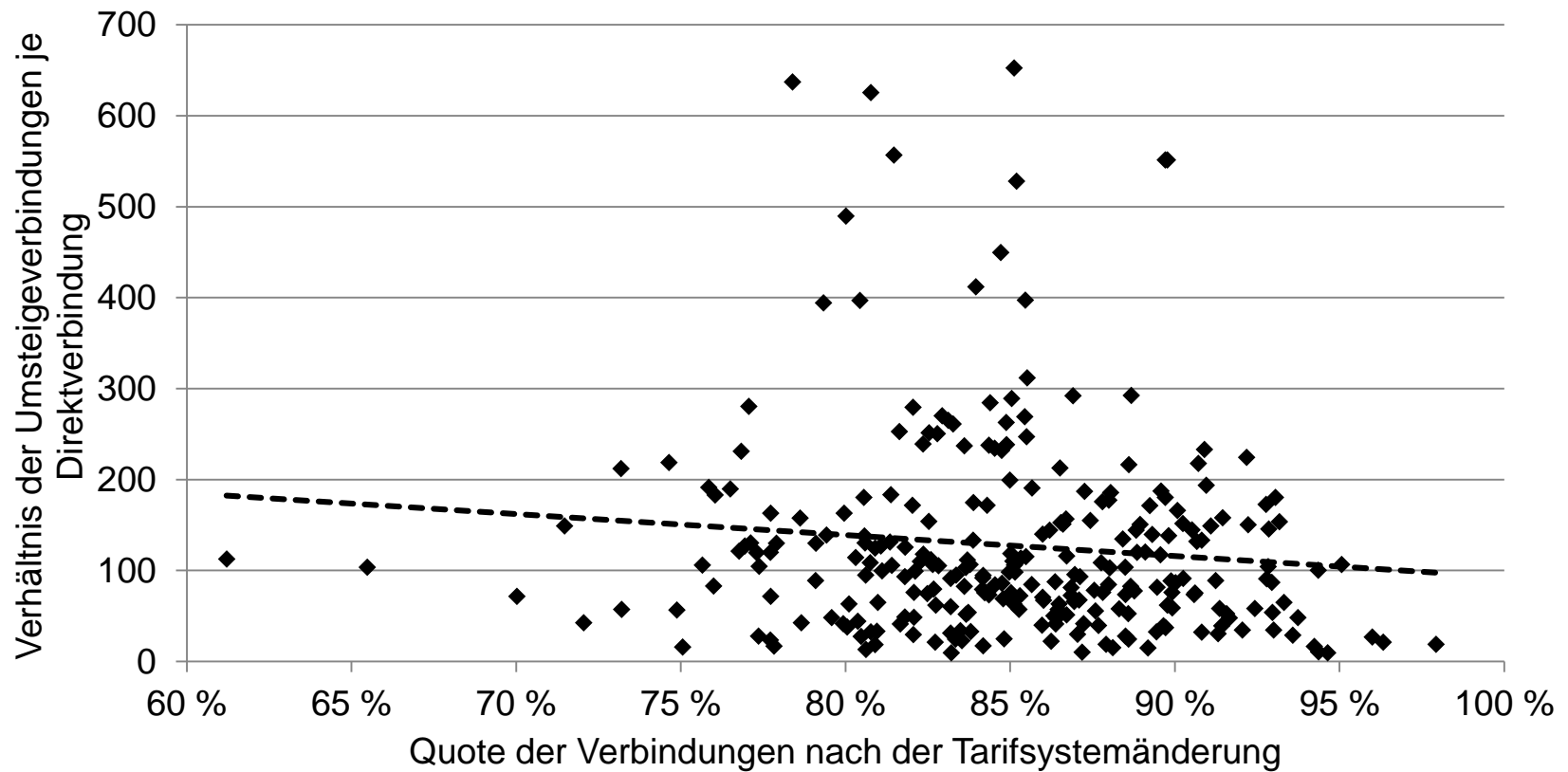
- Beispielhafte Betrachtung anhand von sechs ausgewählten Stationen im Netz

Startstation	Ohne Umstieg erreichbare Stationen	Verbindungen (entfernungsabhängiger Tarif)	Verbindungen (Relationspreissystem)	Quote
Berlin Hbf	173	67.541	50.690	75,05 %
Schwerin Hbf	43	60.844	47.081	77,38 %
Hannover Hbf	157	65.354	52.689	80,62 %
Lehrte	30	82.911	69.459	83,78 %
Norddeich Mole	16	21.784	19.008	87,26 %
Westerland (Sylt)	12	33.147	30.567	92,22 %

Regressionsgerade: Direktverbindungen gegen Quote



Umsteigeverbindungen je Direktverbindung gegen Quote



Fazit und Ausblick

- Modellierung der Fahrgäste zu Clustern war richtig für die Verwendung in Routensuche
- Algorithmus zur Routenerzeugung ist praktisch anwendbar
 - Prognose von Verkehrsströmen als Folgeproblem
 - Optimierung ermöglicht Nutzung auch auf Heimcomputern
- Tarifierung hat Auswirkungen auf Routenoptionen
 - Abhängigkeit von Lage im Netz und Anzahl der Verbindungen
- Mögliche Vertiefungen:
 - Verwendung des Algorithmus zur Prognose von Verkehrsströmen
 - Untersuchung genauerer Ursachen der Auswirkungen der Tarifierung
 - Anwendung des Ansatzes auf größere Untersuchungsgebiete oder andere Verkehrsträger (z. B. ÖPNV)

Eines wäre da noch zu klären...

Suche **Auswahl** Ticket & Optionen Zahlung Prüfen & Buchen Bestätigung

Hinfahrt **Zittau → BERLIN**
Fr, 28.04.17, ab: 11:19

Reisende **1 Erwachsener, 2. Klasse**

[Angaben ändern](#)

Häufige Fragen

- > Wo finde ich Sparpreise?
- > Was bedeutet "Preisankunft nicht möglich"?
- > Alle häufigen Fragen

Hinfahrt am 28.04.17 Druckansicht

Bahnhof/Haltestelle	Zeit	Dauer	Umst.	Produkte	Sparangebote	Flexpreis
^ Früher Preis für alle Reisenden inkl. Ermäßigungskarten*						
Zittau Berlin Hbf	12:01 15:24	3:23	1	OE, RE	44,00 EUR	52,80 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden	> Rückfahrt hinzufügen		Zur Angebotsauswahl			
Zittau Berlin Hbf	13:01 16:24	3:23	1	OE, RE	44,00 EUR	52,80 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden	> Rückfahrt hinzufügen		Zur Angebotsauswahl			
Zittau Berlin Hbf (tief)	12:32 16:57	4:25	1	TL, EC	29,00 EUR	59,50 EUR
<input type="checkbox"/> Details einblenden	> Rückfahrt hinzufügen		Zur Angebotsauswahl			

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Dr.-Ing. Johannes Friedrich

jfriedrich@railways.tu-berlin.de

Tel. (030) 314-79827