

# Gasnetzsimulation mit Hilfe des Charakteristiken-Verfahrens

Wolfgang Schacht

**Informationssysteme, Gasnetzsimulation, mathematische Modelle, analytische und numerische Lösungsverfahren, Grundlagen des Charakteristiken-Verfahrens, hochdynamische isotherme und nicht-isotherme Strömungen, Gasvorwärmung, Gasbeschaffenheitsverfolgung, retrograde Kondensation, Kosteneinsparungspotential**

Ausgehend von der Entwicklung der Gasnetzsimulation, ihren theoretischen Grundlagen und vorliegenden praktischen Erfahrungen beim Aufbau einer prozessbegleitenden Simulation in einem regionalen Hochdrucknetz werden die Möglichkeiten für den effektiven Einsatz des Charakteristiken-Verfahrens als innovative Ergänzung bereits vorhandener und in der Praxis bewährter Modelle (GANESI, SIMONE) aufgezeigt. Neben dem Einsatz für die Optimierung der Gasvorwärmung in Gasdruckregelstationen eröffnet das Charakteristiken-Verfahren völlig neue Perspektiven für den Aufbau einer eichfähigen Gasbeschaffenheitsverfolgung und für die theoretische Klärung bestimmter Phänomene der retrograden Kondensation von Erdgasen in Hochdruck-Gasnetzen.

Following the development of the gas net simulation, its theoretical basis and actual practical experience in the field of working out of attendant simulation in a regional high pressure net the article describes the application of the Method of Characteristics (MOC) as a innovative addition to the existent models (GANESI, SIMONE). Besides its application for optimising gas preheating process in pressure regulators the Method of Characteristics opens completely new perspectives for the creation of calibrating gas property controlling as well as for the theoretical analysis of the phenomena of gas retrograde condensation in high pressure nets.

## 1. Einleitung

Am Beginn des neuen Jahrtausends steht die Erdgaswirtschaft in Deutschland vor völlig neuen Herausforderungen. Der EG-Binnenmarkt, die neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen, die Öffnung und Liberalisierung der Energiemärkte und die damit im Zusammenhang stehende Verschärfung des Gas-zu-Gas-Wettbewerbes zwingen zu höherer Flexibilität, zur Einführung neuer Marketingkonzepte und zu einer höheren Rentabilität der Versorgungsunternehmen durch Nutzung von neuen oder noch nicht ausgeschöpften Kosteneinsparungspotentialen.

Mit dem Blick auf die neue Marktordnung gewinnt die Gasnetzsimulation, d.h. die Gewinnung prozessnaher Daten über die instationären Strömungsverhältnisse in den regionalen und überregionalen Hochdruck-Netzen, zunehmend an Bedeutung. Aus der zeitlichen Entkopplung von Menge und Preis, der Durchleitung von Erdgas unterschiedlichster Beschaffenheiten sowie der Speicherung und des effektiven Einsatzes von Spotmengen leiten sich völlig neue Aufgaben ab, die mit einem hohen wirtschaftlichen Risiko verbunden sind und operativ nur mit Hilfe einer qualitativ neuen Leittechnik und modernsten Simulationsverfahren gelöst werden können.

In diesem Artikel wird ausgehend von den Erkenntnissen und Erfahrungen auf dem Gebiet der prozessbegleitenden Gasnetzsimulation ein mathematisches Modell für die Berechnung hochdynamischer und insbesondere nicht – isothermer Strömungsprozesse in Gasnetzen vorgestellt. Grundlage dieses Modells bildet das Charakteristiken – Verfahren, das trotz seiner hervorragenden Eigenschaften in Deutschland bisher keine breite Anwendung gefunden hat.

Das Charakteristiken – Verfahren stellt eine innovative Ergänzung solcher bekannter und in der Praxis bewährter Simulationsverfahren wie GANESI und SIMONE dar. Für die Simulation hochdynamischer Strömungsvorgänge, Optimierung der Vorwärmung, Gasbeschaffenheitsverfolgung, Gewinnung neuer Erkenntnisse auf dem Gebiet der retrograden Kondensation, aber auch für die Modellierung von Mehrphasenströmungen wird dieses Verfahren praktische Bedeutung gewinnen.

## 2. Entwicklung der Gasnetzsimulation

Erste Arbeiten auf dem Gebiet der Berechnung instationärer, d.h. zeitabhängiger Strömungsvorgänge in Rohrleitungen wurden bereits am Anfang unseres Jahrhunderts von *Joukowsky* [1] und *Alliévi* [2] durchgeführt. Mit analytischen Methoden gelang es damals, einfache Probleme zu lösen und graphisch darzustellen.

Die Entwicklung erster maschineller Berechnungsverfahren für instationäre Strömungen in Gasrohrleitungen, d.h. die Berechnung der zeitveränderlichen Druck- und Flussverteilung im Netz bei variablen Grenzbedingungen, begann Anfang der 60er Jahre. Die Berechnungen waren damals noch sehr zeitaufwendig und erforderten den Einsatz eines Großrechners. Heute werden derartige Berechnungen vorrangig mit Hilfe numerischer Lösungsverfahren auf kleinen, aber sehr leistungsfähigen Prozessrechnern durchgeführt.

Ein Durchbruch bei der instationären Simulation der Strömungsverhältnisse in Gasnetzen erzielte 1976 Weimann [3] mit dem Programm GANESI. Dieses Programm bzw. dessen firmenspezifische Derivate sind heute in vielen europäischen Ländern im Einsatz [4].

Neben GANESI, das seit 2000 von der PSI AG vertrieben wird, gibt es noch eine Reihe anderer Programme für die instationäre Simulation der Strömungsverhältnisse in Gasnetzen. Dazu gehören u.a.:

- aus der Tschechischen Republik das von der SIMONE Research Group s.r.o. in Prag [5] entwickelte und betreute Programm, welches in Deutschland von der Firma LIWA-COM [6] vertrieben wird
- aus den USA
  - von der Unternehmensgruppe STONER Associates Inc. der STONER - PIPELINE - Simulator (SPS) [7] und
  - von der Gregg Engineering das Programm WinTran™ Online™ [8]
- aus Canada das Programm PIPEFLOW von der Neotechnology Consultants Ltd. [9]
- aus Australien von der Firma William J. Turner Pty Ltd. das Programm FlowTran [10]
- und aus Dänemark die Gasleitungs-Management-Software von der Firma LICENERGY [11].

Interessengruppen, die sich mit dem Austausch von neuen Erkenntnissen und Erfahrungen auf dem Gebiet der Gas-

netzsimulation befassen, gibt es für die Programme GAMOS (enthält den GANESI-Rechenkern), SIMONE und für eine Vielzahl anderer Programme aus den USA, Canada, Australien, Europa und Asien. Am bekanntesten ist die Pipeline Simulation Interest Group mit Sitz in den USA [12].

### 3. Grundlagen der Gasnetzsimulation

#### 3.1 Ableitung der Modellgleichungen

Grundlage für die Beschreibung einer eindimensionalen instationären Strömung eines Gases in einer Rohrleitung sind die aus der Gas- und Hydrodynamik bekannten Erhaltungssätze für die Masse, den Impuls und die Energie [13, 14, 15]:

- Kontinuitätsgleichung

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho d\tau = 0; \quad (1)$$

- Impulsgleichung

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \cdot \omega d\tau = \oint_{\Omega} P_n d\sigma + \int_V \rho \cdot F d\tau; \quad (2)$$

- Energiegleichung

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \left( \epsilon + \frac{\omega^2}{2} \right) d\tau = \oint_{\Omega} P_n \cdot \omega d\sigma + \int_V \rho F \cdot \omega d\tau + \oint_{\Omega} q_n d\sigma; \quad (3)$$

Nach Umwandlung der Oberflächenintegrale in Volumenintegrale (Anwendung des Integralsatzes von Gauß), der Ableitung dieser Volumenintegrale nach der Zeit, dem Grenzübergang  $V \rightarrow 0$  und dem Einsetzen der über den Rohrquerschnitt gemittelten Werte für die Dichte und Geschwindigkeit des Gases gemäß

$$A(x,t) = \langle A(x,y,z,t) \rangle = \frac{4}{\pi D^2} \int A(x,y,z,t) d\sigma; \quad (4)$$

**Fachbücher  
beim  
Fachbuchhändler**

Oldenbourg

#### Rohrnetzberechnung und Simulation

grafische Benutzeroberfläche unter Windows 98/NT



#### Wasser-, Fernwärme-, Gas-, Dampfnetze, Produktleitungen

- Stationäre und instationäre Berechnung, Druckstoß
- Thermohydraulik, Wärmeverluste und -transport; Mischvorgänge, Wasserqualität; Gasnetze ND, MD, HD; Dampfnetze - Kondensatanfall
- Anlagensimulation, Regelungstechnik, Pumpenoptimierung
- Prozeßbegleitende Simulation, Schulungssimulatoren
- Visualisierung und Archivierung

Version 6.3 „all in one“

**3SConsult**

Rote Reihe 38 • 30827 Garbsen

Tel. 05131 / 4980-0 • Fax. 05131 / 4980-15 • www.3sconsult.de