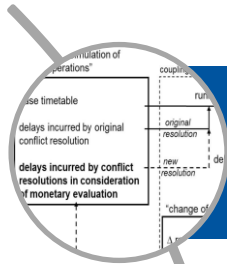


Berücksichtigung von Verkehrsmittelwahlmodellen im Rahmen einer monetären Bewertung von Dispositionsmaßnahmen

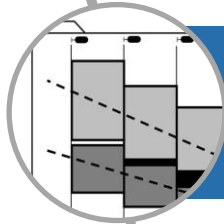
Dipl.-Ing. Marcel Schneider

Verkehrswissenschaftliches Institut und
Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft
der RWTH Aachen

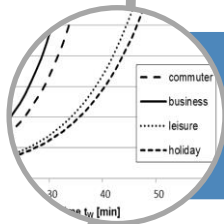
Agenda



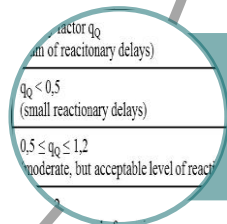
Problembeschreibung und Methodik



Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb



Verkehrsmittelwahlmodell



Monetäre Bewertung

Problembeschreibung

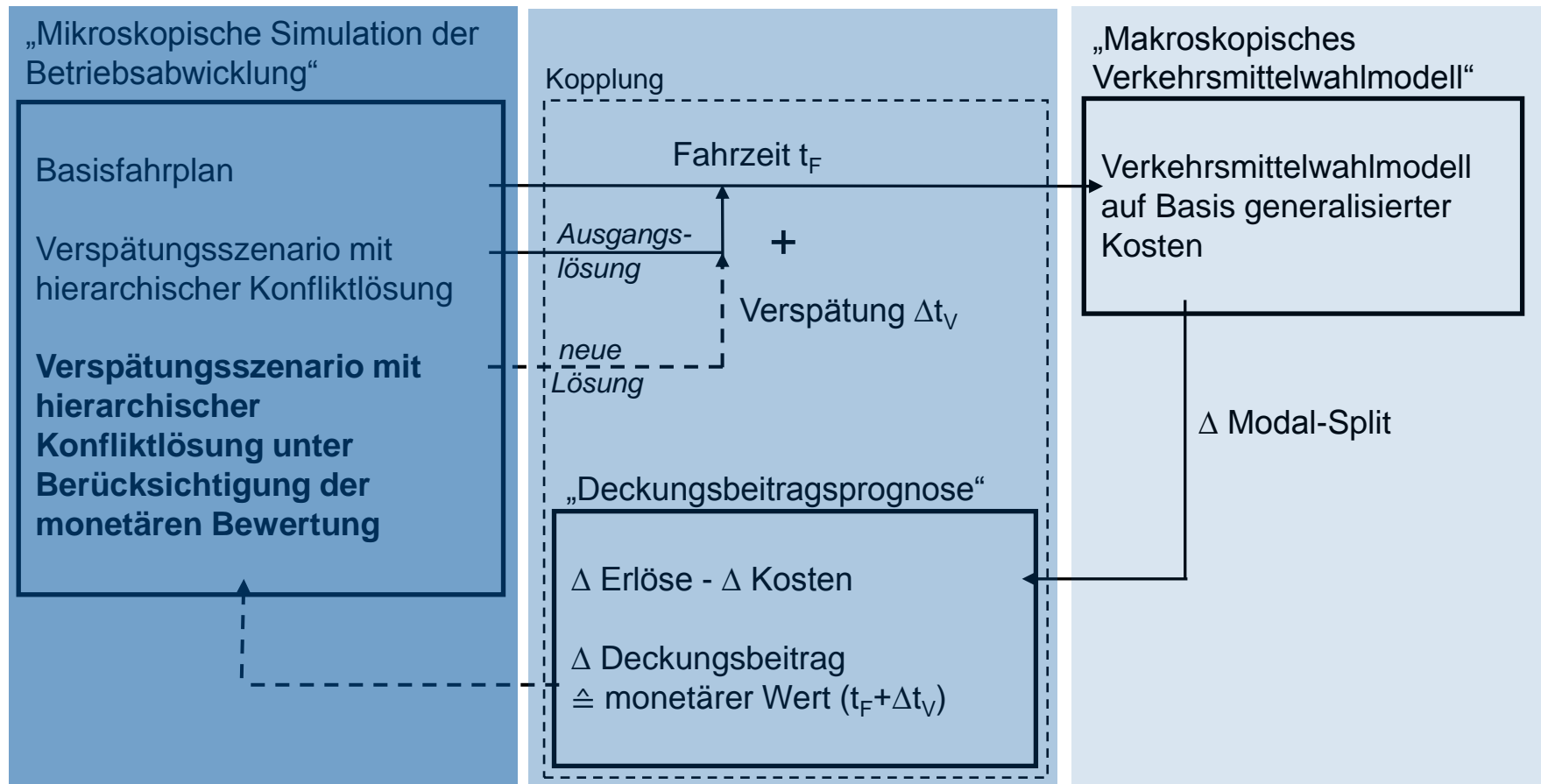
- Wir betrachten zwei verschiedene Prozessebenen in der Eisenbahnbetriebswissenschaft
→ Fahrplanerstellung und **Betriebsabwicklung**
 - Auftretende Konflikte zwischen Zügen auf der selben Trasse werden auf Basis ihrer vergebenen **Zugrängen** gelöst
 - Aus der gewählten Konfliktlösung resultieren **Folgeverspätungen** für wenigstens einen der betroffenen Züge
 - Diese werden zur Bewertung der Qualität des Eisenbahnbetriebs herangezogen
→ Es wird eine akzeptable Summe von Folgeverspätungen definiert und mit der vorhandenen Summe verglichen (Qualitätsfaktor)
 - Akzeptanzlevel basiert auf der Befragung von erfahrenen Disponenten und Fahrdienstleitern, kommt jedoch überwiegend bei der Langfristplanung und Dimensionierung von Bahnanlagen zum Einsatz
- Es findet keine Berücksichtigung des Einflusses von Wartezeiten auf den **Endkunden** statt

Problembeschreibung

Der neue Ansatz:

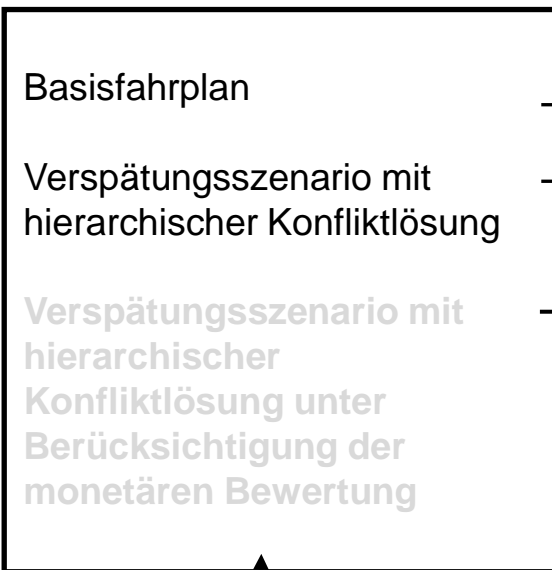
- Wechsel zu kurzfristigen Planungshorizonten (Dispositionsentscheidungen in der Betriebsabwicklung) basierend auf einer mikroskopischen Simulation
 - Der Einfluss von Verspätungen auf den Endkunden werden in Form von **Erlösänderungen** berücksichtigt
 - Mit der zusätzlichen Verknüpfung von zeitabhängigen **Kosten** wird eine **monetäre Bewertung** der Dispositionsentscheidungen auf Basis von verschiedenen Zugrängen vorgenommen
- **Kopplung** von Simulationsmodellen der Betriebsabwicklung mit Verkehrsmittelwahlmodellen

Methodik



Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb

„Mikroskopische Simulation der Betriebsabwicklung“



Kopplung

Fahrzeit t_F

Ausgangs-
lösung

+

Verspätung Δt_V

neue
Lösung

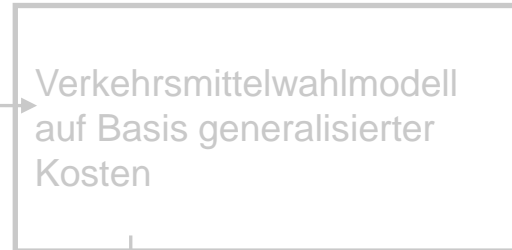
„Deckungsbeitragsprognose“

Δ Erlöse - Δ Kosten

Δ Deckungsbeitrag

$\hat{=}$ monetärer Wert ($t_F + \Delta t_V$)

„Makroskopisches Verkehrsmittelwahlmodell“



Δ Modal-Split

Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb

Eingangsparameter für die mikroskopische Simulation der Betriebsabwicklung:

- Infrastrukturdaten (Strecken, Knoten, Signale, Fahrwege, Geschwindigkeiten, Halte, ...)
 - Zugdaten (Zuggattung, Geschwindigkeit, Masse, **Rang**, ...)
 - Konfliktfreier Fahrplan
 - Verspätungsdaten (Wahrscheinlichkeit des Auftretens, mittlere Verspätung)
-
- Simulation würfelt für jede Zuggattung Verspätungen auf Basis der Verspätungsdaten aus (DB Richtlinie 405)
→ Verspätungen werden in einer Störungsliste gespeichert
 - Auftretende Konflikte werden in Abhängigkeit der Ränge gelöst (höherwertige Ränge werden bevorzugt behandelt)

Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb

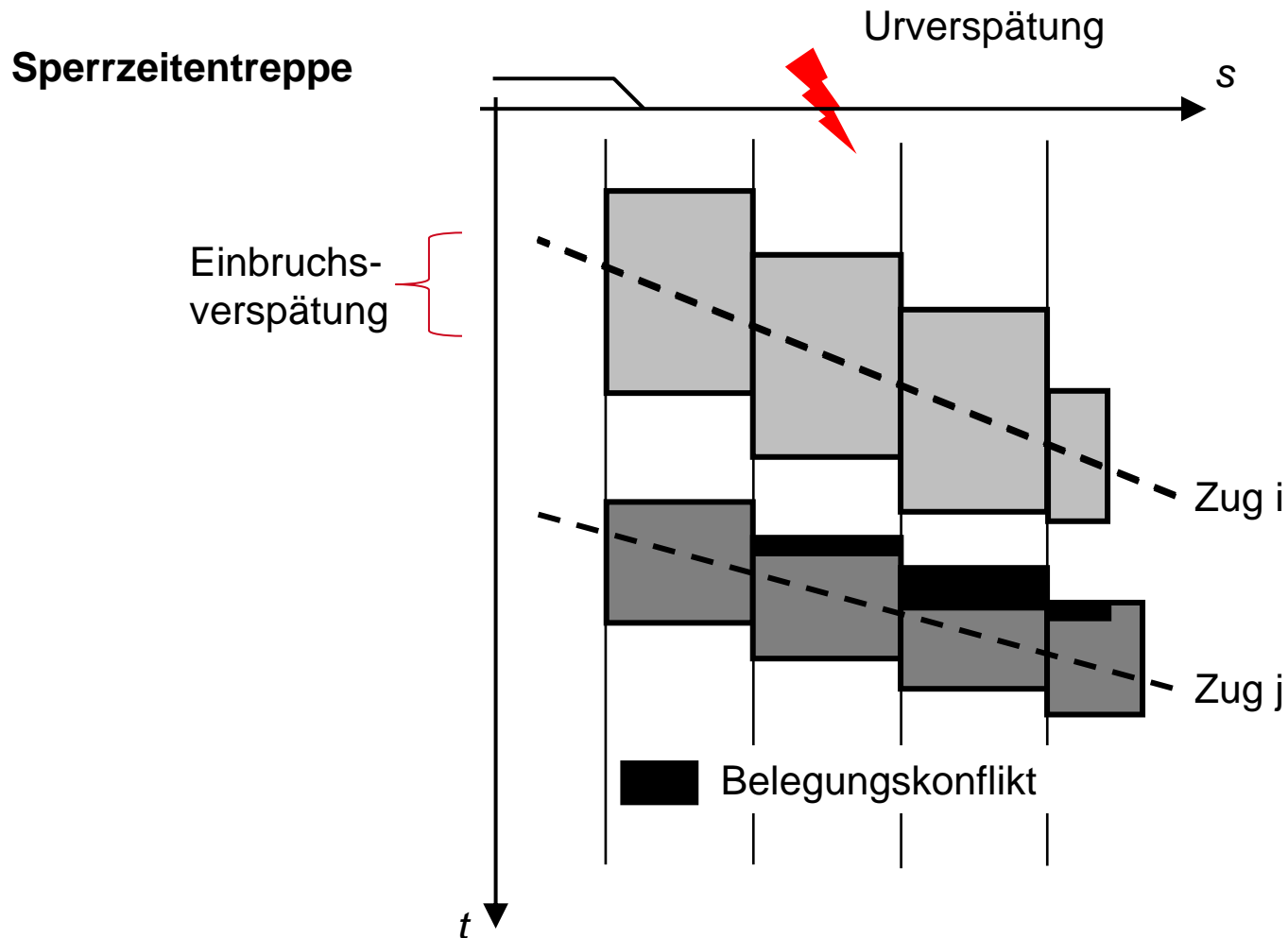
Berücksichtigung verschiedener Verspätungsarten

- Einbruchsverspätungen
- Urverspätungen
- Folgeverspätungen

Genauere, örtliche Zuordnung der Verspätungen ist von Bedeutung

- Verspätung an einem Knoten/Bahnhof
- Verspätung auf der Strecke (zwischen zwei Knoten/Bahnhöfen)

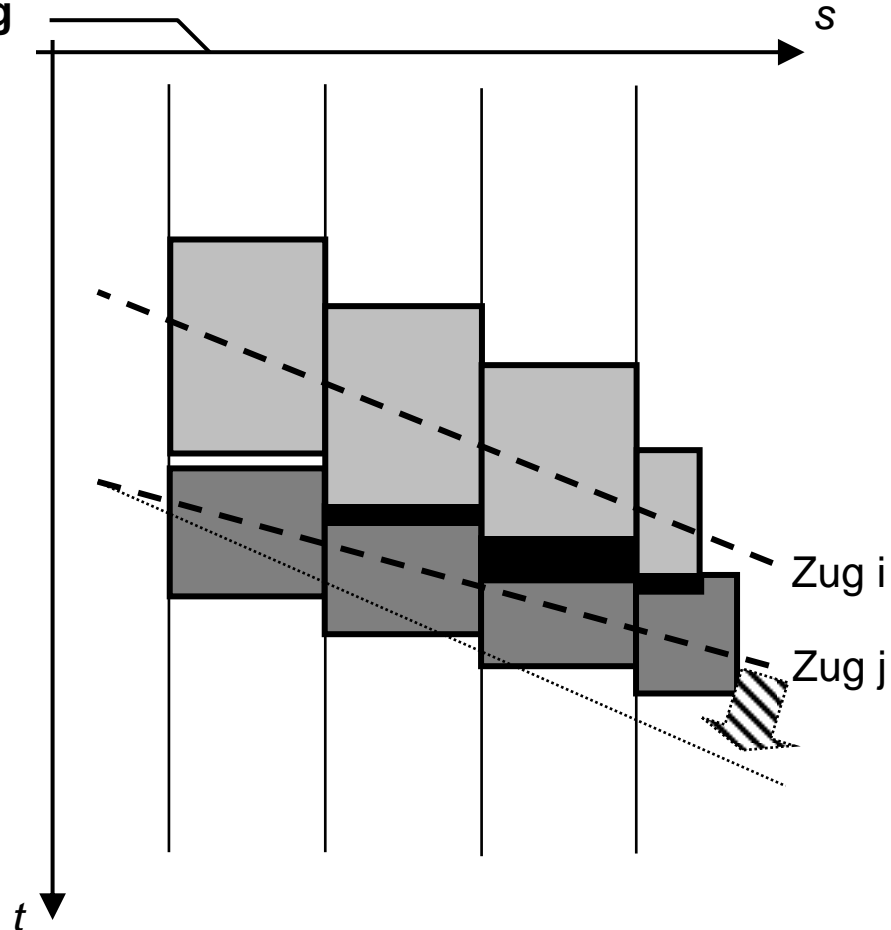
Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb



Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb

Beispiel: Biegevorgang

$\text{Rang}_{\text{Zug } i} > \text{Rang}_{\text{Zug } j}$



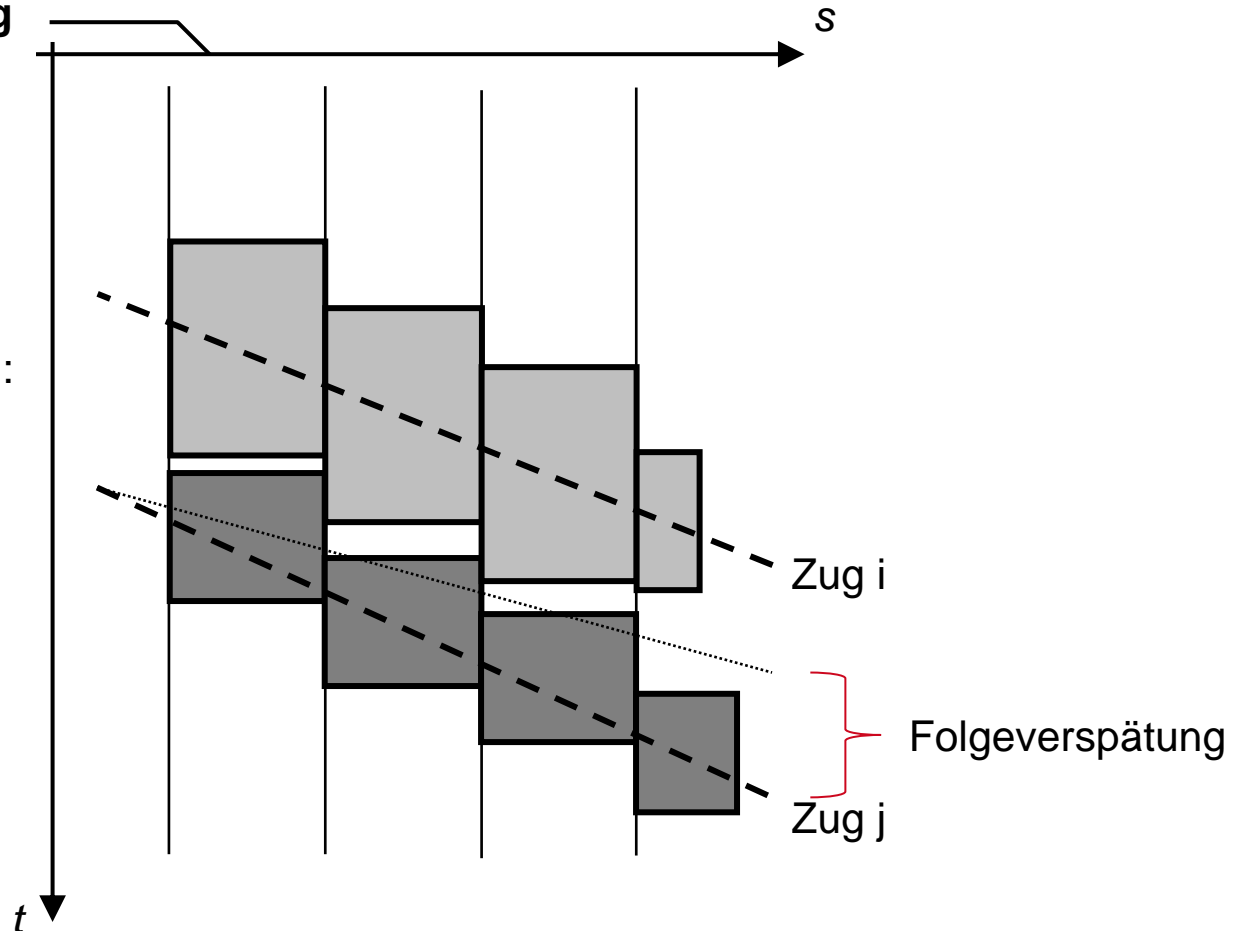
Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb

Beispiel: Biegevorgang

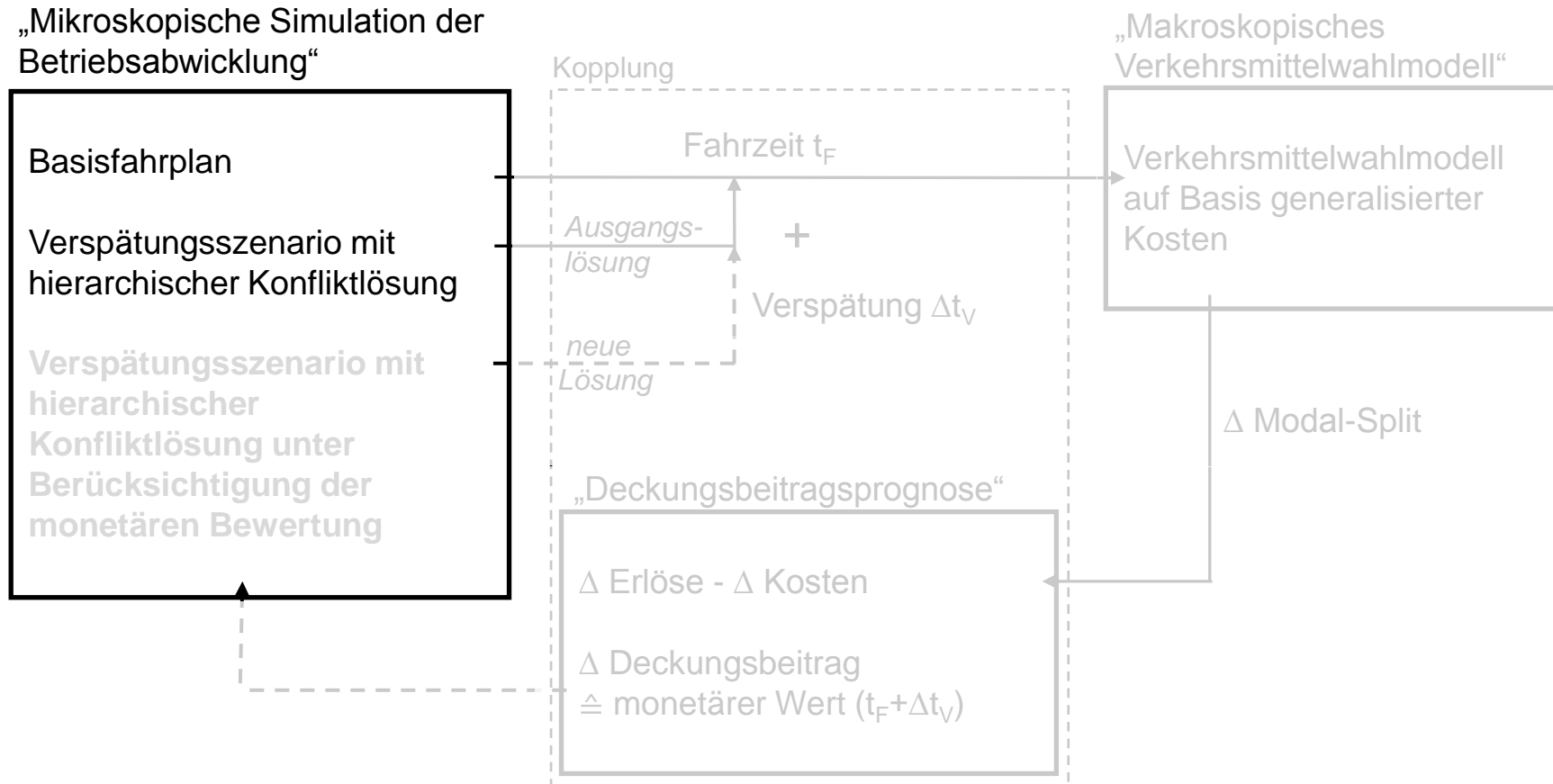
$$\text{Rang}_{\text{Zug},i} > \text{Rang}_{\text{Zug},j}$$

Andere Konfliktlösungen:

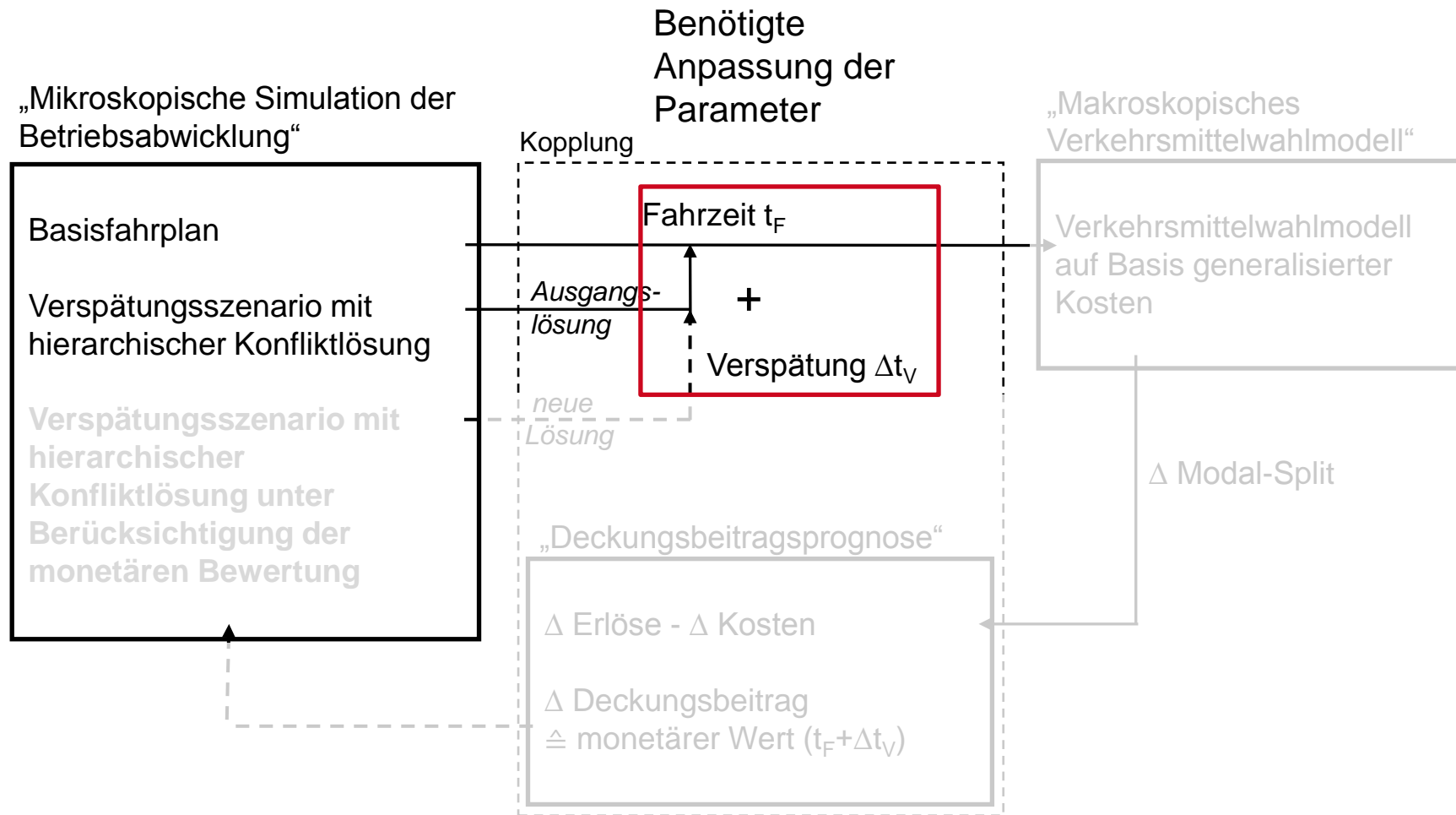
- Verschieben
- Längere Haltezeit
- Überholungshalt



Konfliktlösung im Eisenbahnbetrieb



Verkehrsmittelwahlmodell



Verkehrsmittelwahlmodell – Personenfernverkehr

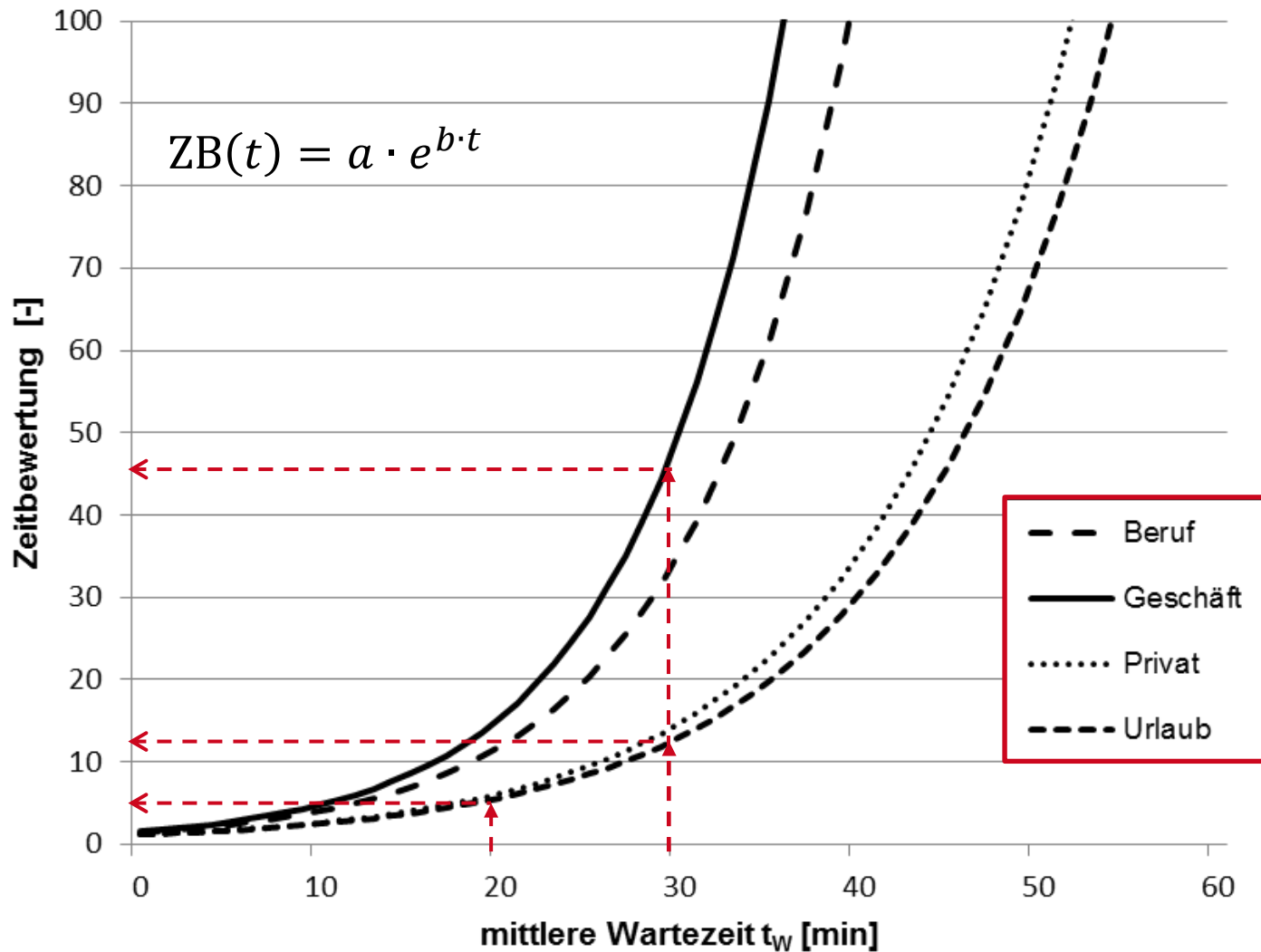
- Ermittlung der Nachfrage von Reisenden oder Gütern unter Berücksichtigung von konkurrierenden Verkehrsmitteln (Modal-Split)
- Angewandtes Modell im Personenverkehr auf Basis von Verkehrswiderständen

$$\begin{array}{c} \text{Angebotsparameter „objektiv“} \\ | \\ | \\ w = t \cdot ZB(t) [WE] \\ | \\ | \\ \text{Zeitbewertungsfunktion „subjektiv“} \end{array}$$

- Verlauf einer Zeitbewertungsfunktion

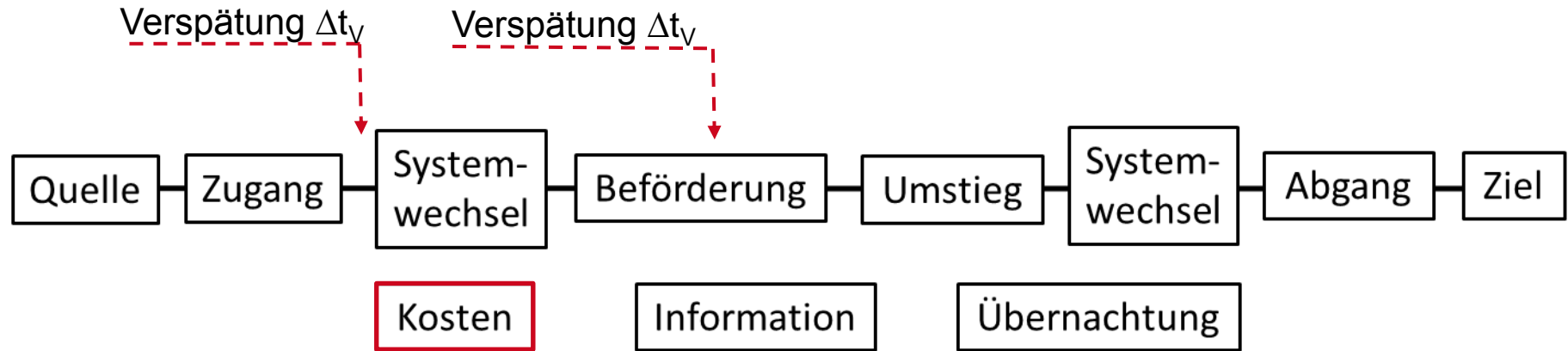
$$ZB(t) = a \cdot e^{b \cdot t}$$

Verkehrsmittelwahlmodell – Personenfernverkehr



Verkehrsmittelwahlmodell – Personenfernverkehr

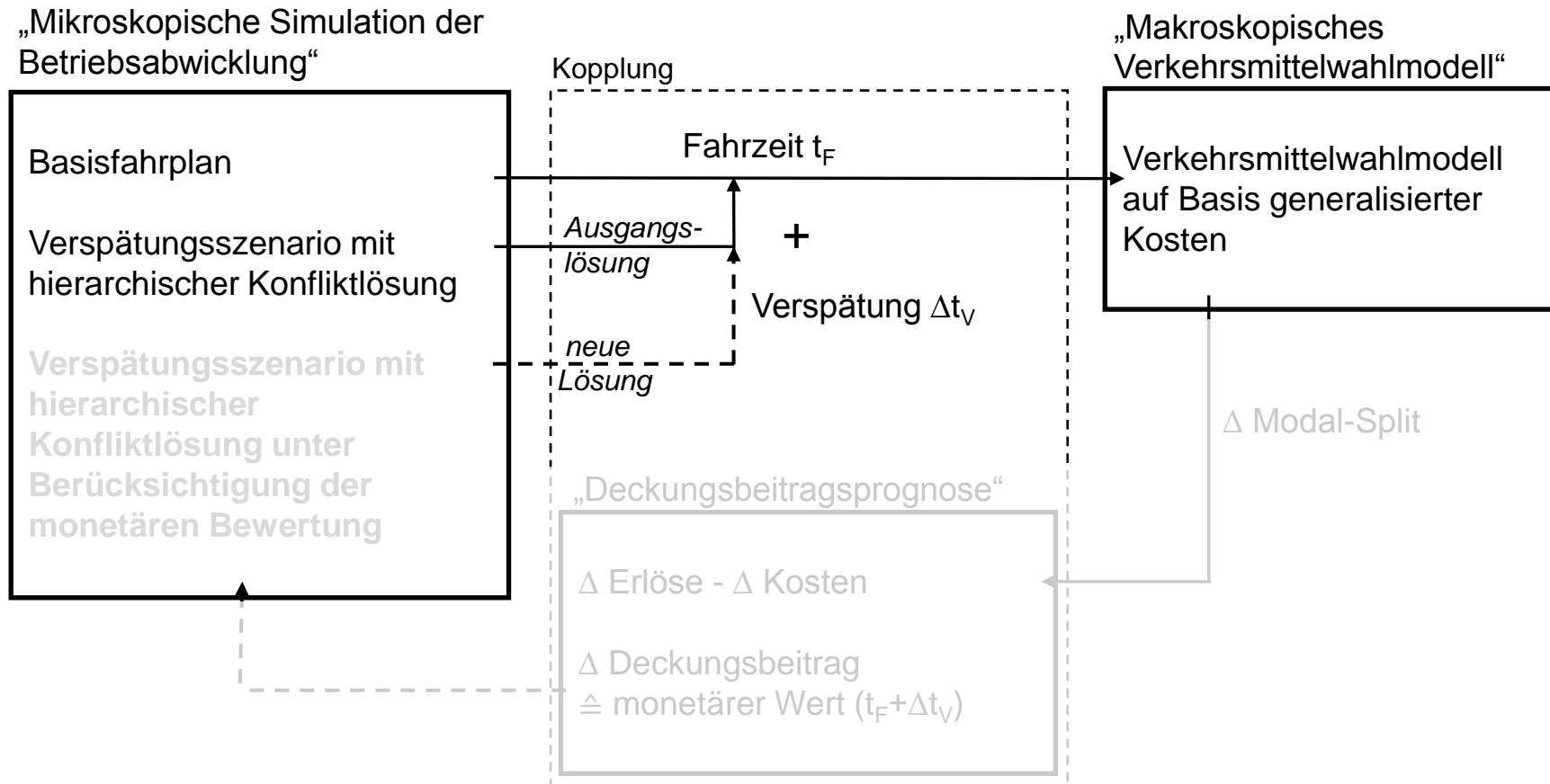
- Die gesamte Reisekette wird in Einzelwiderstände mit jeweils zugehörigen ZBF zerlegt



- Unterschiedliche Bewertungen für Wartezeiten des Kunden am Bahnsteig oder im Zug (Genauere, örtliche Zuordnung der Verspätungen ist von Bedeutung)
- Jedes Verkehrsmittel k hat eine eigene Widerstandskette. Der Modal-Split wird ermittelt über

$$MS_k = \frac{\frac{1}{w_{ges,k}}}{\sum_k \frac{1}{w_{ges,a}}}$$

Monetäre Bewertung



Monetäre Bewertung

- Bewertung der Dispositionsmaßnahme mit zugehörigen Verspätungen auf Basis der Ränge

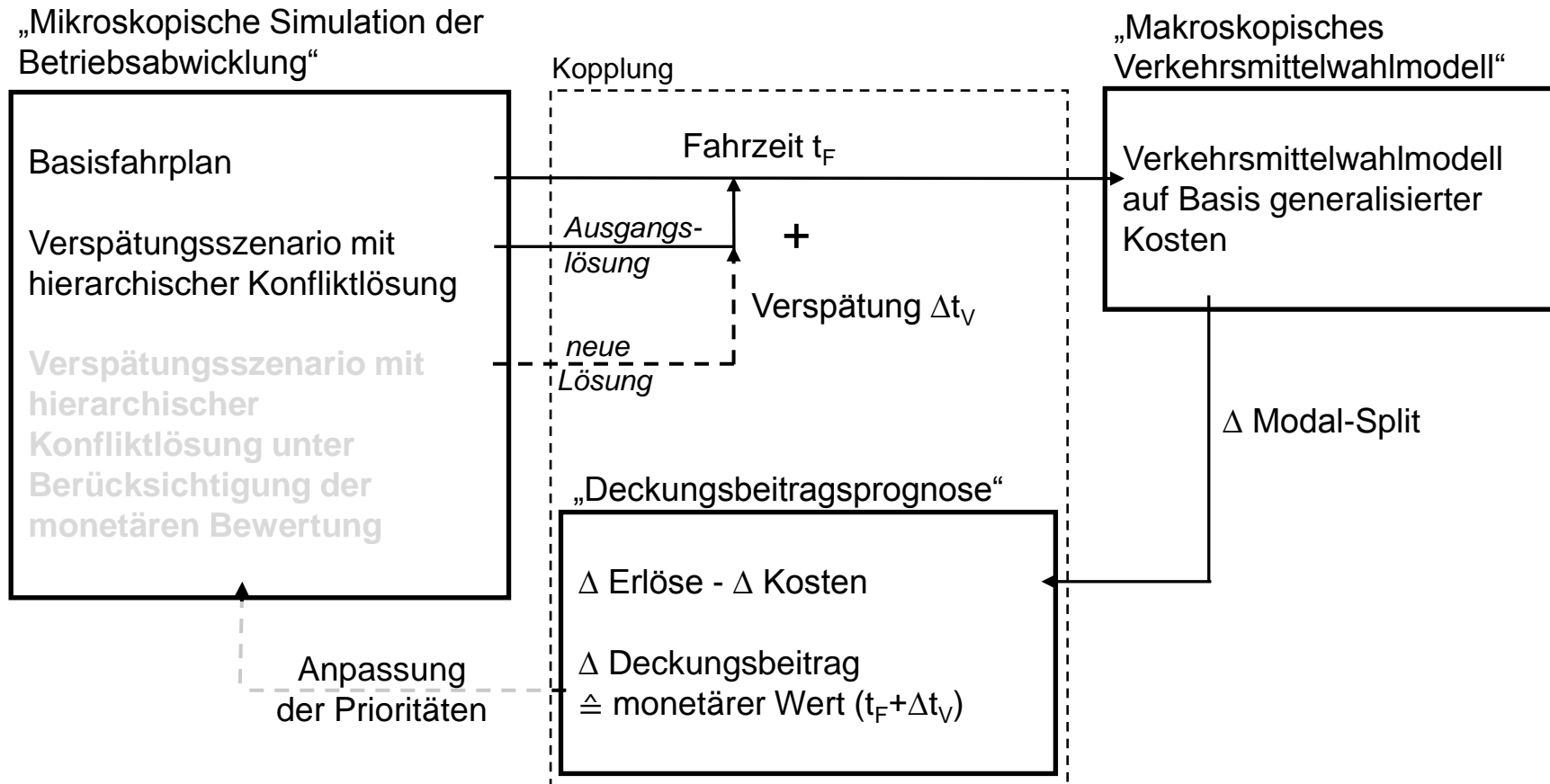
Einflussgrößen auf die Erlöse E für jeden Zug	Einflussgrößen auf die Kosten K für jeden Zug
Relation (Anzahl Sitze und Auslastung) Anzahl Reisender Reisezweckverteilung Ticket Modal-Split	Kapitalwert des Fahrzeuges Instandhaltung des Fahrzeuges Energieverbrauch Personal (zeitabhängig)

- Bewertung im Vergleich zum konfliktfreien Fahrplan für jeden Zug j

$$\Delta DB_j = \Delta E_j - \Delta K_j = (E_{FP,j} - E_{KL,j}) - (K_{FP,j} - K_{KL,j})$$

$$\Delta DB_{KL} = \sum_i \Delta DB_i$$

Monetäre Bewertung



→ Es gilt die optimale Vergabe von Rängen zu finden

Zusammenfassung

- Kopplung von Simulationsmodellen der Betriebsabwicklung mit Verkehrsmittelwahlmodellen
 - Konfliktlösung erfolgt weiterhin rangbasiert
 - Bewertung der Folgeverspätungen durch Dispositionsmaßnahmen vom Endkunden werden berücksichtigt
 - Resultierende Erlösveränderungen werden mit den variablen Kosten zum Deckungsbeitrag zusammengefasst
 - Eine Modifizierung der Ränge führt zu einer Veränderung des Deckungsbeitrages im Vergleich zu den Fahrplanbedingungen
- Es gibt eine optimale Rangvergabe mit resultierenden Konfliktlösungen und Folgeverspätungen sowie einem minimalen monetären Verlust