

Bewertung der Transportkapazität von Gasrohrleitungen für den Netzzugang

Wolfgang Schacht (VDI)

Gasmanagement, Gasdispatching, Netzüberwachung, Netzzugang, Analytische Netzberechnung, Transportkapazität, Transitleistung, Absatzleistung

Der Netzzugang beim Erdgas ist untrennbar mit dem Nachweis einer ausreichenden *Transportkapazität* der dafür in Betracht kommenden Gasrohrleitungen verbunden. Kenntnisse, Anschaulichkeit und Transparenz auf diesem Spezialgebiet des Rohrleitungstransports sind nicht nur für den Netzbetreiber, sondern auch für die Kunden und Händler von praktischer Bedeutung. Auf der Grundlage allgemeiner Lösungen der Transportgleichungen für ausgewählte Versorgungsfälle wird der Begriff *Transportkapazität* für HD-Gasrohrleitungen analysiert. Dabei zeigt sich, dass die Leistungsfähigkeit einer Gasrohrleitung im Allgemeinen nur durch ihre Transit- und Absatzleistung bestimmt wird. Ein einfaches, aber sehr effektives Verfahren für die Berechnung, graphische Darstellung und Bewertung dieser wichtigen Parameter in Abhängigkeit von einer beliebigen Anzahl, Anordnung und Verteilung der Gasabnehmer (Lieferadressen) und Abnahmeleistung wird vorgestellt.

1. Einleitung

Die praktische Umsetzung der „Verbändevereinbarung zum Netzzugang bei Erdgas (VV Erdgas II)“ vom 03.05.2002 [1] fordert von den künftigen Netzbetreibern die Bereitstellung einer ausreichenden *Transportkapazität* für die Sicherung eines objektiven, diskriminierungsfreien und transparenten Netzzugangs. Einerseits bildet die vereinbarte *Transportkapazität* in Höhe der maximal vom Kunden nutzbaren Stundenleistung im Jahr eine wichtige Grundlage für die Berechnung des Netzzugangsentgeltes, andererseits werden im Falle ihrer Knappheit im Engpassmanagement konkrete Regeln für konkurrierende Netzzugangsanfragen festgelegt. Besteht z.B. keine freie *Transportkapazität* zur vollständigen Deckung einer Netzzugangsanfrage, so sind vom Netzbetreiber unterbrechbare *Transportkapazitäten* anzubieten. Ein Anspruch des Netzkunden auf eine unterbrechbare *Transportkapazität* besteht nicht, solange noch freie Kapazitäten vorhanden sind.

In Vorbereitung auf künftige Netzzugangsanfragen steht vor den Betreibern der regionalen und überregionalen Netze die Aufgabe, die *Transportkapazität* ihrer Gasrohrleitungen

abschnittsweise hinsichtlich Nutzungsgrad, Engpässe oder fehlenden Ressourcen klar zu definieren und im Voraus zu bewerten.

Als *Transportkapazität* einer Gasrohrleitung wird in der Fachliteratur der in ihr transportierte Normvolumenstrom in m³/h bzw. ihre Transportleistung in MW bezeichnet [2, 3, 4].

Im vorliegenden Artikel wird für ausgewählte Versorgungsfälle mit und ohne Gasabnahme (Lieferadressen) die Problematik einer ausreichenden *Transportkapazität* beim Netzzugang untersucht. Als Grundlage für diese Betrachtungen dienen ausgewählte analytische Lösungen der Transportgleichungen hinsichtlich der sich einstellenden Druck- und Massenstromverläufe. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass es eine *Transportkapazität* von Gasrohrleitungen an sich nicht gibt. Die Leistungs- bzw. Transportfähigkeit einer Gasrohrleitung wird allein durch ihre Transit- und Absatzleistung bestimmt. Auf die damit im Zusammenhang stehenden Gesetzmäßigkeiten, insbesondere auf die gegenseitige Abhängigkeit der Transit- und Absatzleistung von der Anzahl, Anordnung und Verteilung der Lieferadressen, aber auch von der Größe der spezifischen Absatzleistung wird eingegangen. Ein einfaches, aber sehr effektives Verfahren für die Berechnung, graphische Darstellung und Bewertung dieser wichtigen Parameter beim Netzzugang mit und ohne Gasabnahme (Lieferadressen) wird vorgestellt.

2. Berechnungsgrundlagen

In [5] wurde das folgende Gleichungssystem für die Berechnung relativ langsamer isothermer instationärer Rohrströmungen abgeleitet und diskutiert :

$$\frac{\partial p}{\partial t} + c^2 \frac{\partial \dot{m}}{\partial x} = 0 ; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\lambda \cdot c^2}{2 \cdot Z \cdot D} \cdot \frac{\dot{m} |\dot{m}|}{p} . \quad (2)$$

Mit Hilfe des Linearisierungsfaktors

$$2a = \frac{\lambda \cdot \bar{\omega}}{2 \cdot D} , \quad (3)$$

folgt aus den Gleichungen (1) und (2) das sogenannte „Langrohrmodell“ (die Trägheitskräfte sind wesentlich kleiner als die Reibungsverluste und können deshalb vernachlässigt werden)

für die Berechnung des instationären Druck- und Massenstromverlaufes in einer Gasrohrleitung ohne Lieferadressen:

$$c^2 \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 2a \cdot \frac{\partial p}{\partial t}, \quad (4)$$

$$c^2 \cdot \frac{\partial^2 \dot{m}}{\partial x^2} = 2a \cdot \frac{\partial \dot{m}}{\partial t}. \quad (5)$$

Aus (4) und (5) lassen sich ohne Schwierigkeiten die erforderlichen Transportgleichungen für folgende grundlegende Versorgungsfälle mit Lieferadressen ableiten:

- 1) Gleichmäßig verteilte konstante Absatzleistung q pro Meter über die gesamte Länge der Gasrohrleitung

$$\frac{2a}{c^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{2a}{A} \cdot q; \quad (6)$$

- 2) Gleichmäßig verteilte konstante Absatzleistung q pro Meter im Bereich von x_1 bis L der Gasrohrleitung

$$\frac{2a}{c^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{2a}{A} \cdot q \cdot H(x - x_1); \quad (7)$$

- 3) Gleichmäßig verteilte konstante Absatzleistung q pro Meter in einem beliebigen Bereich x_1 bis x_2 der Gasrohrleitung

$$\frac{2a}{c^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{2a}{A} \cdot q \cdot [H(x - x_1) - H(x - x_2)]; \quad (8)$$

- 4) Punktuelle Absatz- oder Einspeiseleistung $\pm Q_3$ an einem beliebigen Ort $x = x_3$ der Gasrohrleitung

$$\frac{2a}{c^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{2a}{A} \cdot Q_3 \cdot \delta(x - x_3), \quad (9)$$

wobei $H(x)$ - die Heaviside – Funktion und $\delta(x)$ - die Diracsche Delta-Funktion sind.

Mit Hilfe der Gleichungen (6) bis (9) können eine Vielzahl der in Praxis auftretenden Versorgungsfälle simuliert und analysiert werden. Dazu müssen diese Gleichungen nur in geeigneter Weise miteinander kombiniert werden. Zur Einführung und zum besseren Verständnis der damit im Zusammenhang stehenden Problematik wird zunächst der sehr einfache, in der Praxis jedoch kaum anzutreffende Versorgungsfall „Gleichmäßig verteilte konstante Absatzleistung q pro Meter über die gesamte Länge der Gasrohrleitung“ untersucht.

3. Gleichmäßig verteilte konstante Absatzleistung/Meter über die gesamte Länge einer Gasrohrleitung

Betrachtet wird eine 10 km lange Gasrohrleitung DN 300 ($D = 312,7 \text{ mm}$) mit einer sehr großen Anzahl von angeschlossenen Kunden, die gleichmäßig über die gesamte Länge der Leitung verteilt die gleiche Leistung q pro Meter abnehmen.

Zu berechnen sind der Druck- und Massenflussverlauf in dieser Gasrohrleitung ohne und mit einer konstanten Transitleistung für folgende Versorgungsfälle:

- maximal mögliche Absatzleistung (reine Absatzleistung);
- 25-%ige Reduzierung der maximal möglichen Absatzleistung,
- 50-%ige Reduzierung der maximal möglichen Absatzleistung,
- 75-%ige Reduzierung der maximal möglichen Absatzleistung und
- vollständige Abschaltung aller Kunden (reine Transitleitung).

Das Modell der Gasrohrleitung mit gleichmäßig verteilter konstanter Absatzleistung pro Meter ohne eine konstante Transitleistung ist im Bild 1, das mit einer zusätzlichen konstanten Transitleistung – im Bild 2 dargestellt.

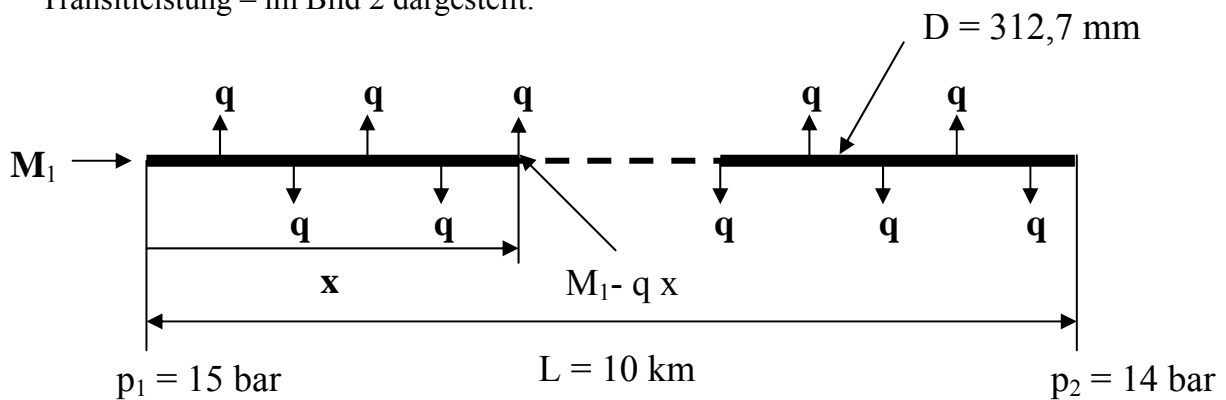


Bild 1: Gleichmäßig verteilte Absatzleistung ohne konstante Transitleistung

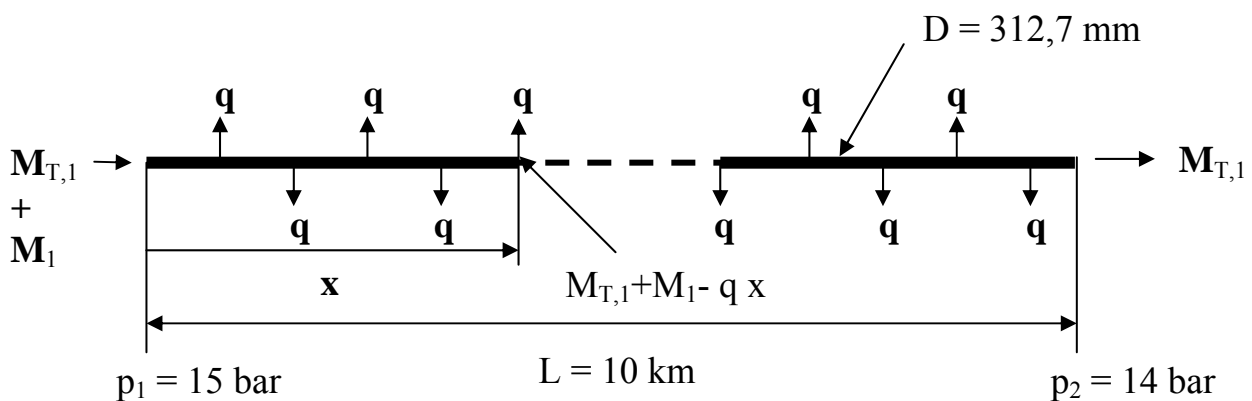


Bild 2: Gleichmäßig verteilte Absatzleistung mit konstanter Transitleistung

Die Drücke am Anfang und Ende der Leitung, $p_1 = 15$ bar und $p_2 = 14$ bar, sind in beiden Fällen aus versorgungstechnischen Gründen konstant .

Die Normdichte des Erdgases beträgt $\rho_G = 0,732$ kg/m³ , die konstante Transitleistung

$$2 \text{ kg/s bzw. } V_T = \frac{M_T}{\rho_G} \cdot 3600 = 9.836 \text{ m}_N^3 / h. \quad (10)$$

Bei einer mittleren Rohrrauigkeit von $k = 0,2$ mm und Annahme hydraulisch rauher Strömungsverhältnissen ergibt sich aus

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg\left(\frac{D}{k}\right) + 1,14 \quad (11)$$

eine Rohrreibungszahl λ von 0,01765. Die Schallgeschwindigkeit beträgt unter den oben genannten Bedingungen ~ 370 m/s ($p_m = 15,51$ bar, $Z = 0,965$, $R = 509$ m²/(s² °K), $T = 278$ °K).

Lösung:

Der Druck- und Massenflussverlauf längs der Gasrohrleitung wird mit Hilfe des Gleichungs-

systems (1), (2) berechnet. Für den Fall einer stationären Strömung ($\frac{\partial p}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial \dot{m}}{\partial t} = 0$,

$\dot{m} = \frac{M}{A}$) folgt daraus

$$\frac{p \cdot dp}{ZRT} + \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{M^2}{D \cdot A^2} \cdot dx = 0 \quad (12)$$

Bei gleichmäßiger Absatzleistung q über die gesamte Länge der Gasrohrleitung ohne konstante Transitleistung ist

$$M = M_1 - q \cdot x, \quad (13)$$

bei gleichmäßiger Absatzleistung q mit einer konstanten Transitleistung -

$$M = M_{T,1} + M_1 - q \cdot x, \quad (14)$$

wo M - der variable Massenfluss des Gases längs der Leitung in kg/s,

M_1 - der Massenfluss am Anfang der Leitung in kg/s,

$M_{T,1}$ - die konstante Transitleistung in kg/s,

q - die konstante spezifische Absatzleistung in kg/(s m) und

x - die Ortskoordinate der Leitung ($x = 0 \dots L$) in m

sind.

.....
.....
.....

4. Zusammenfassung

Die Bewertung der *Transportkapazität* von Gasrohrleitungen und ihrer Ressourcen ist seit der Unterzeichnung der Verbändevereinbarung zum Netzzugang bei Erdgas nicht nur für die Betreiber der regionalen und überregionalen Netze, sondern auch für die Kunden und Händler von praktischer Bedeutung. Auf der Grundlage ausgewählter analytischer Lösungen der Transportgleichungen für die Versorgungsfälle

- gleichmäßige Abnahme in einem beliebigen Bereich der Gasrohrleitung mit und ohne konstante Transitleistung und
- punktuelle Abnahme bzw. Einspeisung an einem beliebigen Ort der Gasrohrleitung mit und ohne Transitleistung

und der dafür entwickelten Toolboxes wird der Begriff *Transportkapazität* analysiert und für den Netzzugang präzisiert. Die durchgeführten Berechnungen und graphischen Darstellungen zeigen, dass es eine *Transportkapazität* von Gasrohrleitungen mit Lieferadressen bei vorgegebenen Randbedingungen an sich nicht gibt. Die Leistungsfähigkeit von Gasrohrleitungen wird im Allgemeinen durch ihre Transit- und Absatzleistung bestimmt. Transit- und Absatzleistung können in Abhängigkeit von der Anzahl, Anordnung und Verteilung der Lieferadressen im starken Maße variiert und gegeneinander ausgetauscht werden. Die reine Transitleitung und die reine Absatzleitung bilden dabei die zwei möglichen Grenzfälle. Gasrohrleitungen mit und ohne Lieferadressen sind im Falle vorgegebener fester Randbedingungen stets 100%ig ausgelastet und besitzen keine Leistungsreserven. Nur durch die Schaffung neuer zusätzlicher Gaseinspeisungen kann die Transit- und Absatzleistung beim Netzzugang erhöht werden.

Mit dem vorgestellten Berechnungsverfahren eröffnen sich neue Möglichkeiten für die vorausschauende Bewertung und operative Steuerung der Massen- und Volumenströme in Gasrohrleitungen beim Netzzugang.

Literatur

- [1] BGW
Verbändevereinbarung zum Netzzugang bei Erdgas (VV Erdgas II)“ vom 03.05.2002
- [2] G. Cerbe u.a.
Grundlagen der Gastechnik
5. vollständig neubearbeitete Auflage
Hanser Verlag 1999
- [3] DUBBEL
Taschenbuch für den Maschinenbau
18. Auflage
Springer – Verlag 1995
- [4] A. Bet©mio de Almeida
Fluid Transients in Pipe Networks
Computational Mechanics Publications
Elsevier Applied Science, 1988
- [5] W. Schacht
„Gasnetzsimulation mit Hilfe des Charakteristiken - Verfahrens“
gwf Gas Erdgas
142 (2001) Nr. 5
- [6] MATHEMATICA
Wolfram Research, Inc.
100 Trade Center Drive
Champaign, IL 61820, USA
- [7] MAPLE
Waterloo Maple Inc.
57 Erb Street West Waterloo
Ontario Canada N2L 6C2
- [8] MACSYMA
Macsyma Inc.
20 Academy Street
Arlington, MA 02174, USA
(seit 2000 nicht mehr aktiv)

[9] MATLAB[®]

The MathWorks, Inc.

Apple Hill Drive 2

Natick, MA 01760-2098, USA