

# Zentrale Fragestellungen bei der Kapazitätsberechnung

Marc Pfetsch



Technische  
Universität  
Braunschweig

8.11.2010

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Mitarbeiterin TU Braunschweig:  
Imke Joormann

Kooperationspartner:



## Ziel des Vortrags

Konkrete Herausarbeitung und Formulierung von zentralen Planungsaufgaben im Gastransport.

- ▷ Zusammenfassung wichtiger Aspekte der bisherigen Vorträge
- ▷ Formulierung als mathematische (Optimierungs-)Aufgaben
- ▷ Möglichst konkrete Spezifikation der Daten und Aufgaben

## Strategische Planung des Gastransports:

- ▷ Mittelfristige bis langfristige Planung
- ▷ Stationärer Gastransport
- ▷ Physikalische Bedingungen, mathematisch formuliert
- ▷ Optimierungspotential soll ausgenutzt werden.

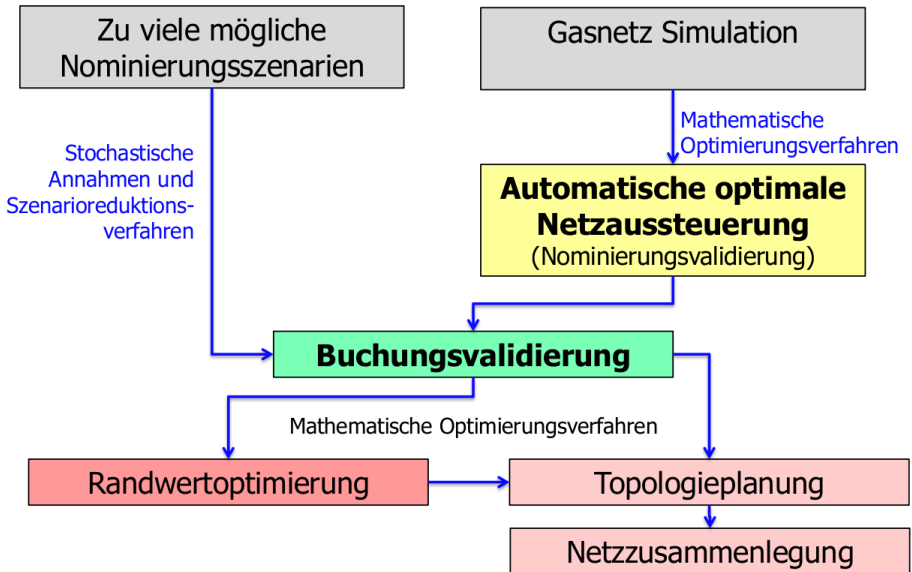
## Zur Vereinfachung der Vortrags:

- ▷ Lasse unterbrechbare Kapazitäten unberücksichtigt.
- ▷ Ignoriere Lastflusszusagen.
- ▷ Keine Speicher
- ▷ Keine unterschiedlichen Brennwerte
- ▷ Vernachlässige Regelenergie

Alle Aspekte müssen in der Praxis berücksichtigt werden.

- ▷ Nominierungsvalidierung
- ▷ Buchungsvalidierung
- ▷ Randwertoptimierung
- ▷ Topologieplanung
- ▷ Netzzusammenlegung

# Zentrale Fragestellungen



- 1 Einführung
- 2 Nominierungsvalidierung**
- 3 Buchungsvalidierung
- 4 Randwertoptimierung
- 5 Topologieplanung
- 6 Netzzusammenlegung
- 7 Zusammenfassung



## Gegeben:

- ▷ (stationäres) Gasnetz  
vollständige Spezifikation aller Rohre, Verdichter, Regler, ...
- ▷ Aktive Elemente: Verdichter, Schieber, Regler, Widerstände
- ▷ Genaue Angebotsmengen an Einspeisepunkten/Entries
- ▷ Genaue Abnahmemengen an Ausspeisepunkten/Exits
- ▷ Druckschranken an Entries/Exits
- ▷ Temperatur

## Fragestellung

Gibt es eine Einstellung aller aktiven Elemente, so dass die angegebene Gasmenge transportierbar ist?

## Allgemeine Netzparameter:

$G = (V, E)$	Netz mit Knotenmenge $V$ und Kantenmenge $E$
$V^+ \subseteq V$	Einspeisepunkte/Entries
$V^- \subseteq V$	Ausspeisepunkte/Exits
$V^\pm = V^+ \cup V^-$	Entries und Exits
$\mathcal{E}$	Netzelementtypen: versch. Rohre, Verdichter, Regler, Schieber, Gaskühler und -vorwärmer, sowie Widerstände
$(x_v, y_v, h_v)$	Geographische Position von Knoten $v \in V$
$[P_v^{\min}, P_v^{\max}]$	Physikalisch zulässiges Druckintervall von $v \in V$
$t(e) \in \mathcal{E}$	Netzelementtyp von $e \in E$
$v^{\max}(e)$	Max. Fließgeschwindigkeit in $e \in E$
$[\theta^{\min}(e), \theta^{\max}(e)]$	zul. Gastemperatur an Netzelement $e \in E$

## Spezifische Kenngrößen:

Rohre	Länge, Durchmesser, Rauigkeit, Steigung
Verdichter	Kennfeld in Abhängigkeit von Drücken und Flüssen, Energieträger (Strom/Gas), Widerstandsbeiwert (abhängig vom Durchfluss)
Regler	Min. Eingangsdruck, max. Ausgangsdruck, min./max. Durchfluss, Druckverlust
Vorwärmer und Gaskühler	Energieverbrauch
Widerstände	Druckverlustkennlinie

Nominierung:

$$\mathcal{L} = \{(L^+, L^-) \geq 0 : \sum_{v \in V^+} L_v^+ = \sum_{v \in V^-} L_v^-\}$$

Stehen immer in Bilanz.

Zusätzlich gegeben (unabhängig von Nominierung):

- ▷  $P_v^{\min}$  untere Druckschranke  $v \in V^\pm$
- ▷  $P_v^{\max}$  obere Druckschranke  $v \in V^\pm$
- ▷ Temperatur  $T$

Fragestellung

Ist die Nominierung durchführbar?

Zur Abkürzung:

$\mathcal{K}(P^{\min}, P^{\max}, T)$  = Menge der zulässigen Nominierungen.

Also:

$\mathcal{K}(P^{\min}, P^{\max}, T) = \{L \in \mathcal{L} : \exists \text{ Drücke, Gasflüsse und Einstellungen aktiver Elemente, so dass } L \text{ transportiert wird}\}.$

## Nominierungsvalidierung

Gegeben  $L \in \mathcal{L}$ , gilt  $L \in \mathcal{K}(P^{\min}, P^{\max}, T)$ ?

- 1 Einführung
- 2 Nominierungsvalidierung
- 3 Buchungsvalidierung**
- 4 Randwertoptimierung
- 5 Topologieplanung
- 6 Netzzusammenlegung
- 7 Zusammenfassung

## Gegeben:

- ▷ Netz
- ▷ Buchungsanfrage:
  - ▶ Obergrenze für Nominierungen:  $L_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$  (FZK)
  - ▶ Druckschranken:  $P_v^{\min}$ ,  $P_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$
  - ▶ Oft: alter Vertragszustand mit zusätzlicher neuer Anfrage

## Fragestellung

Gibt es für alle durch die Buchungsanfrage erlaubten Nominierungen eine Einstellung der aktiven Elemente, so dass die Nominierungvalidierung positiv ist?

Gegeben:

- ▷ Obergrenze für Nominierungen:  $L_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$
- ▷ Druckschranken:  $P_v^{\min}$ ,  $P_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$

## Buchungsvalidierung

Gilt für alle  $L \in \mathcal{L}$  mit  $L_v \leq L_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$  und alle Temperaturen  $T$ , dass  $L \in \mathcal{K}(P^{\min}, P^{\max}, T)$ ?



Gegeben:

- ▷ Obergrenze für Nominierungen:  $L_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$
- ▷ Druckschranken:  $P_v^{\min}$ ,  $P_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$

## Buchungsvalidierung

Gilt für alle  $L \in \mathcal{L}$  mit  $L_v \leq L_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$  und alle Temperaturen  $T$ , dass  $L \in \mathcal{K}(P^{\min}, P^{\max}, T)$ ?

Worst-Case – zu pessimistisch.

## Gegeben:

- ▷ Netz
- ▷ Buchungsanfrage:
  - ▶ Obergrenze für Nominierungen:  $L_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$
  - ▶ Druckschranken:  $P_v^{\min}$ ,  $P_v^{\max}$ ,  $v \in V^{\pm}$
  - ▶ **Wahrscheinlichkeitsverteilung  $\mathbb{P}$  auf Exit-Seite**
  - ▶ **Wahrscheinlichkeitsschranke  $p(T)$**

## Fragestellung

Gilt für alle Temperaturen  $T$ , dass die Wahrscheinlichkeit, mit der die Nominierungvalidierung für durch die Buchungsanfrage erlaubte Nominierungen positiv ist, größer ist als  $p(T)$ ?

## Gegeben:

- ▷ Netz
- ▷ Buchungsanfrage:
  - ▶ Obergrenze für Nominierungen:  $L_v^{\max}$ ,  $v \in V^\pm$
  - ▶ Druckschranken:  $P_v^{\min}$ ,  $P_v^{\max}$ ,  $v \in V^\pm$
  - ▶ **Wahrscheinlichkeitsverteilung  $\mathbb{P}$  auf Exit-Seite**
  - ▶ **Wahrscheinlichkeitsschranke  $p(T)$**

## Buchungsvalidierung

Gilt für alle  $T$

$$\mathbb{P}[L^- \in \mathcal{L}^- : \forall L^+ \text{ mit } L = (L^+, L^-) \in \mathcal{L}, \\ L \in \mathcal{K}(P^{\min}, P^{\max}, T)] \geq p(T)?$$

- 1 Einführung
- 2 Nominierungsvalidierung
- 3 Buchungsvalidierung
- 4 Randwertoptimierung**
- 5 Topologieplanung
- 6 Netzzusammenlegung
- 7 Zusammenfassung

## Gegeben:

- ▷ Netz
- ▷ aktueller Buchungszustand  $L^{\max}$
- ▷ Bewertungen der Exits/Entries  $w_v, v \in V^{\pm}$

## Fragestellung

Wie könnte der aktuelle Buchungszustand so erweitert werden, dass die (bewertete) Menge der Erweiterungen maximal ist?

Ergebnis: Randwerte

Variablen:

$0 \leq \Delta_v \leq \Delta_v^{\max}$ : Erweiterung des Buchungszustandes in  $v \in V^{\pm}$ .

## Randwertoptimierung

$$\max \sum_{v \in V^{\pm}} w_v \Delta_v$$

Buchungvalidierung für  $L_v^{\max} + \Delta_v$ ,  $v \in V^{\pm}$ , positiv.

Bemerkung: In erweiterten Exits/Entries gibt es in der Regel keine stochastischen Informationen.

- 1 Einführung
- 2 Nominierungsvalidierung
- 3 Buchungsvalidierung
- 4 Randwertoptimierung
- 5 Topologieplanung**
- 6 Netzzusammenlegung
- 7 Zusammenfassung

## Gegeben:

- ▷ Netz
- ▷ Ausbaumöglichkeiten
- ▷ Ausbaukosten  $c_e$
- ▷ Menge von Buchungsanfragen

## Fragestellung

Wie soll ausgebaut werden, dass alle Buchungsvalidierungen positiv und die Kosten minimal sind?



## Gegeben:

- ▷ Netz
- ▷ Ausbaumöglichkeiten
- ▷ Ausbaukosten  $c_e$
- ▷ Menge von Buchungsanfragen

## Topologieplanung

$$\min \sum_{e \in \hat{E}} c_e,$$

wobei  $\hat{E}$  Teilmenge der Ausbaumöglichkeiten ist und alle Buchungsvalidierungen für das Gesamtnetz positiv sind.

- ▷ Eine Vielzahl an Ausbauentscheidungen sind möglich:
  - ▶ Neue Rohre, Verdichter, Regler, ...
  - ▶ Parallel zu alten Rohren, neue Trassen
- ▷ Kosten werden durch Geographie bestimmt
- ▷ Bestimmte Gebiete dürfen nicht bebaut werden (Naturschutzgebiete, ...)

- 1 Einführung
- 2 Nominierungsvalidierung
- 3 Buchungsvalidierung
- 4 Randwertoptimierung
- 5 Topologieplanung
- 6 Netzzusammenlegung**
- 7 Zusammenfassung

## Gegeben:

- ▷ zwei Netze
- ▷ jeweils ein Buchungszustand

## Fragestellung

Wie können die Netze verbunden werden, dass die Buchungszustände zusammen positiv validiert werden und die Kosten minimal sind?

- 1 Einführung
- 2 Nominierungsvalidierung
- 3 Buchungsvalidierung
- 4 Randwertoptimierung
- 5 Topologieplanung
- 6 Netzzusammenlegung
- 7 Zusammenfassung**

- ▷ Vorgestellte Fragestellungen/Aufgaben sind essentiell für die strategische Planung bzw. Umsetzung der GasNZV.
- ▷ Mathematische Optimierung notwendig zu ihrer Behandlung.
  
- ▷ Stand der Technik: Simulation
- ▷ Es gibt zur Zeit keine Software für die vorgestellten Fragestellungen!