

- Konzeption einer Konfliktlösung einschließlich einer Bewertungsmethode für
die Anschlussdisposition -

Dipl.-Inform. Anselmo Stelzer¹, Prof. Dr.-Ing. Andreas Oetting¹

¹ TU Darmstadt, FG Bahnsysteme und Bahntechnik, Otto-Berndt-Str. 2, 64287 Darmstadt

1 Einleitung

In der Durchführung des Eisenbahnbetriebs spielen Dispositionsprozesse eine zentrale Rolle. Immer, wenn unplanmäßige Ereignisse eintreten, sind Dispositionshandlungen erforderlich. Die Anschlussdisposition ist ein eigener Bereich der Disposition, für die in erster Linie die Verkehrsunternehmen Verantwortung übernehmen. Die Anschlussdisposition ist häufig Gegenstand der aktuellen Forschung, da sie durch ihre direkte Auswirkung auf den Kunden eine entsprechende Außenwirkung hat.

Dispositionentscheidungen in der Anschlussdisposition sind häufig sehr komplex, da eine Vielzahl von Einflüssen und Betroffenen zum Tragen kommt. Letztlich entscheidet der Disponent auf Grund seines Erfahrungswissens, wobei diese Entscheidung aber subjektiv und wenig transparent ist.

Daher ist eine Unterstützung der Disponenten sinnvoll. Zur Entscheidungsunterstützung ist ein System erforderlich, das nach transparenten und objektiven Kriterien eine Bewertung der Situation vornimmt. Nachfolgend wird zunächst ein kurzer Überblick zum Stand der Forschung in der Anschlussdisposition gegeben.

2 Stand der Forschung

Suhl et. al. [15] prägen den Begriff der *kundenorientierten Disposition*. Unter der Annahme, dass Reisendenströme bekannt sind, wird über die Verspätung der Reisenden mathematisch optimiert.

Der Ansatz der Optimierung über die Reisendenverspätung wird vielfach aufgegriffen, unter anderem in [13], [4], [8] und [9]. Schöbel [13] nutzt den Begriff *delay management* für die Anschlussdisposition.

Anderegg et. al. [2] präsentieren polynomisch-optimale Algorithmen für eine Warteentscheidung unter der Voraussetzung, dass der Fahrplan zyklisch ist.

Fay [6] verfolgt einen Ansatz mittels eines regelbasierten Systems, wobei die Regeln durch Befragungen von Disponenten ermittelt wurden. Unschärfen in den Regeln werden durch Fuzzy-Logik abgebildet.

¹ {nachname}@verkehr.tu-darmstadt.de, www.verkehr.tu-darmstadt.de/bs

Bär et. al. [3] und Kurby [9] stellen ein System zur Berechnung der Auswirkungen einer Anschlussentscheidung auf weitere Anschlüsse vor. Dabei wird die Streuung der Fahrzeiten auch in Abhängigkeit der Ausgangsverspätung anhand von empirischen Vergangenheitsdaten berücksichtigt. Auf der Basis der verkehrlichen Auswirkungen erfolgt die Bewertung der Alternativen „Anschluss gewähren“ / „Anschluss nicht gewähren“ für den zu lösenden Anschlusskonflikt.

I. d. R. werden keine oder nur wenig Alternativlösungen untersucht, als Lösungsraum stehen nur geplante Zugfahrten zur Verfügung und in der Bewertung werden üblicherweise lediglich realisierte Beförderungszeiten verwendet ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Bewertung der einzelnen Beförderungszeitkomponenten oder weiterer Auswirkungen (z. B. auf das EVU).

3 Konzept für eine Konfliktlösungssystem in der Anschlussdisposition

Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Konzeptes ist, eine realitätsnähere Abbildung der Anschlussdisposition zu erreichen. Dazu sollen die Art und Menge möglicher Konfliktlösungen realitätsnah gegenüber den bestehenden Ansätzen deutlich erweitert (Kapitel 5) und diese vergleichend bewertet (erste Ansätze in Kapitel 4) werden.

In Kapitel 3 werden zunächst die Anforderungen an die Anschlussdisposition beschrieben, das Systemkonzept vorgestellt und der grobe Ablauf einer Konfliktlösung skizziert. In dieses Konzept lassen sich sowohl bestehende Ansätze als auch neue Forschungsergebnisse integrieren.

3.1 Anforderungen

Die kundenorientierte Disposition der in Kapitel 2 genannten Arbeiten optimiert die – gegebenenfalls bewertete – Zeit über alle Fahrgäste. Eine optimale Lösung für die Fahrgäste spiegelt jedoch nicht unbedingt eine optimale Lösung für das Verkehrsunternehmen wider, da hier auch betriebliche und wirtschaftliche Interessen ins Gewicht fallen. Diese können sich zudem wiederum auf die Angebotsqualität und damit auf die Beförderungszeit der Reisenden auswirken, z.B. durch fehlende oder fehlerhafte Bereitstellung der Fahrzeuge am nächsten Tag.

Die sich daraus ergebende Vielzahl von Auswirkungen von Dispositionsmaßnahmen lässt sich nicht vollständig in ein automatisches Dispositionssystem integrieren. So wäre beispielsweise eine automatische Modifikation der Ressourcenplanung (Personal und Fahrzeuge) bei der Lösung eines Zwei-Zug-Anschlusskonfliktes nur durch Koppelung mit automatisch arbeitenden Dispositionssystemen für Ressourcen überhaupt erreichbar. Da die Disposition der Ressourcen von der Art der Lösung weiterer Konflikte abhängen kann, ist ein solcher Automatismus – selbst wenn er technisch realisierbar ist – fachlich problematisch. In dem System für die Anschlussdisposition stehen wie beispielhaft dargestellt nicht alle Auswirkungen einer Dispositionsentscheidung quantifiziert zur Verfügung. Um die wichtigen nicht-quantifizierten Auswirkungen dennoch berücksichtigen zu können, kommt nur eine teilautomatische Konfliktlösung in Frage, die dem Disponenten bewertete Konfliktlösungsalternativen anbietet und ihm die finale Entscheidung unter Einbeziehung nicht-quantifizierter Einflussgrößen überlässt.

Die Anschlussdisposition umfasst in der Praxis auch Lösungsalternativen, die andere Verkehrsträger, Hotelübernachtungen etc. enthalten. Um eine Akzeptanz des Systems bei seinem Nutzer – dem Disponenten – zu erreichen, sind auch häufiger gewählte Lösungsalternativen, die das System Bahn nicht enthalten, zu modellieren und zu bewerten.

Alle Lösungsalternativen sind unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die o. a. Betroffenen vergleichend zu bewerten.

Im Hinblick auf den angestrebten Einsatz des Systems in Echtzeit müssen die Rechenzeiten sehr niedrig gehalten werden.

3.2 Systembeschreibung

Zur Umsetzung dieser Anforderungen wird in diesem Papier ein modulares System vorgeschlagen, in dem jedes Modul eigene Aufgaben abarbeitet. Ein solches System erfordert entsprechende Schnittstellen, über die die einzelnen Module miteinander verknüpft werden können.

Das System hat zu jedem Zeitpunkt einen definierten Zustand, der sich initial aus dem Sollfahrplan einschließlich geplanter Anschlüsse und gegebenenfalls weiteren Plandaten ergibt. Der Systemzustand wird anhand von Ist- und prognostizierten Verspätungen auf der einen Seite und durch Dispositionshandlungen auf der anderen Seite aktualisiert.

In Abbildung 1 ist das System schematisch mit seinen Modulen abgebildet. Es ergibt sich ein Kreislauf der letztendlich zu permanenten Systemaktualisierungen führt.

Auf Basis des aktuellen Systemzustands wird eine *Konflikterkennung* durchgeführt. Das Modul Konflikterkennung kennt eigene Eingangsparameter, die beispielsweise den Überwachungshorizont definieren. Für die Anschlussdisposition ist das ein Zeitraum, der in der Regel nicht über zwei Stunden in die Zukunft hinausgeht und nur wenige Minuten in die Vergangenheit. Um missverständlichen Darstellungen und alternierende Zustände zu vermeiden, müssen Schwellwerte für die Konflikterkennung derart gewählt werden, dass Änderungen im kleinen Minutenbereich nicht sofort dazu führen, dass das System sofort wieder in den vorigen Zustand zurückfällt.

Für den erkannten Konflikt kann eine *Restdispositionszeit* bestimmt werden, anhand derer ein Akteur erkennen kann, wie viel Zeit für eine Konfliktlösung bleibt. Automatisierten Akteuren wird damit eine zeitliche Grenze für die Berechnung der Konfliktlösung vorgegeben. Menschliche Akteure können sich die noch verfügbare Zeit darstellen lassen und entsprechend ihre Handlungen daran ausrichten.

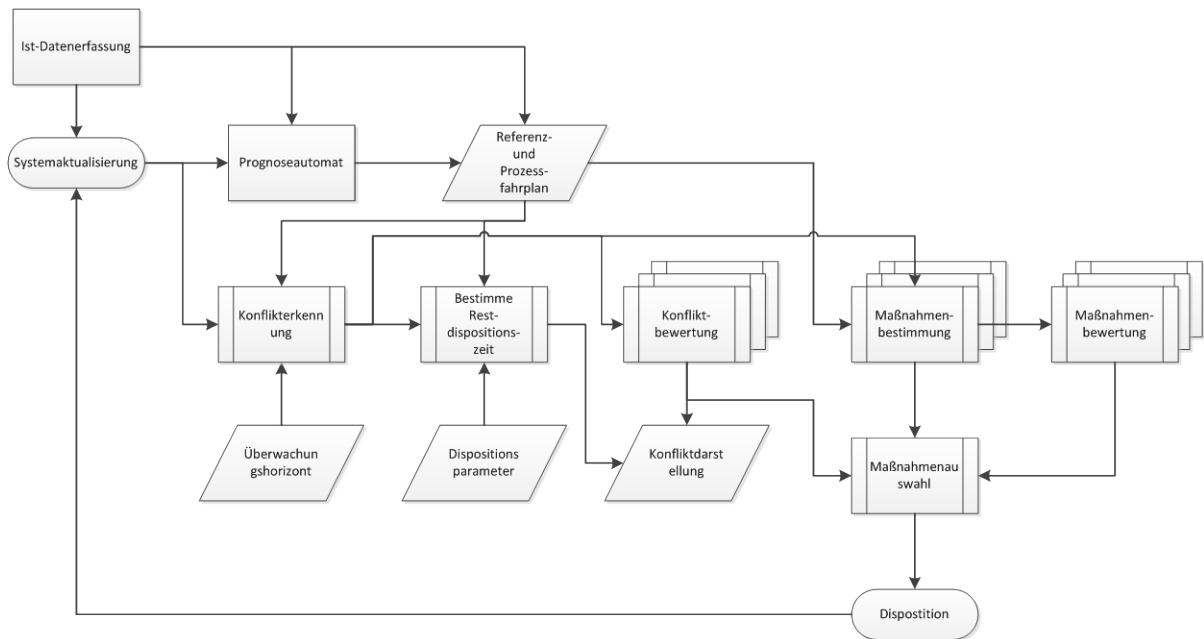


Abbildung 1: schematische Darstellung des Systems

Erkannte Konflikte werden *bewertet*. Für eine Bewertung kann es unterschiedliche Zielsetzungen geben, für jedes Bewertungsziel liegt ein eigenes Bewertungsmodul vor (vgl. auch [12]). Im einfachsten Fall ist das Bewertungsschema an sich gleich und wird nur unterschiedlich parametrisiert, je nach Zielsetzung können aber auch völlig unterschiedliche Bewertungsmodule erstellt werden. Beispiele für unterschiedliche Bewertungsziele sind eine Bewertung für die Priorisierung in der Darstellung der Konflikte, eine Bewertung für die Reihenfolge in der Konfliktlösung oder auch die grobe Bewertung zur Begrenzung des Lösungsbaums bei der Suche alternativer Konfliktlösungen.

Neben einer Bewertung eines Konfliktes wird für jeden Konflikt eine *Maßnahmenliste* erstellt, aus der hervorgeht, welche Maßnahmen überhaupt für die Konfliktlösung zur Verfügung stehen. Jede zur Verfügung stehende Maßnahme wird anhand physikalischer (Beförderungszeitverlängerung, Anzahl Umstiege, ...) und wirtschaftlicher (Kosten für das EVU, ...) Kenngrößen beschrieben. Im Hinblick auf die erforderliche vergleichende Bewertung der Alternativen (s.o.) sind diese Kenngrößen mit Bewertungen zu versehen, die eine Zusammenfassung aller quantifizierten Auswirkungen einer Maßnahme ermöglichen.

Je nach verwendeten Modulen der Konfliktbewertung und Konfliktlösung sind weitere Plan- und Daten wie Reiseströme, Verfügbarkeiten von Alternativangeboten, Umläufe oder Personalplanungen im System für die entsprechenden Module hinterlegt. Insbesondere für die Erstellung von Maßnahmenlisten und der Maßnahmenbewertung bewährt sich die Aufteilung in einzelne Module, da so gezielt die Maßnahmenprüfung für unterschiedliche Maßnahmen jeweils für sich entwickelt und in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von Daten zu- oder ausgeschaltet werden kann.

Ermittelte durchführbare Maßnahmen werden abschließend auf Kombinationsmöglichkeiten geprüft. Einzelne Maßnahmen können unter Umständen nur Teile des Konflikts auflösen, so dass eine Kombination mit weiteren Maßnahmen zu einem Maßnahmenbündel zur zufriedenstellenden Konfliktlösung erforderlich ist. Ein Maßnahmenbündel kann insgesamt günstiger sein als eine einzelne Maßnahme.

ger für das Verkehrsunternehmen sein als eine teure Einzelmaßnahme zur Konfliktlösung. Die gefundenen Maßnahmenbündel erhalten auf Basis der Bewertung der Einzelmaßnahmen ebenfalls eine Gesamtbewertung mit Hilfe derer eine *Auswahl* getroffen werden kann.

3.3 Vorgehen bei der Konfliktlösung

Zum weiteren Verständnis wird vor dem Hintergrund der Systembeschreibung im vorigen Abschnitt hier das allgemeine Vorgehen bei einer Konfliktlösung beschrieben.

In Abhängigkeit des aktuellen Systemzustandes wird eine Wertigkeit für den Anschlusskonflikt ermittelt. Im Vergleich zu dieser Wertigkeit können Konfliktlösungsmöglichkeiten, die mit zu erwartenden Kosten und einem zu erwartenden Nutzen attribuiert werden, ausgewählt werden. Zu beachten ist, dass eine Lösung den Konflikt nicht unbedingt vollständig auflöst. Eine Konfliktlösung kann durchaus nur einem Teil des Konflikts begegnen.

Um eine passende Lösung zu finden, wird für jede Konfliktlösungsmöglichkeit ein Quotient q ermittelt, der Nutzen r und Kosten c in Relation setzt:

$$q = \frac{r}{c}$$

Sobald dieser Quotient größer eins ist, ist die Konfliktlösungsmöglichkeit zu rechtfertigen. Weiter ist zunächst die Konfliktlösungsmöglichkeit auszuwählen, für die der Quotient maximal ist. Der Nutzen verschiedener Konfliktlösungsmöglichkeiten kann sich aber durchaus überlappen, beispielsweise wenn beide Konfliktlösungsmöglichkeiten auf die gleichen Reisenden wirken. Daher ist nach Anwendung einer Konfliktlösung eine Neubewertung der Anschlusswertigkeit erforderlich, ebenso eine Neubewertung des Nutzens der restlichen Konfliktlösungsmöglichkeiten.

Die Auswahl einer Konfliktlösung (etwa Lösung 4 aus Abbildung 2, links) führt also zu einer erneuten Ermittlung der Anschlusswertigkeit, wobei die Bestandteile der Wertigkeit, die nicht mehr konfliktbehaftet sind, herausgerechnet werden. Dabei kann sich ein Zustand wie in Abbildung 2 (rechts) einstellen. Die gewählte Maßnahme in Abbildung 2 reduziert die Anschlusswertigkeit derart, dass sich keine weitere Maßnahme rechnet.

Für die Maßnahmenauswahl ist daher ein iterativer Prozess vorgesehen, der ermittelt, welche Maßnahme welchen Nutzen (durch Reduzierung der Anschlusswertigkeit) birgt.

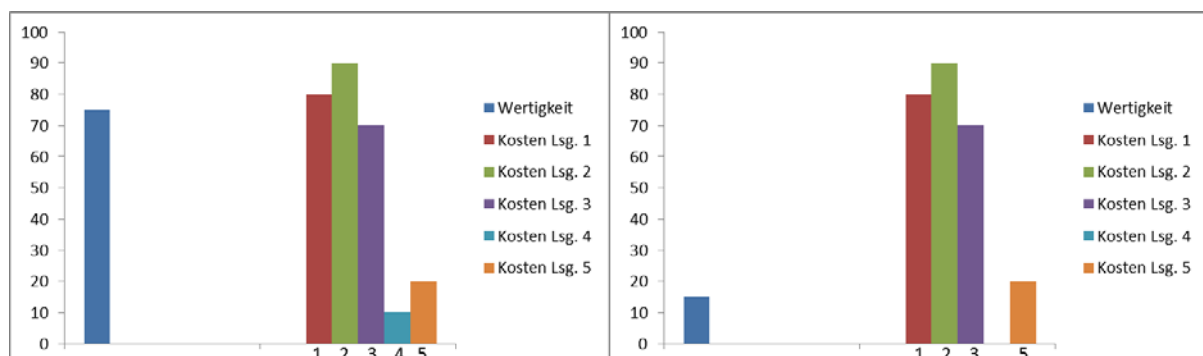


Abbildung 2: Anschlusswertigkeit eines Konfliktes und Lösungskosten (eig. schematische Darstellung)

Schließlich ist es wichtig, dass eine vorgenommene und kommunizierte Disposition als quasi unveränderbarer Zustand in das System aufgenommen wird, um eine Rücknahme von Dispositionsentscheidungen durch Systemupdates zu verhindern, und so dem Reisenden eine entsprechende Verbindlichkeit in Bezug auf vorgenommene Dispositionen zuzusichern. Dadurch werden einmal disponierte Maßnahmen quasi festgeschrieben.

4 Anschlussbewertung

Je nach Zielsetzung einer Bewertung sind unterschiedliche Bewertungsansätze möglich. Im Folgenden wird betrachtet, wie eine Anschlusswertigkeit ermittelt werden kann, die dazu dient, den Nutzen möglicher Dispositionsmaßnahmen zu messen. Je höher die Anschlusswertigkeit, desto „teurer“ dürfen die eingesetzten Maßnahmen sein, um den Anschlusskonflikt aufzulösen. Die Anschlusswertigkeit ist daher hier als Konfliktbewertungsmodul nach Abbildung 1 zu verstehen.

4.1 Allgemeiner Bewertungsansatz

Das Modul Anschlusswertigkeit setzt sich wiederum aus mehreren Bewertungskomponenten zusammen. Diese tragen unterschiedlichen Auswirkungen der Nicht-Gewährung des Anschlusses Rechnung. Die Gesamtheit aller Bewertungskriterien formt die Gesamtbewertung des Anschlusses. Da die unterschiedlichen Einflussgrößen allerdings in ihrem Wertebereich und in ihren Einheiten von einander abweichen, bedarf es einer Normalisierung, um die einzelnen Einflüsse in einer gesamthaften Bewertung zusammenzuführen.

Diese Wertigkeit wird anschließend mit den bewerteten Dispositionsmaßnahmen verglichen. Alle Maßnahmen, deren Kostenfunktionen einen geringeren Wert liefern als die Gesamtwertigkeit des Anschlusses, sind als sinnvolle Dispositionsmaßnahmen zu betrachten (z.B. Lösungen 3, 4 und 5 in Abbildung 2). Dispositionsmaßnahmen, deren Kostenfunktion einen höheren Wert als die Anschlusswertigkeit liefern, werden nicht ausgewählt, da hier die Kosten der Maßnahme den erwarteten Nutzen der Maßnahme übersteigen.

4.2 Bewertungskomponenten

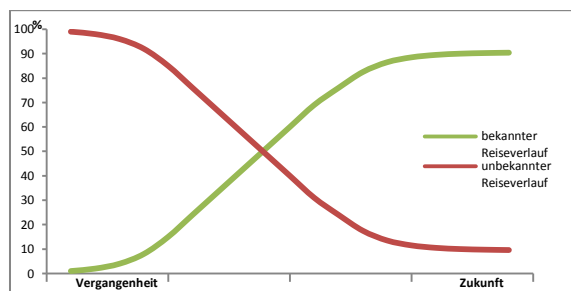


Abbildung 3: Kenntnis über Reiseverlauf (eig. schematische Darstellung)

Für die Bewertung sind detaillierte Informationen über Reiseverlauf und -ziel der Reisenden hilfreich, da so eine exaktere Bewertung durchgeführt werden kann. Entsprechende Informationen liegen teilweise vor, sind aber nicht – auch nicht in absehbarer Zeit – flächendeckend zu erwarten. Daher muss zwischen Reisenden unterschieden werden, für die die Reisekette bekannt ist, und für solche, für die die Reisekette nicht bekannt ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass künftig vermehrt Informationen über Reiseketten durch die Nutzung neuartiger Schnittstellen zur Verfügung stehen (z. B. [14]), jedoch können niemals alle Rei-

seketten aller Fahrgäste bekannt sein (vgl. Abbildung 3). Dies ist u.a. in der flexiblen Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel und durch die Nutzungen von Zeitkarten begründet.

Aus diesem Grund müssen entsprechende Systeme aktuell wie auch künftig sowohl mit als auch ohne die o.a. Informationen Ergebnisse liefern. Es wird also eine Fallunterscheidung anhand der Verfügbarkeit von Informationen durchgeführt. Dieser Sachverhalt wird in der aktuellen Literatur häufig ausgeblendet.

Im Folgenden werden kurz mögliche Bewertungskomponenten vorgestellt. Diese Komponenten werden schließlich als Gesamtbewertung im Modul Anschlussbewertung wie im vorangehenden Kapitel beschrieben zusammengeführt.

4.2.1 Bewertungskomponente Beförderungszeitverlängerungen

Die in der bestehenden Literatur durchgeführte Bewertung von Konfliktlösungen nutzt fast immer und häufig ausschließlich die Beförderungszeitverlängerung der Reisenden als Kriterium (s. Kapitel 2). In dem hier vorgeschlagenen System ist die Beförderungszeitverlängerung ein Teil der Anschlussbewertung. Diese Beförderungszeitverlängerung wird in Anlehnung an Ackermann und Jochim ([1] und [7]) umgerechnet, um eine normalisierte (monetäre) Bewertung zu erhalten. Dabei wird berücksichtigt, dass sowohl planmäßige Beförderungszeiten als auch insbesondere außerplanmäßige Beförderungszeitverlängerungen (Verspätungen) negativer bewertet werden und damit das Verkehrsnachfrageverhalten stärker beeinflussen als eine Erhöhung der erforderlichen Beförderungszeit (vgl. Oetting et. al. [11]). Ferner sind weitere außerplanmäßige Veränderungen des Verkehrsangebots wie zusätzliche Umstiege, zu berücksichtigen.

4.2.2 Bewertungskomponente Auswirkungen von Fahrgastrechten

Mit dem Gesetz zur Anpassung eisenbahnrechtlicher Vorschriften an die Verordnung (EG) Nr. 1371/2007 [5] hat die Bundesregierung 2009 die entsprechende Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates umgesetzt. Darin sind unter anderem Erstattungsansprüche geregelt. Ab 60 Minuten Verspätung am Reiseziel hat ein Reisender demnach Anspruch auf Erstattung von 25% des Fahrpreises, ab 120 Minuten von 50%. Im Folgenden wird dazu eine monetäre Bewertung vorgestellt.

Sei Δt_r die Beförderungszeitverlängerung. Diese wird für Reisende mit bekanntem Reiseziel über ein Rerouting ermittelt [10]. Für Reisende mit unbekanntem Reiseziel kann eine Alternativfahrt ermittelt werden und die Zeitdifferenz zur Abfahrt der Alternative angenommen werden. Die Ermittlung der Alternativfahrt kann kontextabhängig erfolgen. In jedem Fall lässt sich dafür eine Fahrt mit identischen Folgehalten auswählen.

Daraus ergibt sich ein Erstattungsfaktor $f = \begin{cases} 0 & , \text{ wenn } \Delta t_r < 60min \\ 0,25 & , \text{ wenn } 60min \leq \Delta t_r < 120min . \\ 0,5 & , \text{ wenn } \Delta t_r \geq 120min \end{cases}$.

Basierend auf einer ermittelten Beförderungszeitverlängerung und dem Fahrscheinpreis p kann ein monetärer Schaden pro Fahrgast berechnet werden:

$$s = f \cdot p$$

Interessant ist allerdings der monetäre Schaden für einen gesamten Zubringer, dessen Anschluss gefährdet ist. Da nur für einen Teil der Umsteiger die Reisekette bekannt ist, wird der Schaden mittels Fallunterscheidung berechnet (s. Abschnitt 4.2). Für Umsteiger mit unbekanntem Reisezielen wird ein mittlerer Fahrscheinpreis p_m angenommen. Es seien n Umsteiger für den Anschluss bekannt, die Variable k_i gibt an, ob das Reiseziel für den i -ten Reisenden bekannt ($k_i = 1$, sonst $k_i = 0$) ist. Der Gesamtschaden nach Fahrgastrechten bei Verpassen des Anschlusses ergibt sich nach folgender Berechnung:

$$s_c = \sum_{i=0}^n k_i \cdot f_i \cdot p_i + (n - \sum_{i=0}^n k_i) \cdot f \cdot p_m$$

5 Konfliktlösung

5.1 Lösungsraum

Wie in Kapitel 3 gefordert, kommen für die Lösung von Anschlusskonflikten je nach Situation auch Lösungsalternativen in Frage, die über die Suche der nächsten Reisemöglichkeit mit einem Zug hinausgehen. Dazu zählen beispielsweise die Berücksichtigung von Taxis, Hotelübernachtung, anderen öffentlichen Verkehrsmitteln etc.

Bei diesen Lösungsalternativen außerhalb des Systems Bahn ist die Verfügbarkeit von Informationen i. d. R. schlechter. Die wesentliche Herausforderung besteht somit in der zuverlässigen Bestimmung der für die Bewertung relevanten Kenngrößen aus den vorliegenden Informationen. Die dazu entwickelten Algorithmen werden in einem separaten Papier dargestellt.

Für die Konfliktlösung innerhalb des Systems Bahn bestehen grundsätzlich folgende Arten der Lösung:

- Anschluss am geplanten Ort halten / aufgeben (2)
- alternativer Umsteigeort (n)
- zusätzlicher Halt für Umstieg (m)
- 3. Zug einbeziehen (k) und
- Kombinationen daraus.

Die Angaben in Klammern geben jeweils die Anzahl der möglichen Lösungsalternativen je Art der Konfliktlösung an. Bei der Lösung von Anschlusskonflikten unter Berücksichtigung der genannten Arten Konfliktlösung handelt es sich somit um ein NP-vollständiges Problem.

Je nach Konfliktlösung eignet sich diese nur zur Sicherstellung der Reisekette für einen Teil der Reisenden. In diesem Fall setzt sich die Konfliktlösung für einen Anschlusskonflikt aus mehreren reisekettenspezifischen Lösungen zusammen. Die Komplexität des Problems steigt dadurch weiter. Bei Berücksichtigung weiterer Anschlusskonflikte wächst die Problemgröße weiter.

5.2 Methode

Mögliche Methoden für die Lösungsfindung könnten eine Optimierung, eine vollständige Enumeration oder eine Heuristik sein.

Bei der Wahl der Methode sind sowohl die Anforderungen an die Algorithmen als auch die Größe des Untersuchungsraums zu berücksichtigen. Gemäß Kapitel 3 stehen systemseitig nicht alle für die Entscheidungsfindung erforderlichen Daten zur Verfügung. Ferner soll die Lösungsfindung sicher in sehr kurzer Zeit stattfinden. Gleichzeitig ist der Lösungsraum sehr groß.

Im Falle einer Optimierung wären eine niedrige Rechenzeit und die Robustheit der Lösungswahl gegenüber dem Einfluss der nicht-quantifizierten Entscheidungskriterien nicht sichergestellt. Somit erscheint eine Optimierung nicht problemadäquat.

Eine vollständige Enumeration kommt aufgrund der Problemgröße nicht in Frage. Somit bleibt lediglich die Entwicklung einer Heuristik, die die Anzahl der Lösungsalternativen bei Lösungsarten mit mehr als zwei Lösungsalternativen sowie Kombinationen von Lösungen sinnvoll begrenzt.

5.3 Konfliktlösungen

Im Weiteren wird zunächst das Vorgehen zur Findung von Lösungsalternativen beschrieben. Die Parametrisierung der Begrenzung der Suche sollte sinnvollerweise in einem Praxistest zur Abbildung des Expertenwissens der Disponenten erfolgen.

In dem Fall, dass ein Anschluss nicht gehalten wird, erfolgt eine neue Verbindungssuche. Für Verbindungssuchen existieren bereits zahlreiche algorithmische Lösungen (für Echtzeit-Lösungen vgl. z. B. [10]), so dass im Folgenden ausschließlich der Fall des Haltens des Anschlusses untersucht wird.

Um einen Anschluss bei verspätetem Zubringer zu halten, besteht als einfachste Lösung ein zeitlicher Verschiebung des Anschlusses in der gleichen Betriebsstelle. Als kompliziertere Lösung kommt auch ein räumlicher Verschiebung des Anschlusses in Frage, der nahezu immer auch einen zeitlichen Verschiebung bedeutet. Sofern weder ein zeitlicher noch ein räumlicher Verschiebung eine gute Lösung versprechen, lässt sich der Lösungsraum durch Hinzunahme weiterer Züge als dem Zu- und dem Abbringer erweitern. Diese 3 Schritte der Lösungssuche werden im Weiteren beschrieben.

5.3.1 Zeitlicher Verschiebung

Ein zeitlicher Verschiebung ist grundsätzlich zu prüfen. Bei dieser Lösungsmöglichkeit lässt sich unterscheiden nach den bekannten Instrumenten unterscheiden (Angesichtsregel, der Einhaltung der Wartezeitvorschrift, Warten des Abbringers mit Zustimmung des EIU, Reduzierung der Umsteigezeit durch Wahl eines anderen Bahnsteiggleises für Zu- und/oder Abbringer).

5.3.2 Räumlicher Verschiebung

Bei einem räumlichen Verschiebung des Anschlusses sind zunächst gemeinsame Verkehrshalte auf ihre Eignung zu prüfen.

Sofern solche nicht existieren, wesentliche Reisendenströme dadurch nicht abgedeckt werden können oder infolge eines zwischenzeitlichen Reihenfolgetauschs von Zu- und Abbringer hohe Wartezeiten für den Abbringer entstehen würden, ist die Möglichkeit zusätzlicher Halte von Zu- oder (und) Abbringer zu prüfen. Hierbei sind Belegungskonflikte zwischen beiden Zügen sowohl auf der Strecke als auch im Knoten unbedingt zu berücksichtigen, da sie den Aufwand für diese Lösungen deutlich erhöhen oder Lösungen unmöglich machen können.

5.3.3 Einbeziehung weiterer Züge

Zunächst ist die Hinzunahme eines 3. Zuges zu prüfen. Ein 3. Zug kann sich zur Anschlussgewährung eignen, wenn er sowohl mindestens einen gemeinsamen Halt mit dem Zubringer als auch mindestens einen gemeinsamen Halt mit dem Abbringer aufweist und diese in der richtigen zeitlichen Reihenfolge (erst Zu- dann Abbringer) liegen.

Sofern keine guten Lösungen erzielt werden können, kommt analog zu Kapitel 5.3.2 auch das Einlegen eines zusätzlichen Haltes des Zu-, Abbringers oder des 3. Zuges in Frage. Ferner könnten noch weitere Züge in die Anschlusswahrung einbezogen werden.

Bei der „Einbeziehung weiterer Züge“ ist die Eingrenzung des Lösungsraums sehr wichtig, da die gewählte Lösung für den Kunden verständlich sein muss und bei zusätzlichen oder in weiterer Ferne liegenden Umstiegen das Risiko eines erneuten Anschlusskonflikts besteht.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte System stellt einen alternativen Ansatz in der Konfliktlösung für die Anschlussdisposition dar. Durch die Modularisierung wird eine einfache Integration weiterer Bewertungs- oder Lösungsstrategien ermöglicht. Das macht das System sehr flexibel und skalierbar. Auch lassen sich einzelne Module nach dem Stand der Technik überarbeiten und somit bessere Lösungen finden. Zusätzliche Module können nachträglich hinzugefügt werden.

In der weiteren Forschung müssen nun die einzelnen Module für das System konkretisiert und ausgestaltet werden. Dies betrifft unterschiedliche Bewertungsszenarien für mögliche Anwendungen (Darstellung der Konflikte, Wertigkeit der Konflikte) wie auch Module für die Konfliktlösung. Die bereits dargestellten Ansätze ermöglichen eine Entscheidungsunterstützung mit einer einheitlichen Bewertung aus Sicht der Betroffenen und unter Berücksichtigung von Lösungen auch außerhalb des Systems Bahn bei skalierbarer Rechenzeit. Sie erfüllen damit die in Kapitel 3.1 dargestellten Anforderungen. Zusätzlich müssen die erforderlichen Schnittstellen ermittelt und bestenfalls standardisiert werden.

7 Literatur

- [1] Ackermann, T. (1998): *Die Bewertung der Pünktlichkeit als Qualitätsparameter im Schienenpersonenverkehr auf Basis der direkten Nutzenmessung*, Stuttgart, Verkehrswissenschaftliches Institut an der Universität Stuttgart.
- [2] Anderegg, L.; Penna, P.; Widmayer, P. (2009): *Online Train Disposition: To Wait or Not to Wait?*, in: *Lecture Notes in Computer Science*, S. 387–398, Springer Berlin Heidelberg.

- [3] Bär, M.; Kurby, S.; Meier, H.; Steinborn, U. (2006): *Modell zur Anschlussdisposition (ANDI/L) im Rahmen von DisKon*, EI - Eisenbahningenieur, S. 96–104, Heft 57.
- [4] Berger, A.; Blaar, C.; Gebhardt, A.; Müller-Hannemann, M.; Schnee, M. (2011): *Passenger Flow-Oriented Train Disposition*, in: Algorithms - ESA 2011, S. 227–238, Springer.
- [5] Europäisches Parlament und Rat der europäischen Union (2007): *VERORDNUNG (EG) Nr. 1371/2007 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2007 über die Rechte und Pflichten der Fahrgäste im Eisenbahnverkehr*, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:315:0014:0041:DE:PDF>, 29.01.2014.
- [6] Fay, A. (1999): *Wissensbasierte Entscheidungsunterstützung für die Disposition im Schienenverkehr*, Düsseldorf, VDI Verlag.
- [7] Jochim, H. E. (1999): *Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb Dissertation*, Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der RWTH Aachen, Heft 54.
- [8] Klemenz, M.-A.; Siefer, T.: *Method for an optimized passenger orientated connection management during the planning and the operation process.*, <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/o.3.4.4.4.pdf>, 13.05.2013.
- [9] Kurby, S. (2012): *Makroskopisches Echtzeitdispositionsmodell zur Lösung von Anschlusskonflikten im Eisenbahnbetrieb*, Dresden, Verkehrswissenschaften "Friedrich List" Technische Universität Dresden.
- [10] Müller-Hannemann, M.; Schnee, M. (2009): *Efficient Timetable Information in the Presence of Delays*, in: Robust and Online Large-Scale Optimization, S. 249–272, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [11] Oetting, A.; Rio, A. (2012): *Evaluation of supply quality in passenger transport as a basis for the assessment of railway infrastructure measures*, in: Networks For Mobility, Stuttgart.
- [12] Palmer, L. (2014): *Bewertung in der Anschlussdisposition*, Darmstadt, Fachgebiet Bahnsysteme und Bahntechnik, Technische Universität Darmstadt.
- [13] Schöbel, A. (2001): *A Model for the Delay Management Problem based on Mixed-Integer-Programming*, ATMOS 2001, Algorithmic MeThods and Models for Optimization of RailwayS (Satellite Workshop of ICALP 2001), S. 1–10, Heft 1.
- [14] Stelzer, A.; Englert, F.; Oetting, A.; Steinmetz, R. (2013): *Information Exchange for Connection Dispatching*, in: EURO - Žel 2013, S. 222–230, University of Žilina.
- [15] Suhl, L.; Biederbick, C.; Kliwer, N. (2001): *Design of Customer-oriented Dispatching Support for Railways*, in: Computer-aided scheduling of public transport, S. 365–386, Springer.