

Verkehrsbetriebslehre und Logistik, Institut für Wirtschaft und Verkehr

ANSÄTZE ZUR MODELLBASIERTEN TICKETPORTFOLIO-OPTIMIERUNG IM ÖFFENTLICHEN PERSONENVERKEHR

Prof. Dr. Jörn Schönberger
Berlin, 29. June 2017

Agenda

- Die Rolle von Ticketverkäufen für ÖPV-Unternehmen
- Ticket-Portfolio-Optimierungs-Problem
- Literatur-basierte Problem-Klassifikation
- Basismodell (Einzelfahrten)
- erste Experimental-Ergebnisse
- Berücksichtigung von Zeitkarten

Warum gerade mit „Fahrkarten“ beschäftigen ...

■ Möglichkeiten & Chancen

- *proaktive Planung für Leistungsanbieter*
- *Integration anderer Mobilitäts-Services („Mobility as a Service“)*
- *Ansprechen zusätzlicher Fahrgäste ⇒ Fahrgastzahlen-Zunahme*

■ Herausforderungen

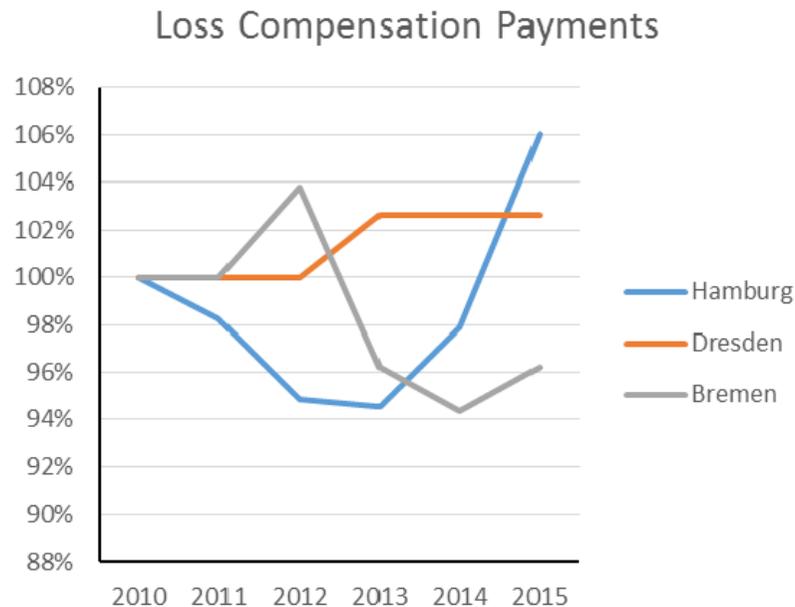
- *„schwierige“ / spezielle Anwendungsdomäne*
- *massiver Datenbedarf vs. umfangreiche Datenbestände*
- *Definition konkreter Planungsziele & Restriktionen*
- *Zusammenbringen verschiedenster „Ticket-Logiken“*

Die Rolle von Ticketverkäufen im ÖPV (1 / 2)

Costs vs. revenues from ticket sales (2015)

	BVG Berlin	Hochbahn Hamburg	DVB Dresden	BSAG Bremen
passengers (in Mio.)	1.045	433	153	103
loss compensation (Mio EUR)	304	60	39	51
revenues sold tickets (Mio EUR)	705	395	101	88
contribution of ticket revenues to performance	86%	78%	72%	75%
cost covering degree	63%	88%	72%	56%

Die Rolle von Ticketverkäufen im ÖPV (2 / 2)



- **Zahlungen zum Verlustausgleich durch öffentliche Hand sollen tendenziell reduziert werden**
- **von Anbietern werden**
 - *bessere Leistungsqualität &*
 - *Investitionen in Fahrzeuge & Infrastruktur gefordert*
- **Wie können die Erlöse erhöht werden?**

Das Ticket Portfolio Optimierungs-Problem im ÖPV

VVO-Tarif Ein Ticket. Alles fahren. Verkehrsverbund Oberelbe

Stand 11. Dezember 2016

Preisstufe mit Gültigkeit	Preisstufe mit Gültigkeit	Preisstufe mit Gültigkeit	Preisstufe mit Gültigkeit
Einzelfahrt	1 1 Tarifzone ¹ , max. 1 Stunde	1,60 ¹⁾	3,30
	2 2 Tarifzonen, max. 1,5 Stunden	2,90 ¹⁾	4,10
	3 3 Tarifzonen, max. 2 Stunden	4,30 ¹⁾	6,30
	4 Verbundraum, max. 4 Stunden	5,70 ¹⁾	8,30
Her-Karte	F Karlsruher Her-Tarif	5,50 ¹⁾	8,50
	T-4 je nach Anzahl	5,20 ¹⁾	8,20
Tagekarte	A 1 Tarifzone ²	5,00 ¹⁾	6,00 ¹⁾
	B 2 Tarifzonen ²	7,00 ¹⁾	8,50 ¹⁾
	D Verbundraum	11,50 ¹⁾	14,50 ¹⁾
Nachtticket	D Verbundraum, nur 18 bis 6 Uhr		7,00
Familientagekarte¹	A 1 Tarifzone ²		9,00
	B 2 Tarifzonen ²		13,00
	D Verbundraum		19,00
Kleingruppenticket¹	A 1 Tarifzone ²		15,00
	B 2 Tarifzonen ²		21,00
	D Verbundraum		28,00
Schülergruppenticket¹	A 1 Tarifzone ²		1,00
	B 2 Tarifzonen ²		3,00
	C 1 Tarifzone ² und umliegende		3,00
	D Verbundraum		4,00
Tagekarte Bbe-Labe	D+CF Verbundraum + Bezirk Üst n. L.		16,50
Kleingruppenticket Bbe-Labe	D+CF Verbundraum + Bezirk Üst n. L.		33,00
Wochenticket	A 1 Tarifzone ¹ (außer TZ Dresden)	13,00 ¹⁾	17,00
	A.1 Tarifzone Dresden	16,00 ¹⁾	21,00
	B 2 Tarifzonen ²	33,50 ¹⁾	31,00
	C 1 Tarifzone ² und umliegende	35,00 ¹⁾	46,50
	D Verbundraum	46,00 ¹⁾	61,50
Monatsticket	A 1 Tarifzone ¹ (außer TZ Dresden)	35,00 ¹⁾	47,00
	A.1 Tarifzone Dresden	64,00 ¹⁾	59,00
	B 2 Tarifzonen ²	64,50 ¹⁾	86,00
	C 1 Tarifzone ² und umliegende	92,70 ¹⁾	129,00
	D Verbundraum	127,90 ¹⁾	170,50
0-Uhr-Monatsticket	A 1 Tarifzone ¹ (außer TZ Dresden)		41,00
	A.1 Tarifzone Dresden		50,00
	B 2 Tarifzonen ²		74,50
	C 1 Tarifzone ² und umliegende		111,50
	D Verbundraum		146,50
Abi-Monatsticket	A 1 Tarifzone ¹ (außer TZ Dresden)	30,50 ¹⁾	39,90
	A.1 Tarifzone Dresden	27,30 ¹⁾	40,70
	B 2 Tarifzonen ²	54,90 ¹⁾	75,00
	C 1 Tarifzone ² und umliegende	61,90 ¹⁾	109,30
	D Verbundraum	108,60 ¹⁾	144,80
0-Uhr-Abi-Monatsticket	A 1 Tarifzone ¹ (außer TZ Dresden)		34,90
	A.1 Tarifzone Dresden		42,50
	B 2 Tarifzonen ²		62,30
	C 1 Tarifzone ² und umliegende		94,80
	D Verbundraum		126,30
Jahresticket	A 1 Tarifzone ¹ (außer TZ Dresden)	342,00 ¹⁾	459,00
	A.1 Tarifzone Dresden	404,00 ¹⁾	546,80
	B 2 Tarifzonen ²	627,00 ¹⁾	837,00
	C 1 Tarifzone ² und umliegende	696,00 ¹⁾	1.234,00
	D Verbundraum	1.262,00 ¹⁾	1.663,00
Tagekarte Fahrrad¹	A 1 Tarifzone ²		3,00
	D Verbundraum		3,00
Tagekarte Bbe-Labe Fahrrad¹	D+CF Verbundraum + Bezirk Üst n. L.		4,00
Monatsticket Fahrrad¹	D Verbundraum		17,00

1 Gültigkeit mit Oberelbem 11-Tarif 2 gültig für Personalausweiskarte 3 gilt auch für Personen ab 66 Jahren 4 Gültigkeit ab 18 Uhr 5 Preisniveau und sonst 6 Gültigkeit bis zum 15. Oktober bis zum 15. Oktober 7 Gültigkeit ab 18 Uhr 8 Gültigkeit bis zum 15. Oktober bis zum 15. Oktober

- Definition der richtigen Service-Produkte (repräsentiert durch die „Tickets“)

- Kompromiss zwischen

- *umfassendem Portfolio (bester Service) und*
- *schlankem Portfolio (einfach & ggf. billiger)*

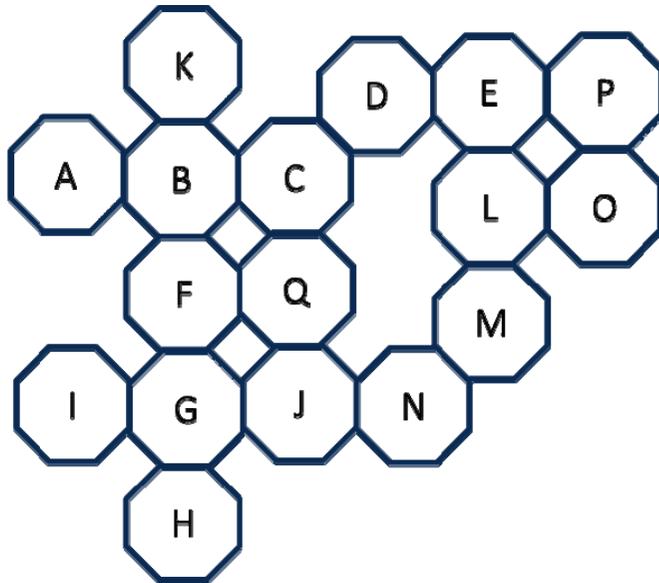
- Zielfunktion: möglichst viele Fahrgäste erreichen

- Restriktion: höchstens N^{\max} Tickets anbieten

Klassifikation des Entscheidungsproblems



Was ist ein Einzelfahrt-Ticket?



- $V = \{A; B; \dots; Q\}$ Menge von Tarif-Zonen
- $(X; Y) \in V \times V$ heißt OD-Fahrt
- $T \subseteq V \times V$ heißt Ticket T
- erlaubt eine OD-Fahrt zwischen Zonenpaaren aus T
- „zulässig für OD-Fahrt $(X; Y)$ “
 $\Leftrightarrow (X; Y) \in T$
- Distanz-Ticket T_n erlaubt OD-Fahrt, die n verbundene Zonen berührt

Evaluierung / Bewertung eines Tickets

- **Herausforderung: Verkaufspreis ist noch nicht bekannt**
- **Idee: Überzahlungen für zu Fahrgastverlusten („unfair“)**
 - „Reisebedarf“ $m < n$ Zonen, aber Notwendigkeit des Kaufs des Tickets T_n für n Zonen
 - Voraussetzung: rationales Entscheiden von pot. Fahrgästen
- **zwei Evaluierungs-Parameter für ein Ticket**
 - $FEAS(T; A; B) \in \{0; 1\}$: $FEAS(T; A; B) = 1 \Leftrightarrow$ Ticket T ist zulässig für OD-Fahrt $(A; B)$
 - $G(T; A; B) :=$ induzierter Fahrgastverlust auf Relation $(A; B)$ falls Ticket T „bestes Angebot“ auf dieser Relation

Basis-Modell: Parameter & Entscheidungsvariablen

■ Parameter

- T^{all} : Menge aller möglichen Tickets
- N^{max} : maximale Anzahl von Tickets im Portfolio
- L^{max} : maximal erlaubter Fahrgastverlust

■ Entscheidungsvariablen

- $y_t = 1 \Leftrightarrow$ Ticket $t \in T^{all}$ wird in das Portfolio aufgenommen
- $z_{tab} = 1 \Leftrightarrow$ Ticket t wird ausgewählt als Ticket für OD-Fahrt $(a; b)$
- G_{ab} : Anzahl verlorener Fahrgäste auf OD-Relation $(a; b)$

Einfaches Nachfragemodell (wahrscheinlich zu einfach ...)

■ Nachfrageverteilung im Netzwerk

- *Annahme: Gleichverteilung über alle OD-Relationen*
- *Eine einzige OD-Relation: λ Prozent mehr Nachfrage als alle anderen*

■ Induzierter Fahrgastverlust

- *$f(a; b)$ = geringste Zonenzahl, um von A nach B zu reisen*
- *n_t = erlaubte Zonenzahl für Ticket t*

$$G_{\beta}(t; a; b) = \begin{cases} 0, & n_t \leq f(a; b) \\ \sum_{i=1}^{n_t - f(a; b)} D(a; b) \cdot \beta^i & n_t > f(a; b) \end{cases}$$

Portfolio Composition Modelle

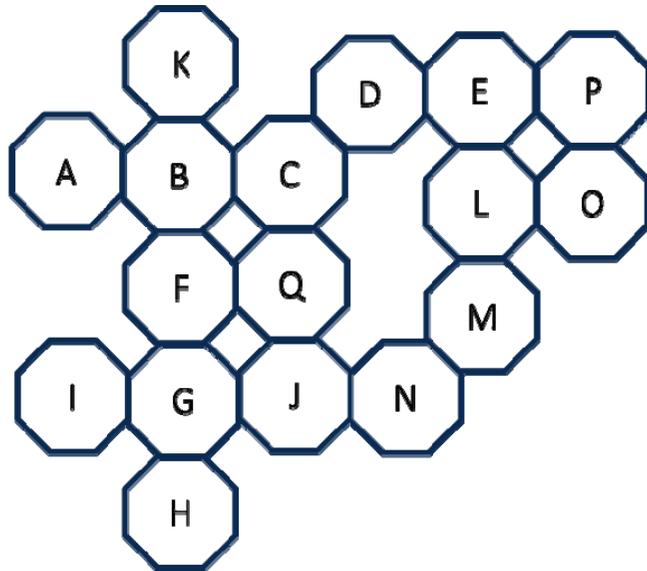
Passenger Loss Modell

$\sum_{t \in T^{all}} z_{tab} = 1 \quad \forall (a; b) \in V \times V$	(1)
$z_{tab} \leq y_t \cdot FEAS(t; a; b) \quad \forall t \in T^{all} \forall (a; b) \in V \times V$	(2)
$G_{ab} \geq \sum_{t \in T^{all}} z_{tab} \cdot G(t; a; b) \quad \forall (a; b) \in V \times V$	(3)

Portfolio Minimization Model

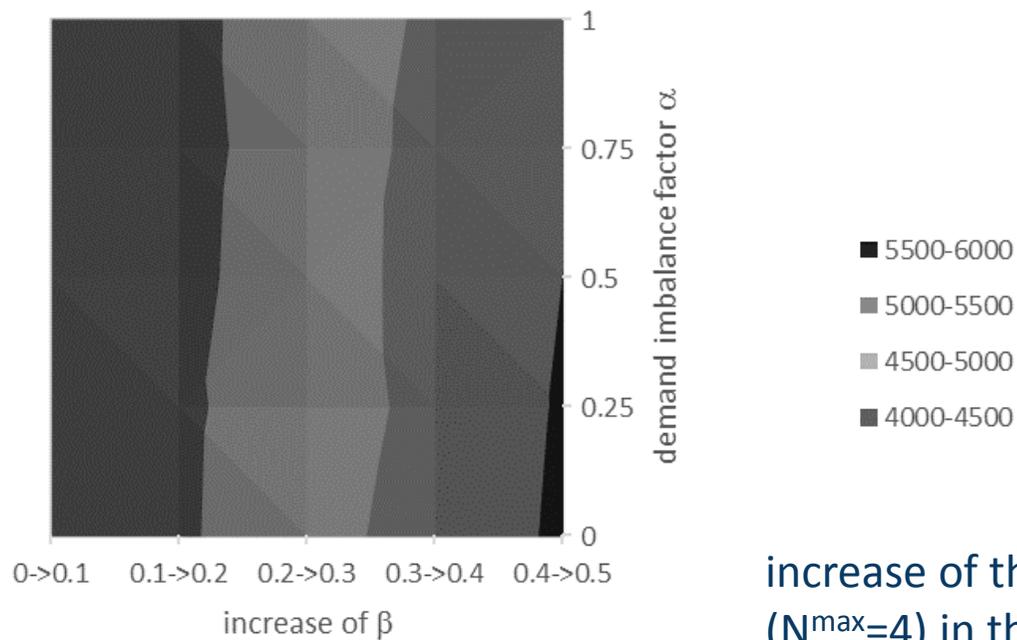
$\sum_{t \in T^{all}} z_{tab} = 1 \quad \forall (a; b) \in V \times V$	(1)
$z_{tab} \leq y_t \cdot FEAS(t; a; b) \quad \forall t \in T^{all} \forall (a; b) \in V \times V$	(2)
$G_{ab} \geq \sum_{t \in T^{all}} z_{tab} \cdot G(t; a; b) \quad \forall (a; b) \in V \times V$	(3)

Experimente



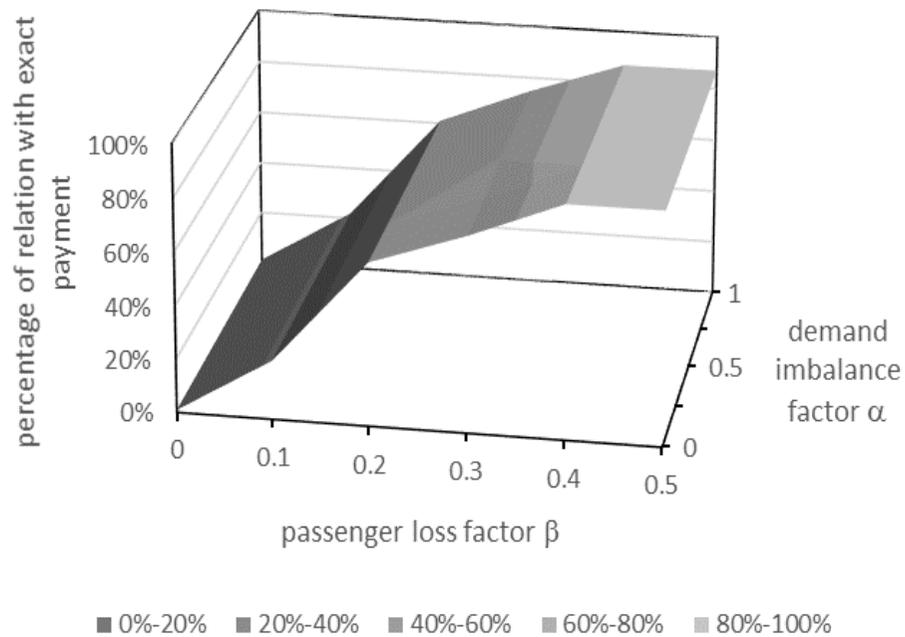
- 17 Tarif-Zonen
- längste Strecke „berührt“ 8 Zonen
- Entfernungstarif („touched zones“)
- $T^{\text{all}} := \{T_1, T_2, \dots, T_8\}$
- **Netzwerknachfrage: 100.000 OD-Fahrten**
- $\alpha \in \{0; 0.25; 0.5; 0.75; 1\}$
- $\beta \in \{0; 0.1; 0.2; \dots; 0.5\}$
- $L^{\text{max}} = 10.000, N^{\text{max}} = 4$

Ergebnisse (passenger loss model)



increase of the number of lost passengers
($N^{\max}=4$) in the passenger loss model

Ergebnisse (portfolio minimization modell)



relations with assigned tickets
that guarantee exact payment
(portfolio minimization model)

Zeittickets (1 / 2)

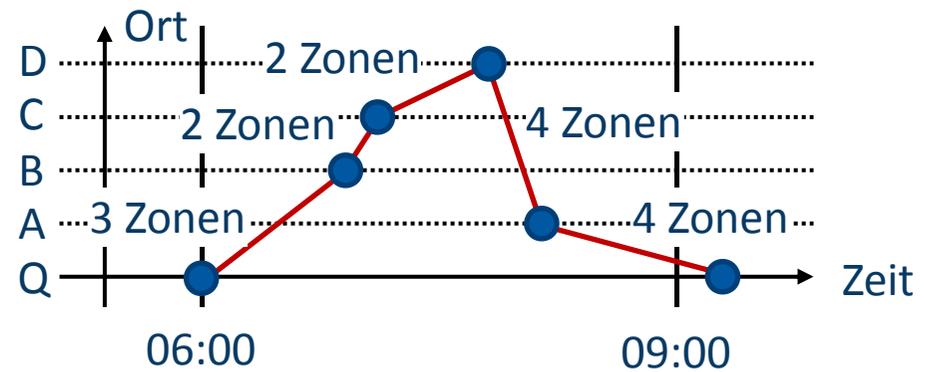
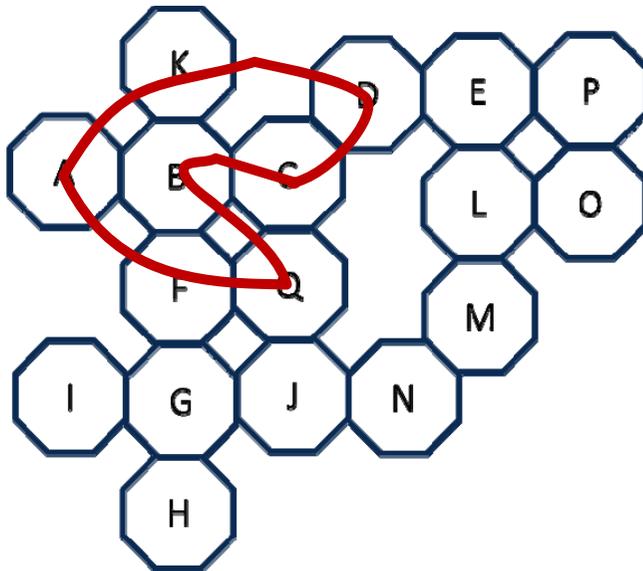
- Ein Ticket ermöglicht mehrere Fahrten
- Länge der Gültigkeits-Zeiträume: Stunden, Tag, Woche, Monat, Jahr, ...
- Positionierung der Gültigkeits-Zeiträume
 - *absolut (z.B. Montag – Sonntag)*
 - *relativ (z.B. 48h ab erster Nutzung)*
- Herausforderung: Berücksichtigung aller Mobilitätswünsche eines Fahrgasts / einer Fahrgastgruppe im Gültigkeitszeitraum

Zeittickets (2 / 2)

■ Logische Abhängigkeiten zwischen Zeitkartentypen

- *24·Verlust Stundenkarte > Verlust Tageskarte*
- *7·Verlust Tageskarte > Verlust Wochenkarte*
- *4·Verlust Wochenkarte > Verlust Monatskarte*
- *12·Verlust Wochenkarte > Verlust Jahreskarte*

Nutzungsprofile



- **Nutzungsprofil k mit Startzeit s:**
 $D(k,s) = \{ (Q,B); (B,C); (C,D); (D,A) \}$
- **Bewertung der Fahrten in $D(k,s)$?**

Evaluierung eines Nutzungsprofils

- **Nutzungsprofil k mit Startzeit s:** $D(k,s) = \{ (Q,B); (B;C); (C;D); (D;A) \}$
- **Ticketbedarf für ein Nutzungsprofil**
 - *Welche Tickets werden benötigt? $\Rightarrow T_2, T_3, T_4$*
 - *In welcher Anzahl werden welche Tickets benötigt? $\Rightarrow 2 \times T_2, 1 \times T_3, 2 \times T_4$*
- **notwendig: Überdeckung des Ticketbedarfs eines Nutzungsprofils**
 - *Durch welche Tickets / Ticketarten? In welcher Anzahl?*
 - *ausgewählte Tickets müssen Fahrgastverlust minimieren*

Modell-Modifikationen für Zeittickets (1 / 4)

■ Profil-bezogene Parameter für Subportfolios

- T^{all} enthält nun auch alle Zeittickets
- T^* ist eine Teilmenge von T^{all}
- $a(t, T^*) = 1 \Leftrightarrow$ Ticket t ist in T^* enthalten

■ Parameter zur Beschreibung von Nutzungsprofilen

- $\mathcal{D} :=$ Menge aller Nutzungsprofile P
- $N(P) :=$ Anzahl der Fahrgäste mit Nutzungsprofil P
- $FEAS(T^*, P) = 1 \Leftrightarrow T^*$ überdeckt Bedarf des Nutzungsprofil P
- $G(T^*, P) :=$ Fahrgastverlust bei Auswahl von T^* für Nutzungsprofil P

Modell-Modifikationen für Zeittickets (2 / 4)

■ Entscheidungsvariablen

- $Z_{T^*P} :=$ Subportfolio T^* wird für Nutzungsprofil P ausgewählt
- $G_P :=$ Fahrgastverlust für Nutzungsprofil P (nach Ticketauswahl)

■ Zielfunktion

$$\sum_{P \in D} N(P) G_P \rightarrow \text{minimiere}$$

Modell-Modifikationen für Zeittickets (3 / 4)

- Zielfunktion

$$\sum_{P \in D} N(P) G_P \rightarrow \text{minimiere}$$

- Überdeckung

$$\sum_{T \subseteq T^{\text{all}}} FEAS(T^*; P) z_{T^*P} \geq 1 \quad \forall P \in D$$

- zusätzliche Portfolio-Restriktionen

Modell-Modifikationen für Zeittickets (4 / 4)

- **Konsistenz-Sicherung bei der Portfolio-Zusammenstellung**

$$z_{T^*P} \cdot a(t; T^*) \leq y_t \quad \forall T^* \subseteq T^{all} \quad \forall t \in T^*$$

- **Ermittlung des Fahrgastverlusts (nach Ticketauswahl)**

$$G_P \geq \sum_{T \subseteq T^{all}} G(T^*; P) \quad \forall P \in D$$

Modell-Diskussion

- **Ausgestaltung in verschiedenen Versionen möglich**
 - *Passenger-Loss-Modell*
 - *Portfolio-Minimization-Modell*
- **Daten-Verfügbarkeit**
 - *extrem hohe Anzahl der Nutzungsprofile*
 - *Feststellung der Fahrgastverluste $G(T^*, P)$ schwierig*
 - *zu verwendendes Nachfrage-Modell unklar*

Zusammenfassung & Ausblick

■ Erkenntnisse

- *grundsätzliche Struktur des Entscheidungsproblems offen gelegt*
- *Datenbedarf ist nun klar*

■ offene Fragen

- *Reduktion der Problemkomplexität*
- *Entwicklung eines passenden Nachfragemodells*
- *Ableitung des Fahrgastverlusts*
- *können Real-Welt-Modelle noch exakt gelöst werden?*