

# MOTIVATION



In einem kontinuierlichen Produktionsprozess wie typischerweise in der stahlerzeugenden Industrie sind in Deutschland weit über 100 private Werks- und Industriebahnen rund um die Uhr für die reibungslose Abwicklung innerbetrieblicher Schwergütertransporte verantwortlich. Die Deregulierung des Schienenverkehrs ("Bahnreform") hat auch hier zu einem enormen Kostendruck und zu einem Wettbewerb um besseren Service und bessere Kennzahlen geführt. Um unter den neuen Gegebenheiten bestehen zu können, müssen vorhandene Ressourcen effizienter genutzt und vorhandene Strukturen aufgebrochen werden.

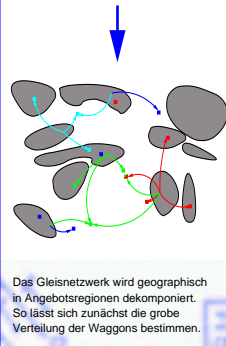
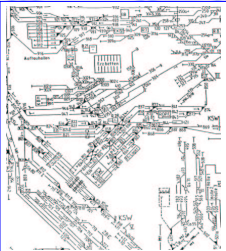
Aufgrund einer Wagenanforderung des Kunden, also der Ladestellen auf dem Betriebsgelände, verfügt ein Disponent der Industriebahn die gewünschte Anzahl und Gattung leerer oder beladener Wagen, d.h. er ordnet ausgewählte Wagen einer Anforderung zu. An Stelle der gewünschten Gattung können auch eine oder mehrere Ersatzgattungen gewählt werden. Unsere Partner unterscheiden etwa 125 Gattungen. Transportaufträge werden nun in Rangieraufträge zerlegt, d.h. in kleinste Einheiten, die jeweils ohne Unterbrechung von einer Lokomotive ausgeführt werden. Ein Transportauftrag zerfällt so etwa in das Zusammenstellen verschiedener Waggons zu einem Zug, die eigentliche Bewegung über das Betriebsgelände und das sich anschließende Anstellen der Waggons beim Kunden. Diese drei Rangieraufträge müssen nicht notwendig zeitlich unmittelbar aufeinander erfolgen, nicht einmal auf der selben Lok.

In diesem Projekt werden Vorschläge für Rangieraufträge entwickelt. Zu Minimieren sind Transportzeiten und der Rangieraufwand bei der Zusammenstellung einzelner Züge. Sollten nicht ausreichend Waggons verfügbar sein, müssen neue angemietet werden. Dieser Vorgang soll auf das notwendige begrenzt werden. Wir gehen davon aus, die Disponenten von Routineentlasten zu können, um mehr Freiraum für die wichtige Kommunikation mit Kunden und Lokrangierführern zu schaffen.

# Optimales Wagenmanagement bei Werks- und Industriebahnen

BMBF-Förderkennzeichen 03ZM2BS

# MODELL

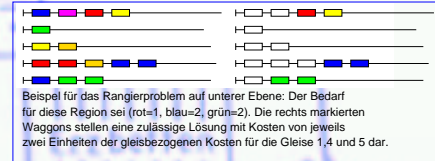


Das Gleisnetzwerk wird geographisch in Angebotsregionen dekomponiert. So lässt sich zunächst die grobe Verteilung der Waggons bestimmen.

Die aktuelle Planung legt eine Dekomposition des Gleisnetzes in Regionen nahe. Für jede Region ist das Angebot an Waggongattungen bekannt. Ein bipartiter Graph bildet zulässige Paarungen von Regionen und Transportaufträgen ab; mittels eines klassischen Transportproblems modellieren wir die Zuordnung des Angebots jeder Region zu den Aufträgen. Am Ende dieser Phase ist bekannt, wieviele Wagen welchen Typs in jeder Region ausrangiert werden müssen. Man kann an dieser Stelle kritische Transportzeiten, Prioritäten und auch das Anmieten neuer Waggons berücksichtigen. Mittels zusätzlicher Restriktionen lässt sich abbilden, dass ein Auftrag nicht von "zu vielen" Regionen aus oder mit "zu vielen" verschiedenen Gattungen bedient wird. Durch Hinzunahme solcher Restriktionen wird das Problem im Komplexitätstheoretischen Sinn schwer.

Für jede Region ist nun ein Rangierproblem zu lösen. Gleise haben eine Hauptbedienrichtung, von der aus Waggons vorzugsweise entnommen werden. Je weiter entfernt ein Waggon vom Gleiskopf ist, desto "tiefer" steht er im Gleis. Das Herausrangieren eines einzelnen Waggons erfordert das Bewegen aller Waggons geringerer Tiefe auf diesem Gleis. Jede Bewegung eines einzelnen Waggons verursacht gleisabhängige Kosten in Höhe eines vorgegebenen "Faktors". Ziel ist es, die vorgegebene Anzahl der erforderlichen Waggons zu minimalen Rangierkosten bereit zu stellen. Wir beweisen dass dieses Problem NP-schwer im strengen Sinne ist und entwickeln eine Formulierung als ganzzahliges Programm.

Die Ebene des Transportproblems und die Rangierebene lassen sich in einem ganzzahligen Programm koppeln. Die unten blau dargestellten Teile gehören zum Transportproblem.



Beispiel für das Rangierproblem auf unterer Ebene: Der Bedarf für diese Region sei (rot=1, blau=2, grün=2). Die rechts markierten Waggons stellen eine zulässige Lösung mit Kosten von jeweils zwei Einheiten der gleisbezogenen Kosten für die Gleise 1,4 und 5 dar.

$$\begin{aligned}
& \text{minimize} && \sum_{i,r,\tau \in \mathcal{I}_r} c_{i,r} \cdot x_{i,r}^\tau + \sum_{r,\tau \in \mathcal{I}_r} M_\tau \cdot x_{r,\tau}^\tau + \sum_{i=1}^n \sum_{t,g} c_t \cdot Q_{i,t,g} \cdot z_{i,t,g} \\
& \text{subject to} && \sum_{r \in \mathcal{I}_r} x_{i,r}^\tau \leq \sum_{t,g: \text{color}(t,g)=\tau} Q_{i,t,g} \cdot z_{i,t,g} \quad \forall i, \tau \\
& && \sum_{i,\tau \in \mathcal{I}_r} x_{i,r}^\tau + \sum_{t \in \mathcal{I}_r} x_{r,t}^\tau \geq b_r \quad \forall r \\
& && z_{i,t,g} \leq z_{i,t,g-1} \quad \forall i, t, g > 1 \\
& && x_{i,r}^\tau \in \mathbb{Z}_+ \quad \forall i, r, \tau \in \mathcal{I}_r \\
& && z_{i,t,g} \in \{0,1\} \quad \forall i, t, g
\end{aligned}$$

Die Variablen  $x_{i,r}^\tau$  repräsentieren den Bedarf des Auftrags  $r$  an Gattung  $\tau$ , der aus Region  $i$  gedeckt wird. Die Variablen  $z_{i,t,g}$  sind Indikatoren dafür, ob auf die Waggongruppe der Tiefe  $g$  auf Gleis  $t$  in Region  $i$  zugegriffen wird. Falls ja, stehen diese Waggons als Angebot der Region  $i$  zur Verfügung.

Uns stehen Praxisdaten der Dortmunder Eisenbahn zur Verfügung. Das Gleisnetz hat etwa 700 Gleise, 170 Ladestellen und ist in etwa 40 Regionen dekomponiert. Rund 1600 Waggons (123 Gattungen) befinden sich auf dem Gelände. Etwa 20 Aufträge lassen sich innerhalb einer Sekunde optimal verplanen. Diese Ergebnisse ermutigen uns zu Erweiterungen des Modells und einem zeitnahen Probetrieb des Prototyps.

# PRAXIS

Die zu entwickelnde Vorschlagskomponente soll in bestehende Dispositionssysteme integriert werden. Komplementäre Kompetenzen aus den Bereichen Modellierung, Praxishintergrund und Produktentwicklung werden neben der TU Braunschweig durch unsere Praxispartner

CSC Ploenzke AG (Dresden),  
Dortmunder Eisenbahn GmbH

in das Vorhaben eingebracht. Die Ergebnisse eines akademischen Prototyps sind in Dortmund diskutiert worden. Momentan wird gemeinsam mit der CSC Ploenzke AG eine Schnittstelle entwickelt. Es ist geplant, dass das Vorschlagsmodul im Parallelbetrieb zur manuellen Planung getestet wird und die sich hieraus ergebenden Erfahrungen zur weiteren Verbesserung des Prototyps genutzt werden.

