Kurzfassung zum Vortrag
Delaymanagement in Verbindung mit Wartungsplanung
Julian Wolff

Delaymanagement beinhaltet die Konstruktion eines Dispositionsfahrplans während des laufenden Betriebs. Dieser basiert grundlegend auf dem Originalfahrplan, beachtet aber schon bekannte Verspätungen. Dieser Dispositionsfahrplan soll möglichst kundenfreundlich sein, d.h. das Ziel ist es, diesen Fahrplan so aufzubauen, dass Fahrgäste im Laufe ihrer Reise möglichst kurze Wartezeiten haben.

Wartungsplanung ist eigentlich im Bereich der Planungsphase angesiedelt. Es geht hierbei darum, Zügen einen Umlauf zuzuordnen und dabei die wichtigen Wartungsschranken zu beachten. Das Ziel ist eine Menge möglichst kostengünstiger Umläufe.

In dieser Diplomarbeit soll es nun eine Verknüpfung beider Bereiche geben. D.h. die Wartungsplanung wird während des laufenden Betriebs angesiedelt. Ziel ist es nun,einen möglichst kundenfreundlichen Fahrplan zu erstellen, und dabei unter Umständen auch die Umläufe zu verändern, wobei auch hier die Wartungen nicht ausser acht gelassen werden dürfen.

Das **Ganzzahlige Programm** basiert auf einem Ereignis-Aktivitäts-Netzwerk und wurde mit Hilfe der Diplomarbeit von Johanna Betz und dem Paper **Integrating Rollin Stock Circulation into the Delay Management Problem**.

Lösungen sollen hierbei mit 3 verschiedenen Heuristiken gefunden werden, die allesamt auf ein und derselben Basisheuristik aufbauen.
Das zu betrachtende ganzzahlige Programm sieht hierbei folgendermassen aus:

$$\textbf{IP1} \quad \min \Sigma_{i \in \mathcal{E}} s_i (x_i - \Pi_i) + \Sigma_{a \in \mathcal{A}_{\text{change}}} s_a \mathrm{T} z_a \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
x_i &\geq \Pi_i + v_i \quad \forall i \in \mathcal{E} && (2)\\
x_j - x_i &\geq L_a + v_a \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{fix}} && (3)\\
M z_a + x_j - x_i &\geq L_a \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{change}} && (4)\\
x_i &\in \mathbb{N} \quad \forall i \in \mathcal{E} && (5)\\
z_a &\in \{0,1\} \quad \forall a \in \mathcal{A}_{\text{change}} && (6)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M(1-(X_{ij}^- + X_{ij}^+)) + x_j - x_i &\geq X_{ij}^+ * n_{ij} + L_a + v_a \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} && (7)\\
\Sigma_{i \in E_{end}} (X_{ij}^- + X_{ij}^+) &= 1 \quad \forall j \in \mathcal{E}_{\text{start}} && (8)\\
\Sigma_{j \in E_{start}} (X_{ij}^- + X_{ij}^+) &= 1 \quad \forall i \in \mathcal{E}_{\text{end}} && (9)
\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
w_{ik} &= d_{ik} + \Sigma_{j \in \mathcal{E}_{\text{end}}}(w_{ji}^{-} + w_{ji}^{+}) \quad \forall (i,k) \in \mathcal{T} && (10)\\
w_{ij}^{-} &= d_{ij}^{-} X_{ij}^{-} + u_{ij} \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} && (11)\\
w_{ij}^{+} &= d_{ij}^{+} X_{ij}^{+} \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} && (12)\\
w_{ik} &= r_{ik} \quad \forall (i,k) \in \mathcal{T}' \setminus \mathcal{T} && (13)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
u_{ij} &\leq w_{ki} \quad \forall (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}}, (k,i) \in \mathcal{T}' && (14)\\
w_{max}(1 - X_{ij}^{-}) + u_{ij} &\geq w_{ki} \quad \forall (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}}, (k,i) \in \mathcal{T}' && (15)\\
u_{ij} &\geq 0 \quad \forall (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} && (16)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
w_{ki} &\leq w_{max} \quad \forall (k,i) \in \mathcal{T} && (17)\\
w_{ij}^{+} &\leq w_{max} X_{ij}^{+} \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} && (18)\\
w_{ij}^{-} &\leq w_{max} X_{ij}^{-} \quad \forall a = (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} && (19)
\end{aligned}
$$

$$
X_a^{-}, X_a^{+} \in \{0,1\} \quad \forall a \in \mathcal{A}_{\text{circ}} \qquad (20)
$$

$\mathcal{E}_{\text{arr}} := \{(g, v, arr)$: Zug $g \in \mathcal{F}$ hat eine Ankunft in Bahnhof $v \in V\ \}$

$\mathcal{E}_{\text{dep}} := \{(g, v, dep)$: Zug $g \in \mathcal{F}$ fährt von Bahnhof $v \in V\ \}$ ab

$\mathcal{E}_{\text{start}} := \{i \in \mathcal{E}_{\text{dep}} : i$ das erste Ereignis einer Fahrt $\}$

$\mathcal{E}_{\text{end}} := \{i \in \mathcal{E}_{\text{dep}} : i$ das letzte Ereignis einer Fahrt $\}$

$\mathcal{A}_{\text{drive}} \subset \mathcal{E}_{\text{dep}}$ x $\mathcal{E}_{\text{arr}}$ Die Menge der Fahrtaktivitäten

$\mathcal{A}_{\text{wait}} \subset \mathcal{E}_{\text{arr}}$ x $\mathcal{E}_{\text{dep}}$ Die Menge der Warteaktivitäten

$\mathcal{A}_{\text{change}} \subset \mathcal{E}_{\text{arr}}$ x $\mathcal{E}_{\text{dep}}$ Die Menge der Umsteigeaktivitäten

$\mathcal{A}_{\text{circ}} \subset (\mathcal{E}_{\text{end}})$ x $(\mathcal{E}_{\text{start}})$ Die Menge der Umlaufkanten

$\mathcal{A}_{\text{fix}} = \mathcal{A}_{\text{drive}} \cup \mathcal{A}_{\text{wait}}$

$\mathcal{T}$ Menge aller Fahrten $\subset \mathcal{T}'$

$\mathcal{T}'$ Enthält auch Fahrten vor und nach dem Beobachtungszeitraum

VARIABLEN:

x_i := Die wirkliche Zeit des Ereignisses $i \in \mathcal{E}$, welches die Originalzeit ersetzen soll

$$z_a := \begin{cases} 0 & \text{falls a gehalten werden kann} \\ 1 & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$X_{ij}^{-} := \begin{cases} 1 & \text{falls Überführung von i nach j ohne Wartung stattfindent, } (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$X_{ij}^{+} := \begin{cases} 1 & \text{falls die Überführung von i nach j mit Wartung stattfindet, } (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

w_{ki} := Länge der gefahrenen Distanz seit der letzten Wartung bis zum Ende der Fahrt $(k,i) \in \mathcal{T}$ in Kilometern

$$w_{ij}^{-} := \begin{cases} & \text{Länge der Fahrt seit der letzten Wartung bis zum Ende der Überführung ,} \\ & (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$w_{ij}^{+} := \begin{cases} & \text{Länge der Überführung mit Wartung, } (i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

u_{ij} := Zur Linearisierung des ganzzahligen Programms.
Der Wert ist $w_{ki}X_{ij}^{-}$

PARAMETER

T	Länge einer Periode
Π_i	Ursprüngliche Zeit des Events i
s_i	Anzahl der Passagiere, die in i aussteigen, $i \in \mathcal{E}_{\text{arr}}$
s_a	Anzahl der umsteigenden Passagiere, $a \in \mathcal{A}_{\text{change}}$
L_a	Kleinst mögliche Zeit, die Aktivität a benötigt.
	Für $a \in \mathcal{A}_{\text{circ}}$ is dies die Zeit, die ohne Wartung benötigt wird
M	Grosse Zahl, nötig um das Programm lösbar zu lassen
v_a	Quellverspätung der Aktivität a
v_i	Quellverspätung des Ereignisses i

t_{max}	Maximale Anzahl an Zügen
M_2	Grosse Zahl, nötig um das Programm lösbar zu lassen
w_{max}	Maximal erlaubte Länge zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wartungen
d_{ik}	Länge der Fahrt (i,k), $(i,k) \in \mathcal{T}$
d_{ij}^{-}	Länge der Überführung ohne Wartung, $(i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}}$
d_{ij}^{+}	Länge der Überführung mit Wartung, $(i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}}$
n_{ij}	Zusätzlich benötigte Zeit bei einer Überführung mit Wartung, $(i,j) \in \mathcal{A}_{\text{circ}}$
r_{ik}	Anzahl der bisher gefahrenen Kilometer seit der letzten Wartung
	vor dem Beobachtungszeitraum $(i,k) \in \mathcal{T}' \setminus \mathcal{T}$