Verdichtermodellierung

Verdichter sind von allen modellierten Elementen die kompliziertesten. Über das sogenannte Kennfeld wird im Fluss-Druckverhältnis-Diagramm derjenige Bereich definiert, der für den jeweiligen Verdichter erlaubt ist solange er aktiv ist, solange er also Gas verdichtet.

Dabei ist zu beachten, das der Begriff Kennfeld hier etwas anders benutzt wird als allgemein üblich. Normalerweise begreift man einen Verdichter als eine Maschineneinheit aus Antrieb und dem eigentlichen Erdgasverdichter. Jeder der beiden Teile hat dabei sein eigenes Kennfeld. In unserem Modell vereinfachen wir die Sache sehr: Die maximale und minimale Leistung des Antriebs werden zusammen mit dem Kennfeld des Verdichters in ein gemeinsames Diagramm aufgenommen.

1 Aufbau des Kennfelds

Unser Kennfeld (siehe Abb. 1) ist ein x-y-Diagramm, das den erlaubten Bereich des Verdichterzustands definiert. Auf der x-Achse steht der Betriebsvolumenfluss φ durch den Verdichter, auf der y-Achse das Druckverhältnis $\pi := \frac{p_{\text{out}}}{p_{\text{in}}}$ aus Ausgangs- und Eingangsdruck.

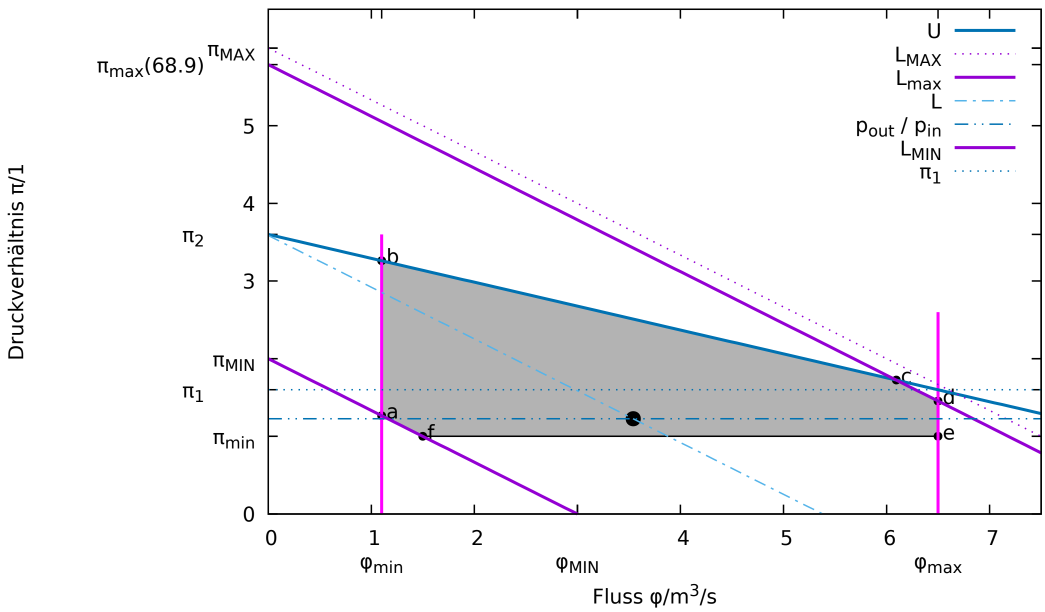

Abbildung 1: Für unsere Zwecke vereinfachtes Verdichterkennfeld, das neben den Kenndaten für den eigentlichen Verdichter auch die Antriebsleistung enthält.

Im weiteren Verlauf dieses Artikels wird die Bezeichnung *Kennfeld* mal für das x-y-Diagramm und mal für den in diesem Diagramm erlaubten Bereich des Verdichterzustands verwendet. Aus dem Kontext sollte aber ersichtlich sein, wie die Bezeichnung jeweils verwendet wird.

Auf der x-Achse sind zwei Konstanten definiert, die das Kennfeld links und rechts begrenzen, φ_{min} ist der minimal zulässige Fluss und φ_{max} der maximal zulässige. Auf der y-Achse definiert π_{min} das minimal zulässige Druckverhältnis, es hat üblicherweise den Wert 1.

2 Antriebsleistungen

Für einen Verdichter sind drei Leistungen definiert, die durch parallele Geraden modelliert werden:

1. Minimalleistung; Gerade durch $(0, \pi_{\text{MIN}})$ und $(\varphi_{\text{MIN}}, 0)$

$$L_{\text{MIN}} : \begin{pmatrix} 0 \\ \pi_{\text{MIN}} \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} \varphi_{\text{MIN}} - 0 \\ 0 - \pi_{\text{MIN}} \end{pmatrix}, \text{ bzw. } L_{\text{MIN}}(\varphi) = -\frac{\pi_{\text{MIN}}}{\varphi_{\text{MIN}}}\varphi + \pi_{\text{MIN}}$$

2. Absolute Maximalleistung; Parallele zu L_{MIN} durch $(0, \pi_{\text{MAX}})$

$$L_{\text{MAX}} : \begin{pmatrix} 0 \\ \pi_{\text{MAX}} \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} \varphi_{\text{MIN}} - 0 \\ 0 - \pi_{\text{MIN}} \end{pmatrix}, \text{ bzw. } L_{\text{MAX}}(\varphi) = -\frac{\pi_{\text{MIN}}}{\varphi_{\text{MIN}}}\varphi + \pi_{\text{MAX}}$$

3. Aktuelle Maximalleistung; Parallele zu L_{MIN} durch $(0, \pi_{\text{max}})$

$$L_{\text{max}}(\pi_{\text{max}}) : \begin{pmatrix} 0 \\ \pi_{\text{max}} \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} \varphi_{\text{MIN}} - 0 \\ 0 - \pi_{\text{MIN}} \end{pmatrix}, \text{ bzw. } L_{\text{max}}(\varphi) = -\frac{\pi_{\text{MIN}}}{\varphi_{\text{MIN}}}\varphi + \pi_{\text{max}}$$

Die aktuelle Maximalleistung hängt von einer Funktion π_{max} vom aktuellen Eingangsdruck p^{in} ab.

$$\pi_{\text{max}} : p_{\text{in}} \longmapsto \pi_{\text{MAX}} \left((\eta - 1) \frac{p_{\text{in}} - p_{\text{in}}^{\text{min}}}{p_{\text{in}}^{\text{max}} - p_{\text{in}}^{\text{min}}} + 1 \right)$$

Der Wirkungsgrad η wird dazu genutzt die Abhängigkeit der aktuellen Maximalleistung vom Eingangsdruck zu modellieren.

3 Kennfeldgrenzen

Die Gerade U durch die Punkte $(0, \pi_2)$ und $(\varphi_{\text{max}}, \pi_1)$ dient dazu, das Kennfeld nach oben zu begrenzen. Dabei beschreibt π_2 gewissermaßen das maximale Druckverhältnis bei Nullfluss und π_1 das minimale Druckverhältnis bei maximalem Fluss.

$$U : \begin{pmatrix} 0 \\ \pi_2 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} \varphi_{\text{max}} - 0 \\ \pi_1 - \pi_2 \end{pmatrix}, \text{ bzw. } U(\varphi) = \frac{(\pi_1 - \pi_2)}{\varphi_{\text{max}}}\varphi + \pi_2$$

Das Kennfeld ist ein Sechseck mit den Eckpunkten a bis f, die folgendermaßen definiert sind:

a Punkt $(\varphi_{\text{min}}, L_{\text{MIN}}(\varphi_{\text{min}}))$

b Punkt $(\varphi_{\text{min}}, U(\varphi_{\text{min}}))$

c Schnittpunkt der beiden Geraden U und L_{max}

d Punkt $(\varphi_{\text{max}}, L_{\text{max}}(\varphi_{\text{max}}))$

e Punkt $(\varphi_{\text{max}}, \pi_{\text{min}})$

f Punkt $(L_{\text{MIN}}^{-1}(\pi_{\text{min}}), \pi_{\text{min}})$

4 Bestimmung des Arbeitspunktes

Der Dispatcher-Agent darf sich wünschen, ob der Verdichter aktiv ist oder nicht. Dem Wunsch auf Inaktivität wird immer entsprochen, dem auf Aktivität nicht.

Der Arbeitspunkt A eines aktiven Verdichters muss immer im Kennfeld K liegen und immer auf π. Falls diese beiden Mengen disjunkt sind, wenn π also nicht in K liegt, so ist der Verdichter zwingend inaktiv.

Der Wunsch auf Aktivität muss immer mit einer Wunschleistung W verbunden sein. W liegt zwischen 0% und 100% und wird vom Simulator auf eine Leistung L umgerechnet, die zwischen L_{MIN} und L_{max} liegt.

Es gibt immer einen Schnittpunkt S von L und π. Liegt S in K, so ist $A = S$. Liegt S nicht in K, so ist S der nächstgelegene Randpunkt von K, der auf π liegt. Per Konstruktion muss es einen solchen Punkt geben:

- Bilde D als Schnittstrecke von π und K.
- Bilde S als Schnittpunkt von π und L.
- Dann ist A der S nächstgelegene Punkt aus D.