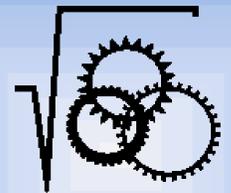




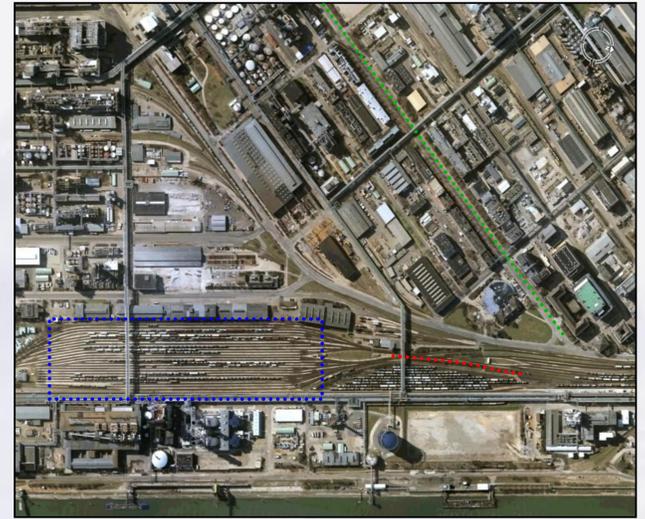
Zeitkritische Ablaufbergoptimierung in Rangierbahnhöfen



Das Problem in der Praxis

Sortieren von Güterwaggons mit Hilfe eines Ablaufberges in einem Rangierbahnhof stellt höchste technische und ist mit hohen Betriebskosten verbunden. Im Kontrast dazu steht die derzeitige einfache, heuristische Abläufe, die sich bei Belastungsspitzen als Engpass und bei durchschnittlichem Waggonaufkommen als bezüglich der Qualität der gewünschten Sortierung herausstellt. Über-greifendes Projektziel ist daher, effektive, Werkzeuge zum Betrieb eines solchen Ablaufberges zu entwickeln und mit dem hohen technischen Niveau in bringen, um dessen Potenzial nutzbar zu machen.

Konkret besteht die Aufgabe beim Praxispartner BASF AG Ludwigshafen in der Sortierung von eingehenden zu 600 pro Tag) über einen Ablaufberg. Das Ziel sind sortierte Züge auf den Richtungsgleisen in einer Gleisharfe parallelen Gleisen. Diese Werkstraßenzüge sind durch ihre Ziele, etwa 40 verschiedene Werkstraßen, Reihung der Waggons innerhalb der Werkstraßenzüge ergibt sich im Idealfall durch die Reihenfolge der zu Ladestellen in den Werkstraßen. Diese Anforderung wird in der heutigen Praxis nicht genau eingehalten. Exakt Werkstraßenzüge vermeiden zeitaufwändiges zusätzliches Rangieren in den Werkstraßen. Korrekte Ladestellen würde allein durch blockweises Abkoppeln der gewünschten Wagen am Ende des Zuges für jede Werkstraße ein Gleis in der Gleisharfe zur Verfügung steht, kann man exakt sortierte Werkstraßenzüge mehrfachen Ablauf von Wagen über den Ablaufberg zusammenstellen. Dabei werden nach einem Ablauf alle einem der Sammelgleise wieder den Ablaufberg hinaufgezogen und laufen dann erneut den Ablaufberg verschiedene Gleise. Durch optimale Planung der mehrfachen Abläufe sollen die Wagen mit möglichst als exakt sortierte Werkstraßenzüge termingerecht an den Ladestellen eintreffen.



Ausschnitt des Werksgeländes der BASF AG, Ludwigshafen
(hervorgehoben: Ablaufberg, Gleisharfe, Werkstraße)

Modellierung und Verfahren

Auf dem Weg zu einer präzisen und effektiv lösbaren mathematischen Modellierung des praktischen Problems der Sortierung von Güterwaggons am Ablaufberg wurden etliche verwandte praktische und theoretische Fragestellungen mit leicht abweichenden Voraussetzungen untersucht. Dabei fanden unterschiedliche Methoden der Diskreten Optimierung Verwendung. Die bearbeiteten Sortierungsprobleme können mathematisch entweder als minimale Zerlegungen von Folgen ganzer Zahlen, oder als minimale Färbungen verschiedener spezieller Graphen (z.B. Triangle Graphs, Polygon Circle Graphs) oder als minimale Kostenflüsse in speziellen großen Netzwerken formuliert werden. Für viele dieser mathematischen Probleme wurden exakte Lösungsverfahren angegeben. Konnten exakte Lösungen für sinnvolle Größenordnungen nicht in akzeptabler Zeit berechnet werden, so wurden schnelle heuristische und approximative Algorithmen untersucht.

Für das konkrete Sortierproblem unseres Praxispartners schlagen wir zwei Planungsvarianten vor. Bei Optimierung ohne Berücksichtigung der Sammelgleislängen („unbeschränkter Fall“) wird dem Disponenten überlassen, überfüllte Sammelgleise adäquat zu handhaben. In einer zeitlich aufwändigeren

Optimierungsvariante wird die Einhaltung der realen Gleislängen im Modell garantiert („beschränkter Fall“). Alternativ lässt sich jeweils entweder die Anzahl der Abläufe bei vorgegebener Anzahl der Sammelgleise oder umgekehrt minimieren.

Unbeschränkter Fall:

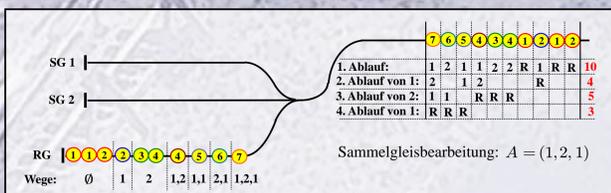
Da es keine Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Werkstraßenzügen gibt, kann das Problem in Teilprobleme je Werkstraßenzug zerlegt werden. Die *Sammelgleisbearbeitung* A entspricht einer Sequenz, welche die Reihenfolge der Bearbeitung der Sammelgleise speichert, d.h. A_i ist die Nummer des beim $i + 1$. Ablauf bearbeiteten Sammelgleises. Ein *Weg*, den ein Wagen bei der Sortierung laufen kann entspricht einer Teilsequenz von A . Die maximale Anzahl unterschiedlicher Wege hängt von A ab. Bei $n + 1$ Abläufen und k Sammelgleisen führt die zyklische Sammelgleisbearbeitung $(1, 2, \dots, k, 1, 2, \dots, k, 1, \dots)$ der Länge n zu den meisten unterschiedlichen Wegen, nämlich:

$$f(n, k) = 2^n + \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{n+1}{k} \rfloor} (-1)^j \cdot \binom{n-j \cdot k}{j} \cdot 2^{n-j(k+1)}$$

Auf diesem Ergebnis aufbauend kann ein Verfahren für die Teilprobleme mit quadratischem Rechenaufwand angegeben werden. Folglich lassen sich sehr schnell optimale Ablaufpläne bestimmen.

Beschränkter Fall:

Das Problem wird unter Berücksichtigung potenzieller weiterer Restriktionen als flexibles Gemischt-Ganzzahliges Modell (MIP) formuliert. Mit Hilfe der kommerziellen Software CPLEX lassen sich in akzeptabler Zeit optimale Ablaufpläne bestimmen.



Ein optimaler Ablaufplan für eine Beispielsequenz von Wagen

Anwendungen und Produkte

Zur Steuerung und Überwachung der Waggon-Sortierung benutzt unser Praxispartner die von SIEMENS entwickelte Dispositionssoftware VICOS.

Aufgrund der schnellen Berechnungsmöglichkeit optimaler Ablaufpläne, der Unabhängigkeit von kommerzieller Software und der einfachen praktischen Realisierbarkeit „unbeschränkter“ Lösungen ist unser Praxispartner von der „unbeschränkten“ Methodik begeistert. Sie wird jedoch nur dann dauerhaft im täglichen Betrieb Einsatz finden, falls sie dem Disponenten innerhalb von VICOS zur Verfügung steht. In der verbleibenden Projektzeit wird u.a. deren Integration in VICOS in Zusammenarbeit mit SIEMENS Braunschweig (erste Gespräche wurden geführt) angestrebt.



Beim Praxispartner eingesetzte Dispositionssoftware VICOS
(entwickelt von SIEMENS)

Kooperationspartner

BASF AG, Ludwigshafen:

Gruppe Logistik, Eisenbahnbetriebsführung

Gruppe Scientific Computing



Gefördert vom
Bundesministerium für
Bildung und Forschung



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung