Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

Prof. Dr. Rüdiger Schultz
mit:
Dr. Ralf Gollmer
Dipl.-Math. Claudia Stangl

Fakultät für Mathematik
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Mathematik

Mathematik

ist das Studium aller theoretisch möglicher Fälle

Mathematik

ist das Studium aller theoretisch möglicher Fälle

– unter besonderer Berücksichtigung

der praktisch wichtigen.

Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

... zunächst eine Vorstellung von “Robustheit”.

Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

... zunächst eine Vorstellung von “Robustheit”.

Etwa:

Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

... zunächst eine Vorstellung von "Robustheit".

Etwa:

Rechne immer mit dem Schlimmsten!

oder

Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

... zunächst eine Vorstellung von “Robustheit”.

Etwa:

> Rechne immer mit dem Schlimmsten!
>
> oder
>
> Lerne aus der (Daten-)Geschichte und orientiere Dich an ihr!

Was braucht man für eine robuste Gasversorgung ?

... zunächst eine Vorstellung von “Robustheit”.

Etwa:

Rechne immer mit dem Schlimmsten!

oder

Lerne aus der (Daten-)Geschichte und orientiere Dich an ihr!

oder

Glaube ohne wenn und aber an Deine Voraussage!

Beispiel 1: Frei zuordenbare Kapazität (FZK)

Beispiel 1: Frei zuordenbare Kapazität (FZK)

GasNZV (09.09.2010):

Beispiel 1: Frei zuordenbare Kapazität (FZK)

GasNZV (09.09.2010):

Fernleitungsnetzbetreiber haben frei zuordenbare Kapazitäten anzubieten, die es ermöglichen, gebuchte Ein- und Ausspeisekapazitäten ohne Festlegung eines Transportpfads zu nutzen.

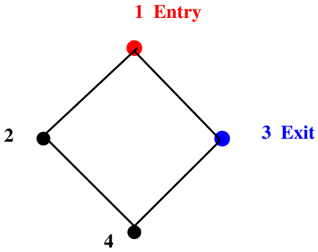
Beispiel 1: Frei zuordenbare Kapazität (FZK)

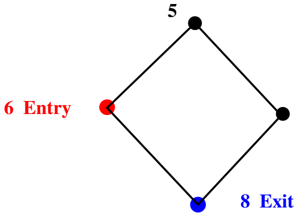
GasNZV (09.09.2010):

Fernleitungsnetzbetreiber haben frei zuordenbare Kapazitäten anzubieten, die es ermöglichen, gebuchte Ein- und Ausspeisekapazitäten ohne Festlegung eines Transportpfads zu nutzen.

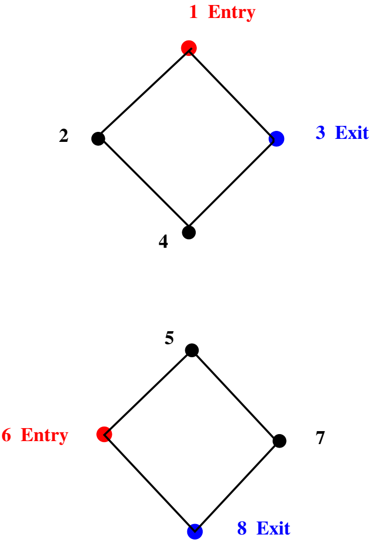
Die Rechte an gebuchten Kapazitäten (Kapazitätsrechte) berechtigen den Transportkunden, im Rahmen dieser Kapazitätsrechte Gas an jedem gebuchten Einspeisepunkt für die Ausspeisung an jedem gebuchten Ausspeisepunkt des betreffenden Marktgebiets bereitzustellen.

Zwei schematische Gasnetze:





Zwei schematische Gasnetze:

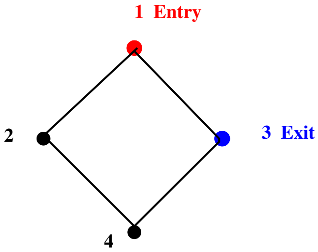


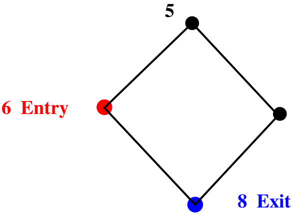
Stationäre Rechnung mit Flußerhaltung nach Kirchhoff und Druckabfall nach Weymouth (mit konstanten Rauhigkeitskoeffizienten)

$$p_u^2 - p_v^2 = c \cdot q_{uv}|q_{uv}|$$

liefert für das obere Netz:

Zwei schematische Gasnetze:





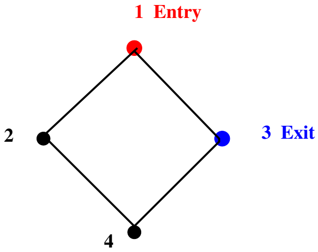
Stationäre Rechnung mit Flußerhaltung nach Kirchhoff und Druckabfall nach Weymouth (mit konstanten Rauhigkeitskoeffizienten)

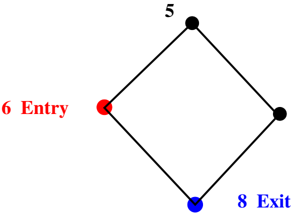
$$p_u^2 - p_v^2 = c \cdot q_{uv}|q_{uv}|$$

liefert für das obere Netz:

Mit Eingangsdruck $p_{in} = 100$ am Entry lassen sich maximal 124 Einheiten Fluß zum Exit bei dortigem Mindestdruck $p_{out} = 10$ transportieren.

Zwei schematische Gasnetze:





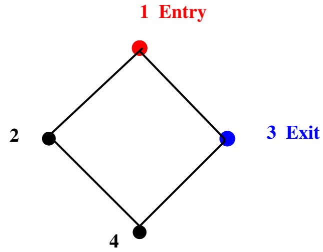
Stationäre Rechnung mit Flußerhaltung nach Kirchhoff und Druckabfall nach Weymouth (mit konstanten Rauhigkeitskoeffizienten)

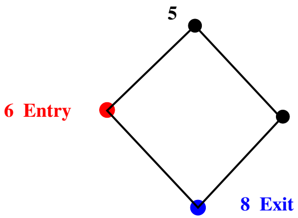
$$p_u^2 - p_v^2 = c \cdot q_{uv}|q_{uv}|$$

liefert für das obere Netz:

Mit Eingangsdruck $p_{in} = 100$ am Entry lassen sich maximal 124 Einheiten Fluß zum Exit bei dortigem Mindestdruck $p_{out} = 10$ transportieren. Analog im unteren Netz.

Zwei schematische Gasnetze:





Stationäre Rechnung mit Flußerhaltung nach Kirchhoff und Druckabfall nach Weymouth (mit konstanten Rauhigkeitskoeffizienten)

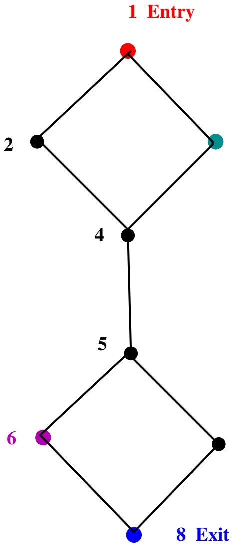
$$p_u^2 - p_v^2 = c \cdot q_{uv}|q_{uv}|$$

liefert für das obere Netz:

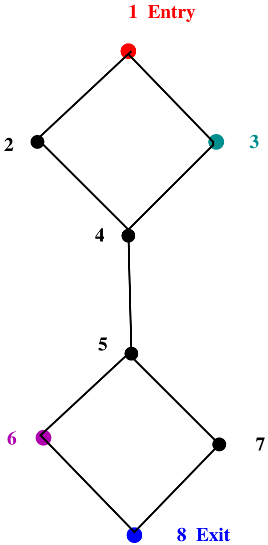
Mit Eingangsdruck $p_{in} = 100$ am Entry lassen sich maximal 124 Einheiten Fluß zum Exit bei dortigem Mindestdruck $p_{out} = 10$ transportieren. Analog im unteren Netz.

FZK an Knoten 3 beträgt 124 Einheiten.

Netzzusammenlegung:

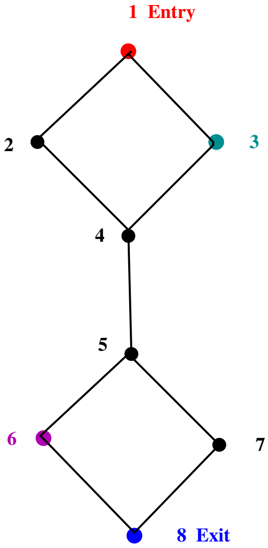


Netzzusammenlegung:



Bereitstellung von frei zuordenbarer Kapazität an jedem Entry und jedem Exit, läßt Transport vom Knoten 1 zum Knoten 8 zu.

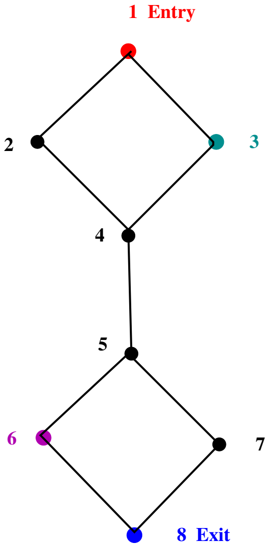
Netzzusammenlegung:



Bereitstellung von frei zuordenbarer Kapazität an jedem Entry und jedem Exit, läßt Transport vom Knoten 1 zum Knoten 8 zu.

Mit Eingangsdruck $p_{in} = 100$ am Entry lassen sich dann nur noch 81 Einheiten Fluß zum Exit bei dortigem Mindestdruck $p_{out} = 10$ transportieren.

Netzzusammenlegung:



Bereitstellung von frei zuordenbarer Kapazität an jedem Entry und jedem Exit, läßt Transport vom Knoten 1 zum Knoten 8 zu.

Mit Eingangsdruck $p_{in} = 100$ am Entry lassen sich dann nur noch 81 Einheiten Fluß zum Exit bei dortigem Mindestdruck $p_{out} = 10$ transportieren.

FZK an Knoten 8 beträgt höchstens noch 81 Einheiten.

Vom Knoten 6 könnten aber 124 Einheiten nach 8 geschickt werden.

Noch ein Artefakt: Keine Konvexität !

Gegeben seien zwei zulässige Transporte mit denselben Ein- und Ausspeisepunkten.

Noch ein Artefakt: Keine Konvexität !

Gegeben seien zwei zulässige Transporte mit denselben Ein- und Ausspeisepunkten.

Dann sind nicht notwendig alle gewichteten Mittelungen der Transporte technisch zulässig.

Noch ein Artefakt: Keine Konvexität !

Gegeben seien zwei zulässige Transporte mit denselben Ein- und Ausspeisepunkten.

Dann sind nicht notwendig alle gewichteten Mittelungen der Transporte technisch zulässig.

Das heißt, FZK nicht nur “nach oben begrenzt”, sondern relevante Zulässigkeitsbereiche können “Löcher” haben.

Höchststdruckverletzung an Entry

Höchststdruckverletzung an Entry

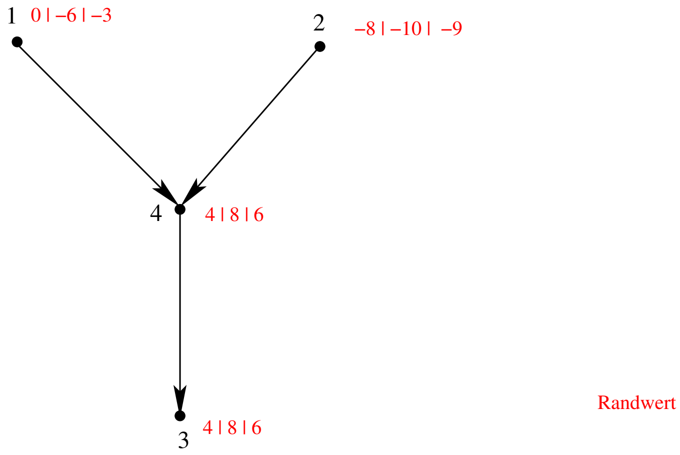
Folgende Maximaldrücke seien an den Knoten gegeben

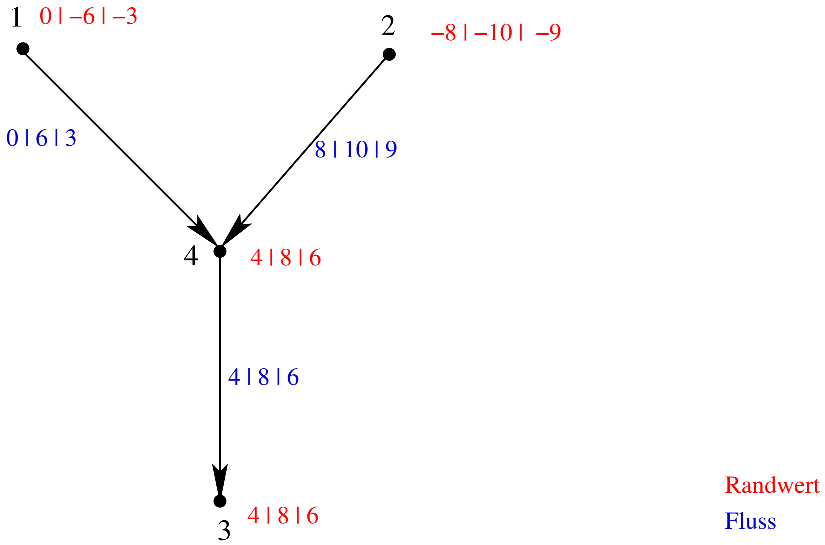
$$p_{1,max} = 15, \quad p_{2,max} = 13, \quad p_{3,max} = 10, \quad p_{4,max} = 10.$$

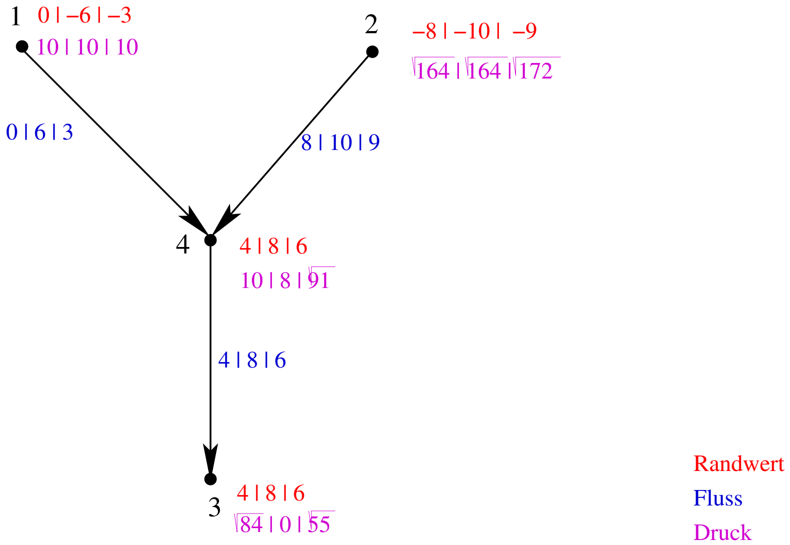
Höchststdruckverletzung an Entry

Folgende Maximaldrücke seien an den Knoten gegeben

$$p_{1,max} = 15, \quad p_{2,max} = 13, \quad p_{3,max} = 10, \quad p_{4,max} = 10.$$




1
0 | −6 | −3
2
−8 | −10 | −9
0 | 6 | 3
8 | 10 | 9
4
4 | 8 | 6
4 | 8 | 6
3
4 | 8 | 6
Randwert
Fluss



1
0 | −6 | −3
10 | 10 | 10
2
−8 | −10 | −9
√164 | √164 | √172
0 | 6 | 3
8 | 10 | 9
4
4 | 8 | 6
10 | 8 | √91
4 | 8 | 6
3
4 | 8 | 6
√84 | 0 | √55
Randwert
Fluss
Druck

Optimale Entscheidungsfindung

bei unnvollständiger Information

Beispiel 2:

Bereitstellung bei unbekannter Gasnachfrage

Optimale Entscheidungsfindung

bei unnvollständiger Information

Beispiel 2:

Bereitstellung bei unbekannter Gasnachfrage

Problem:

- Eine zu liefernde Gasmenge x ist an einem Exit bereitzustellen. Dies verursache Kosten $c \cdot x$ (linear nur der didaktischen Einfachheit halber).
- Zum Zeitpunkt der Planung ist der zu deckende Gasbedarf d nicht bekannt.

Beispiel 2:

Bereitstellung bei unbekannter Gasnachfrage

Problem:

- Eine zu liefernde Gasmenge x ist an einem Exit bereitzustellen. Dies verursache Kosten $c \cdot x$ (linear nur der didaktischen Einfachheit halber).
- Zum Zeitpunkt der Planung ist der zu deckende Gasbedarf d nicht bekannt.
- Ist der Bedarf dann bekannt, so können Abweichungen zur bereitgestellten Menge mittels Ausgleichsenergie auf zwei Weisen kompensiert werden:

Beispiel 2:

Bereitstellung bei unbekannter Gasnachfrage

Problem:

- Eine zu liefernde Gasmenge x ist an einem Exit bereitzustellen. Dies verursache Kosten $c \cdot x$ (linear nur der didaktischen Einfachheit halber).
- Zum Zeitpunkt der Planung ist der zu deckende Gasbedarf d nicht bekannt.
- Ist der Bedarf dann bekannt, so können Abweichungen zur bereitgestellten Menge mittels Ausgleichsenergie auf zwei Weisen kompensiert werden:
  (1) Unterdeckung: Nachbestellung zu höheren Kosten.

Optimale Entscheidungsfindung

bei unnvollständiger Information

Beispiel 2:

Bereitstellung bei unbekannter Gasnachfrage

Problem:

- Eine zu liefernde Gasmenge x ist an einem Exit bereitzustellen. Dies verursache Kosten $c \cdot x$ (linear nur der didaktischen Einfachheit halber).
- Zum Zeitpunkt der Planung ist der zu deckende Gasbedarf d nicht bekannt.
- Ist der Bedarf dann bekannt, so können Abweichungen zur bereitgestellten Menge mittels Ausgleichsenergie auf zwei Weisen kompensiert werden:
  (1) Unterdeckung: Nachbestellung zu höheren Kosten.
  (2) Überdeckung: Kostenpflichtige Einlagerung (Speicherung).

Mathematische Modelle

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge: x

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$
Kosten Nachbestellung:	$b = 6$

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$
Kosten Nachbestellung:	$b = 6$
Kosten Speicherung:	$h = 4$

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$
Kosten Nachbestellung:	$b = 6$
Kosten Speicherung:	$h = 4$
Bedarf (als Parameter):	d mit $0 \leq d \leq 100$.

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$
Kosten Nachbestellung:	$b = 6$
Kosten Speicherung:	$h = 4$
Bedarf (als Parameter):	$d \quad \text{mit } 0 \leq d \leq 100.$

Gesamtkosten:

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$
Kosten Nachbestellung:	$b = 6$
Kosten Speicherung:	$h = 4$
Bedarf (als Parameter):	d mit $0 \le d \le 100$.

Gesamtkosten:

$$F(x; d) \;=\; c \cdot x \;+\; b \cdot \max\{d - x, 0\} \;+\; h \cdot \max\{x - d, 0\}$$

Mathematische Modelle

Unbekannte Bereitstellungsmenge:	x
Bereitstellungskosten (pro Einheit):	$c = 3$
Kosten Nachbestellung:	$b = 6$
Kosten Speicherung:	$h = 4$
Bedarf (als Parameter):	d mit $0 \leq d \leq 100$.

Gesamtkosten:

$$\begin{aligned} F(x;d) &= c \cdot x + b \cdot \max\{d - x, 0\} + h \cdot \max\{x - d, 0\} \\ &= 3x + 6 \cdot \max\{d - x, 0\} + 4 \cdot \max\{x - d, 0\} \end{aligned}$$

Situation 1: Bedarf bei Bestellung genau bekannt

Situation 1: Bedarf bei Bestellung genau bekannt

Optimale Lösung: $x = d$

Optimale Kosten: $c \cdot d = 3d$ also höchstens 300

(Ausgleichsenergie wird nicht benötigt.)

Situation 2:

Man weiß, daß unbekannter Bedarf zwischen 0 und 100 liegt.

Situation 2:

Man weiß, daß unbekannter Bedarf zwischen 0 und 100 liegt.

Lösungsbegriff "Worst Case" (Robuste Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die dann im ungünstigsten Fall entstehenden Gesamtkosten so klein wie möglich sind.

$$\min_{0 \le x \le 100} \; \max_{0 \le d \le 100} F(x; d)$$

Situation 2:

Man weiß, daß unbekannter Bedarf zwischen 0 und 100 liegt.

Lösungsbegriff “Worst Case” (Robuste Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die dann im ungünstigsten Fall entstehenden Gesamtkosten so klein wie möglich sind.

$$\min_{0\le x\le 100} \max_{0\le d\le 100} F(x;d)$$

$$= \min_{0\le x\le 100} \left\{ 3x + \max_{0\le d\le 100} \left\{ 6\max\{d-x,0\} + 4\max\{x-d,0\} \right\} \right\}$$

Situation 2:

Man weiß, daß unbekannter Bedarf zwischen 0 und 100 liegt.

Lösungsbegriff "Worst Case" (Robuste Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die dann im ungünstigsten Fall entstehenden Gesamtkosten so klein wie möglich sind.

$$\min_{0 \le x \le 100} \; \max_{0 \le d \le 100} F(x; d)$$

$$= \min_{0 \le x \le 100} \left\{ 3x + \max_{0 \le d \le 100} \left\{ 6 \max\{d - x, 0\} + 4 \max\{x - d, 0\} \right\} \right\}$$

$$= \min_{0 \le x \le 100} \left\{ 3x + \max \left\{ 4x, 6(100 - x) \right\} \right\}$$

Situation 2:

Man weiß, daß unbekannter Bedarf zwischen 0 und 100 liegt.

Lösungsbegriff "Worst Case" (Robuste Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die dann im ungünstigsten Fall entstehenden Gesamtkosten so klein wie möglich sind.

$$\min_{0 \leq x \leq 100} \max_{0 \leq d \leq 100} F(x;d)$$

$$= \min_{0 \leq x \leq 100} \left\{ 3x + \max_{0 \leq d \leq 100} \left\{ 6 \max\{d-x, 0\} + 4 \max\{x-d, 0\} \right\} \right\}$$

$$= \min_{0 \leq x \leq 100} \left\{ 3x + \max \left\{ 4x, 6(100-x) \right\} \right\}$$

$$= \min_{0 \leq x \leq 100} \max \left\{ 7x, 600-3x \right\} = 420 \qquad \text{Optimum: } x_R = 60$$

Situation 3:

Man kennt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bedarfs, z.B. gleichverteilt zwischen 0 und 100.

Situation 3:

Man kennt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bedarfs, z.B. gleichverteilt zwischen 0 und 100.

Lösungsbegriff "Minimaler Erwartungswert" der Gesamtkosten (Stochastische Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die zu erwartenden Gesamtkosten im Mittel so klein wie möglich werden.

$$\min_{0 \leq x \leq 100} \quad \boldsymbol{E}_\omega \left[F\left(x; d(\omega)\right) \right]$$

Situation 3:

Man kennt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bedarfs, z.B. gleichverteilt zwischen 0 und 100.

Lösungsbegriff “Minimaler Erwartungswert” der Gesamtkosten (Stochastische Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die zu erwartenden Gesamtkosten im Mittel so klein wie möglich werden.

$$\min_{0 \le x \le 100} \quad \boldsymbol{E}_\omega \left[F\left(x; d(\omega)\right)\right]$$

$$\boldsymbol{E}_\omega[F(x, d(\omega))] \quad = \quad b\boldsymbol{E}_\omega[d(\omega)] + (c-b)x + (h+b)\int_0^x \boldsymbol{P}_\omega[d(\omega) \le z]\, dz$$

Situation 3:

Man kennt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bedarfs, z.B. gleichverteilt zwischen 0 und 100.

Lösungsbegriff "Minimaler Erwartungswert" der Gesamtkosten (Stochastische Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die zu erwartenden Gesamtkosten im Mittel so klein wie möglich werden.

$$\min_{0 \le x \le 100} \quad \boldsymbol{E}_\omega \left[F\left(x; d(\omega)\right) \right]$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{E}_\omega[F(x, d(\omega))] &= b\boldsymbol{E}_\omega[d(\omega)] + (c-b)x + (h+b)\int_0^x \boldsymbol{P}_\omega[d(\omega) \le z]\,dz \\ &= 300 \; - \; 3x \; + \; \frac{1}{20}x^2 \end{aligned}$$

Situation 3:

Man kennt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bedarfs, z.B. gleichverteilt zwischen 0 und 100.

Lösungsbegriff "Minimaler Erwartungswert" der Gesamtkosten (Stochastische Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die zu erwartenden Gesamtkosten im Mittel so klein wie möglich werden.

$$\min_{0 \le x \le 100} \; \boldsymbol{E}_\omega \left[F\big(x; d(\omega)\big) \right]$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{E}_\omega[F(x, d(\omega))] &= b\boldsymbol{E}_\omega[d(\omega)] + (c-b)x + (h+b)\int_0^x \boldsymbol{P}_\omega[d(\omega) \le z]\, dz \\ &= 300 - 3x + \frac{1}{20}x^2 \end{aligned}$$

Optimum: $x_S = 30$

Situation 3:

Man kennt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bedarfs, z.B. gleichverteilt zwischen 0 und 100.

Lösungsbegriff "Minimaler Erwartungswert" der Gesamtkosten (Stochastische Optimierung):

Wähle die Bereitstellung so, daß die zu erwartenden Gesamtkosten im Mittel so klein wie möglich werden.

$$\min_{0 \leq x \leq 100} \quad \boldsymbol{E}_\omega \Big[F\big(x; d(\omega)\big) \Big]$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{E}_\omega[F(x, d(\omega))] &= b\boldsymbol{E}_\omega[d(\omega)] + (c-b)x + (h+b)\int_0^x \boldsymbol{P}_\omega[d(\omega) \leq z]\, dz \\ &= 300 \ - \ 3x \ + \ \frac{1}{20}x^2 \end{aligned}$$

Optimum: $x_S = 30$ Optimale Kosten: 255

Alternativer Lösungsbegriff Optimum bzgl. gemitteltem Bedarf

Ersetze $d(\omega)$ durch seinen Mittelwert und löse das nun deterministische Problem.

$$\min_{0 \le x \le 100} \quad F\Big(x; \boldsymbol{E}_\omega\big[d(\omega)\big]\Big)$$

Alternativer Lösungsbegriff Optimum bzgl. gemitteltem Bedarf

Ersetze $d(\omega)$ durch seinen Mittelwert und löse das nun deterministische Problem.

$$\min_{0 \leq x \leq 100} \quad F\Big(x; \boldsymbol{E}_\omega\big[d(\omega)\big]\Big)$$

Optimale Lösung: $\quad x_M = \boldsymbol{E}_\omega\big[d(\omega)\big] = 50$

Alternativer Lösungsbegriff Optimum bzgl. gemitteltem Bedarf

Ersetze $d(\omega)$ durch seinen Mittelwert und löse das nun deterministische Problem.

$$\min_{0 \leq x \leq 100} \quad F\Big(x; \boldsymbol{E}_\omega\big[d(\omega)\big]\Big)$$

Optimale Lösung: $\quad x_M = \boldsymbol{E}_\omega\big[d(\omega)\big] = 50$

Optimale Kosten: $\quad 150$

Kostenvergleich

	Robust	Stochastisch
$x_R = 60$	420	300
$x_S = 30$	510	255
$x_M = 50$	450	275

Robuste vs. Stochastische Zulässigkeit

Robuste vs. Stochastische Zulässigkeit

Betrachten Niveaumengen der Kostenfunktion F:

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \leq 420 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \{60\}$$

Robuste vs. Stochastische Zulässigkeit

Betrachten Niveaumengen der Kostenfunktion F:

$$\Big\{x \ : \ F(x,d) \leq 420 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \ = \ \{60\}$$

$$\Big\{x \ : \ F(x,d) \leq 400 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \ = \ \emptyset$$

Robuste vs. Stochastische Zulässigkeit

Betrachten Niveaumengen der Kostenfunktion F:

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \le 420 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \{60\}$$

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \le 400 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \emptyset$$

Die Forderung "für alle d" ist sehr (zu?) stark. Eine Alternative ist die probabilistische Betrachtungsweise:

> x ist bereits zulässig, wenn $F(x,d) \le 400$ für einen (hohen) Prozentsatz aller d gilt (z.B. 95%).

Robuste vs. Stochastische Zulässigkeit

Betrachten Niveaumengen der Kostenfunktion F:

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \leq 420 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \{60\}$$

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \leq 400 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \emptyset$$

Die Forderung "für alle d" ist sehr (zu?) stark. Eine Alternative ist die probabilistische Betrachtungsweise:

> x ist bereits zulässig, wenn $F(x,d) \leq 400$ für einen (hohen) Prozentsatz aller d gilt (z.B. 95%).

$$\Big\{x \;:\; \mathbb{P}\big[d : F(x,d) \leq 400\big] \;\geq\; 0.95\Big\}$$

Robuste vs. Stochastische Zulässigkeit

Betrachten Niveaumengen der Kostenfunktion F:

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \le 420 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \{60\}$$

$$\Big\{x \;:\; F(x,d) \le 400 \quad \text{für alle } d \in [0,100]\Big\} \;=\; \emptyset$$

Die Forderung "für alle d" ist sehr (zu?) stark. Eine Alternative ist die probabilistische Betrachtungsweise:

> x ist bereits zulässig, wenn $F(x,d) \le 400$ für einen (hohen) Prozentsatz aller d gilt (z.B. 95%).

$$\Big\{x \;:\; \boldsymbol{P}\big[d : F(x,d) \le 400\big] \;\ge\; 0.95\Big\}$$

$$= \;\Big\{x \;:\; 55.55 \le x \le 57.33\Big\}$$

Schlußfolgerungen:

Schlußfolgerungen:

- Unvollständige Information (z.B. über Kundenbedarf, Nominierungen etc.) ist eine "versteckte" Nebenbedingung, welche das Optimum beeinträchtigt.

Schlußfolgerungen:

- Unvollständige Information (z.B. über Kundenbedarf, Nominierungen etc.) ist eine “versteckte” Nebenbedingung, welche das Optimum beeinträchtigt.
- Absicherung gegen alle Eventualitäten (robuste Lösung, FZK) ist am teuersten.

Schlußfolgerungen:

- Unvollständige Information (z.B. über Kundenbedarf, Nominierungen etc.) ist eine "versteckte" Nebenbedingung, welche das Optimum beeinträchtigt.
- Absicherung gegen alle Eventualitäten (robuste Lösung, FZK) ist am teuersten.
- Auch angesichts der recht guten statistischen Datenlage bieten sich stochastische Entscheidungsregeln an.

Kehren zum ersten Beispiel zurück.

Kehren zum ersten Beispiel zurück.

Die FZK haben dort die Rolle der Bereitstellung x aus dem zweiten Beispiel:

Sie sind zu fixieren, bevor die zu transportierenden Gasmengen bekannt sind.

Probabilistische Betrachtungsweise:

Die Rechte an gebuchten Kapazitäten (Kapazitätsrechte) berechtigen den Transportkunden, im Rahmen dieser Kapazitätsrechte Gas an jedem gebuchten Einspeisepunkt für die Ausspeisung an jedem gebuchten Ausspeisepunkt des betreffenden Marktgebiets bereitzustellen.

Probabilistische Betrachtungsweise:

> Die Rechte an gebuchten Kapazitäten (Kapazitätsrechte) berechtigen den Transportkunden, im Rahmen dieser Kapazitätsrechte Gas an jedem gebuchten Einspeisepunkt für die Ausspeisung an jedem gebuchten Ausspeisepunkt des betreffenden Marktgebiets bereitzustellen.

Optionen:

- Aus statistischen Daten schätzt man (für unterschiedliche Temperaturklassen, Marktgebiete etc.) Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Abnahmeverhaltens an Ausspeisepunkten.

Probabilistische Betrachtungsweise:

Die Rechte an gebuchten Kapazitäten (Kapazitätsrechte) berechtigen den Transportkunden, im Rahmen dieser Kapazitätsrechte Gas an jedem gebuchten Einspeisepunkt für die Ausspeisung an jedem gebuchten Ausspeisepunkt des betreffenden Marktgebiets bereitzustellen.

Optionen:

- Aus statistischen Daten schätzt man (für unterschiedliche Temperaturklassen, Marktgebiete etc.) Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Abnahmeverhaltens an Ausspeisepunkten.
- Kapazitäten gelten bereits dann als frei zuordenbar, wenn nicht alle resultierenden Transporte möglich sind, sondern eine Gesamtheit (Menge) von Transporten deren Wahrscheinlichkeit über einer vorgegebenen Grenze liegt (95%?, 99%?).

- Im Beispiel 1 wäre dann bei robuster Betrachtung die FZK am Knoten 8 auf maximal 81 begrenzt.
- Ist die Wahrscheinlichkeit der Abnahme von mehr als 81 Einheiten am Knoten 8 durch eine (kleine) Toleranzschranke nach oben begrenzt, so könnte man am Knoten 8 eine höhere FZK ausweisen.

- Im Beispiel 1 wäre dann bei robuster Betrachtung die FZK am Knoten 8 auf maximal 81 begrenzt.
- Ist die Wahrscheinlichkeit der Abnahme von mehr als 81 Einheiten am Knoten 8 durch eine (kleine) Toleranzschranke nach oben begrenzt, so könnte man am Knoten 8 eine höhere FZK ausweisen.
- Der ungünstigste Fall (aus Beispiel 1) würde dann “entschärft”, wenn gleichzeitig am Entry 6 ein- und am Exit 3 ausgespeist werden würde.

- Im Beispiel 1 wäre dann bei robuster Betrachtung die FZK am Knoten 8 auf maximal 81 begrenzt.
- Ist die Wahrscheinlichkeit der Abnahme von mehr als 81 Einheiten am Knoten 8 durch eine (kleine) Toleranzschranke nach oben begrenzt, so könnte man am Knoten 8 eine höhere FZK ausweisen.
- Der ungünstigste Fall (aus Beispiel 1) würde dann "entschärft", wenn gleichzeitig am Entry 6 ein- und am Exit 3 ausgespeist werden würde.
- Bei fehlender Konvexität "Hoffnung", daß dies kein "praktisch wichtiger Fall" ist.

- Im Beispiel 1 wäre dann bei robuster Betrachtung die FZK am Knoten 8 auf maximal 81 begrenzt.
- Ist die Wahrscheinlichkeit der Abnahme von mehr als 81 Einheiten am Knoten 8 durch eine (kleine) Toleranzschranke nach oben begrenzt, so könnte man am Knoten 8 eine höhere FZK ausweisen.
- Der ungünstigste Fall (aus Beispiel 1) würde dann "entschärft", wenn gleichzeitig am Entry 6 ein- und am Exit 3 ausgespeist werden würde.
- Bei fehlender Konvexität "Hoffnung", daß dies kein "praktisch wichtiger Fall" ist.
- Stochastik bietet verschiedene Sichtweisen und Konzepte an, z.B. risikoneutral vs. risikoavers.

- Im Beispiel 1 wäre dann bei robuster Betrachtung die FZK am Knoten 8 auf maximal 81 begrenzt.
- Ist die Wahrscheinlichkeit der Abnahme von mehr als 81 Einheiten am Knoten 8 durch eine (kleine) Toleranzschranke nach oben begrenzt, so könnte man am Knoten 8 eine höhere FZK ausweisen.
- Der ungünstigste Fall (aus Beispiel 1) würde dann "entschärft", wenn gleichzeitig am Entry 6 ein- und am Exit 3 ausgespeist werden würde.
- Bei fehlender Konvexität "Hoffnung", daß dies kein "praktisch wichtiger Fall" ist.
- Stochastik bietet verschiedene Sichtweisen und Konzepte an, z.B. risikoneutral vs. risikoavers.

Wieviel und welche Stochastik wäre passend ?