

# Einlaufstrecken optimal festlegen

## ImproveIT-Datenbank ermöglicht Durchflussmessungen mit geringem baulichen Aufwand

Oliver Betz

Nicht an allen Rohrleitungen, an denen der Durchfluss gemessen werden soll, sind die notwendigen Einlauf- und Beruhigungsstrecken vorhanden. Bei praktisch allen Durchflusssystemen muss aber mit z.T. erheblichen Messfehlern gerechnet werden, wenn die Einlaufstrecken zu kurz gewählt werden. Mit den Daten aus über 2000 Einzelversuchen hat systec Controls die ImproveIT-Datenbank aufgebaut, in der der Einfluss von Vorlaufstörungen auf Staudrucksonden beschrieben ist. Hiermit ist es möglich, für verschiedene Messsituationen eine Vorhersage über Art und Größe der Abweichung zu treffen und dem Anwender eine Korrekturgröße zur Verfügung zu stellen.

Staudrucksonden sind robuste und einfach einzusetzende Durchflussmesser nach dem Differenzdruckprinzip. Sie kommen für die Gas-, Flüssigkeits- und Dampfmengenmessung zum Einsatz und weisen einen geringen, bleibenden Druckverlust auf. Günstig konstruierte, kapillarfreie Staudrucksonden wie die deltaflow, sind unempfindlich gegenüber Verschmutzung und Kondensation. Durch die Optimierung des Strömungsprofils ist es gelungen,

eine Messunsicherheit von besser 0,5% zu erreichen.

Staudrucksonden ermitteln die Strömungsgeschwindigkeit integral über den Messquerschnitt. Deshalb sind die Anforderungen an beruhigte Einlaufstrecken gering. Bei korrektem Einbau kann bereits 7D nach einem einfachen Krümmer mit guten Genauigkeiten gerechnet werden. Sind die Vorlaufstörungen komplexer, z.B. mehrfache Rohrbögen, Armaturen, Reduzierungen oder Erweiterungen, so sind die notwendigen Einlaufstrecken z.T. wesentlich länger.

Bei der Nachrüstung in existierenden Anlagen oder bei besonders großen Querschnitten kommen Staudrucksonden häufig zum Einsatz. Gerade hier sind die notwendigen Ein-

laufstrecken aber oft nicht vorhanden. Die Nachfrage des Anwenders beim Hersteller nach dem zu erwartenden Fehler wurde in der Vergangenheit nur qualitativ, nicht aber quantitativ beantwortet. Die Zahl der Einflussgrößen ist nämlich groß:

- Art der Vorlaufstörung
- tatsächlich vorhandene Einlaufstrecke bis zur Staudrucksonde
- relative Position (Einbauwinkel) der Staudrucksonde zur Störung
- Rohrdurchmesser, Mediumviskosität und Strömungsgeschwindigkeit (Reynolds)

### ImproveIT-Datenbank

Betrachtet man die Vielzahl der möglichen Einbausituationen für Staudrucksonden, so wird klar, dass eine quantitative Aussage nur dann möglich ist, wenn umfangreiche Reihenuntersuchungen durchgeführt werden. Solche Reihenuntersuchungen für unterschiedliche Einbausituationen wurden für den Aufbau der ImproveIT-Datenbank durchgeführt. Bislang mehr als 2000 Einzelkalibrierungen bilden die Datenbasis dieses Korrekturwerkzeuges. Weitere Versuche sind in der Durchführung.

### Teststand

Am Teststand von systec Controls in Puchheim wurden bislang folgende Vorlaufstörungen untersucht:

- einfacher Rohrbogen, doppelter Rohrboden in einer und in zwei Achsen, Reduzierung auf 50%, Erweiterung auf 200%, Schieber mit 25%, 50% und 75% Stellung
- Einlaufstrecke 1D, 2D, 3D, 5D, 7D, 10D, 15D, 20D
- relative Position der Sonde zur Vorlaufstörung 0°, 30°, ... 330°
- Strömungsgeschwindigkeit 2, 5, 10 und 20 m/s
- Durchmesser DN100 und DN200

Als Referenz dient eine deltaflow DF25EM-Messstrecke (Bild 1), die von der PTB in Braunschweig kalibriert wurde. Die Genauigkeit der Referenzmessung ist inklusive Auswertung 0,25% v.E.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse entsprechen qualitativ den langjährigen Erfahrungswerten. Erstaunlich war die quantitative Betrachtung. So war der Einfluss von massiven Vorlaufstörungen wie doppelten Raumkrümmern geringer als erwartet. Bereits nach 5D ist



Bild 1: deltaflow-Staudrucksonde



Bild 2: Typische Einbausituation – Staudrucksonde nach Raumkrümmung mit kurzer Einlaufstrecke

bei den allermeisten Vorlaufstörungen die Unsicherheit bereits <2%. Dies ist für viele Anwendungen ausreichend (Bild 2).

### Einfluss der zur Verfügung stehenden Einlaufstrecke

In manchen Herstellerrichtlinien werden, abhängig von der Vorlaufstörung, Einlaufstrecken von bis zu 28D vorgeschrieben. Andere Hersteller sind mutiger und empfehlen bei denselben Einlaufbedingungen ihren Anwendern bereits nach 10D den Einbau ihrer Sonden, ohne die Angabe einer Zusatzabweichung. Beides konnte bei den Versuchen nicht reproduziert werden. Bild 3 zeigt die Abweichung einer Staudrucksonde beim Einbau hinter zwei Rohrbögen. Die Sonde war in der Vorzugseinbaulage (siehe weiter unten) eingebaut. Bei diesem Versuch ist zu erkennen, dass die Abweichung nach 10D ca. +1,6% beträgt. Die selbe Genauigkeit erreicht die Sonde aber ebenfalls bereits nach weniger als 2D. Die Spezifikationsgenauigkeit von +/- 1% wurde ab ca. 13D erreicht.

Bei den meisten Versuchen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Sonden im Abstand von 5D bis 7D zu den Vorlaufstörungen einzubauen. Unabhängig von der Art der Vorstörung und der relativen Sondenposition sind die Abweichungen hier klein und stabil. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass die Strömungsasymmetrien in diesem Bereich zur anderen Rohrseite kippen und in diesem Abstandsfenster die Rohrmitte passieren. Die integrative Funktion der Staudrucksonde funktioniert hier offensichtlich optimal.

### Einfluss der relativen Position der Sonde zur Vorlaufstörung

In den Einbauanleitungen wird empfohlen, Staudrucksonden nach Rohrbögen von der in Strömungsrichtung außenliegenden Rohrseite her zu installieren. Diese Vorzugseinbaulage erwies sich in den Ver-

suchen ab ca. 5D Einlauf tatsächlich als vorteilhaft. Bei kürzeren Einlaufstrecken werden auch in dieser Lage die Fehler z.T. beachtlich. Da der Einbau in dieser Lage häufig nicht möglich ist, ist der Einfluss der Einbaulage auf das Messergebnis in jeder Position von Interesse. Hierzu wurden die Sonden aus der Vorzugslage verdreht eingebaut und die Abweichungen dokumentiert.

Bild 4 zeigt die Abweichung einer Sonde, eingebaut 3D nach einem einfachen Rohrbogen. Die 0°-Position entspricht der Vorzugseinbaulage. Erwartungsgemäß zeigen Sonden die zwischen 270° und 90° eingebaut werden eine positive Abweichung, Sonden zwischen 120° und 240° eine negative Abweichung. Zwischen 90° und 120° bzw. zwischen 240° und 270° ändert sich das Vorzeichen, die Gradienten werden hier steil. Um sicher zu stellen, dass eine Korrektur der Durchflusswerte sichere Ergebnisse liefert, sollte diese Einbauposition vermieden werden.

### Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit

Alle Versuche zeigten eine geringe Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit. Zwischen 1D und 2D waren die Streuung der Ergebnisse um den Mittelwert bei durchschnittlich 0,6%, ab 3D 0,3%. Für nichtviskose Medien kann daher von einer geringen Abhängigkeit der Ergebnisse von der Strömungsgeschwindigkeit ausgegangen werden. Für diesen Anwendungsbereich ist eine Durchflusskorrektur mit einer einfachen Konstante daher möglich und liefert gute Genauigkeiten. Für höher viskose Medien liegen keine Ergebnisse vor. Der Einsatz von Staudrucksonden für z.B. zähe Kohlenwasserstoffe (Öle etc.) sollte daher mit dem Hersteller diskutiert werden.

### Einfluss des Rohrleitungsdurchmessers

Am Prüfstand wurden Versuche mit Rohren DN200 und DN100 durchgeführt. Die Breite der geprüften deltaflow-Staudrucksonde ist in beiden Fällen 21 mm. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass die Abweichungen bei den kleineren Durchmessern im Mittel um ca. ein Drittel geringer ist. Dies entspricht den Erwartungen. Bei DN100 beträgt der Überdeckungsgrad der Sonde ca. 29% des Rohrquerschnittes. Durch die Sonde wird also eine Reduzierung der Querschnittsfläche und somit eine Konditionierung der Strömungsverhältnisse erzielt. Der Einfluss von Vorlaufstörungen wird hierdurch verringert. Bei

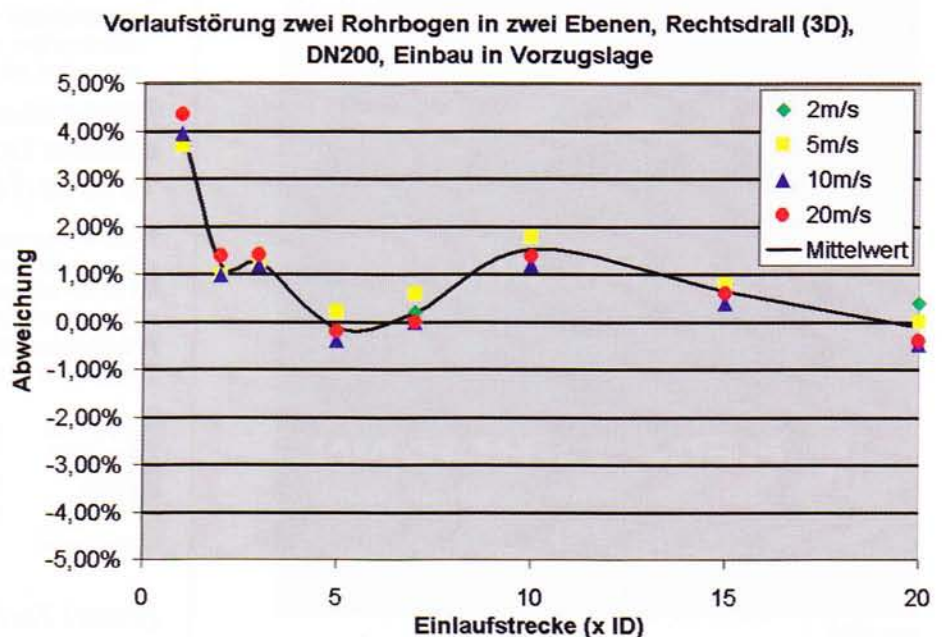


Bild 3: Grafische Auswertung Versuchsreihe „variable Einlaufstrecke“

**Abweichung DN200, 3D Einlauf, abhängig von der Einbaulage**

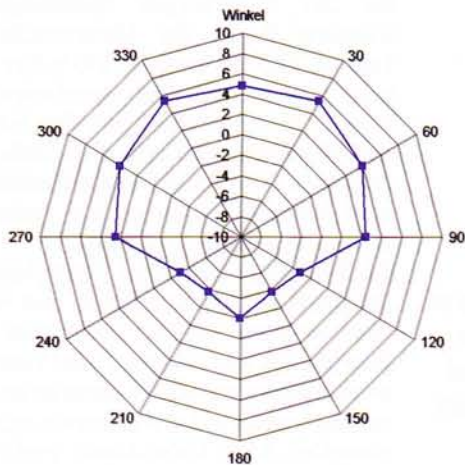


Bild 4: Grafische Auswertung einer Versuchsreihe „variabler Einbauwinkel“

deutlich verkürzten Einlaufstrecken eine einfache Korrektur der Durchflussmessung durchzuführen. Im Durchmesserbereich DN100 bis DN200 und bei einer Einlaufstrecke von  $\geq 3D$  kann dies heute mit einer Zusatzunsicherheit von 0,5% geschehen. Bei Einlaufstrecken  $< 3D$  beträgt die Zusatzunsicherheit 1%.

Für Durchmesser  $< DN100$  und  $> DN200$  sollen bald Verifikationsversuche durchgeführt werden, die die Übertragbarkeit auf die entsprechenden Durchmesser sicher stellen sollen.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Staudrucksonden als die deltaflow wurde ebenfalls bislang nicht untersucht. Bei Staudrucksonden mit ähnlicher Außen-geometrie wird vor allem bei den größeren Durchmessern eine weitgehende Übertragbarkeit vermutet. Bei kleineren Durchmessern wird das Sondenprofil wahrscheinlich die Konditionierung der Strömung beeinflussen.

Für den Anwender eröffnet die ImproveIT-Datenbank die Möglichkeit, Durchflussmessungen mit geringem baulichen Aufwand und guter Genauigkeit zu realisieren.

**cav 457**  
www.systec-controls.de

der DN200er-Sonde beträgt der Überdeckungsgrad nur noch ca. 14%, die Strömung wird weniger konditioniert, die Abweichungen werden stärker.

Versuche für größere Durchmesser sind bislang nicht durchgeführt worden. Es wird allerdings vermutet, dass die Abweichungen gegenüber DN200 nur noch geringfügig größer werden, da auch die Überdeckung des Querschnittes durch die

laufstörungen deutlich geringer sein werden. Versuche für kleinere und größere Durchmesser sind geplant und sollen später in die Datenbasis einfließen

**Ausblick**

Mit den gesammelten Daten ist es möglich, für individuelle Einbausituationen bei

**LÖSUNGEN FÜR PROFIS**  
MIT LAFONTAINE GERÄTEN

**DROSSELKLAPPEN**  
ABSPERREN  
Schieberverschlüsse

**GENAUES DOSIEREN**  
Schüttgutschleusen  
Takttschleusen  
Förderschnecken

**ABFÜLLEN/ VERTEILEN**  
Wegeverteiler

**LAFONTAINE**

Industriestraße 3a  
86438 Kissing  
Tel. 08233/79 08 - 0 · Fax 08233/50 46  
E-mail: info@lafontaine-kissing.de  
http://www.lafontaine-kissing.de

cav 028

**AIRFLOW**  
**Neue Manometer und Barometer**  
viel mehr Leistung zum gleichen Preis

DB2 und DM2 für Messung der Druckdifferenz und des Absolutdrucks jetzt mit:

- Datenloggerfunktion mit Intervalleinstellung
- Bearbeitungssoftware unter Windows inklusive
- Analogausgang und serieller Schnittstelle
- Datengruppierung bis 99 Sätze

**AIRFLOW**  
Airflow Lufttechnik GmbH  
D-53349 Rheinbach Telefon 0 22 26 / 92 05-0  
Postfach 1208 Telefax 0 22 26 / 92 05-11  
e-mail: airflow@t-online.de, internet: http://www.airflow.de

Luftechnische Messgeräte · Radial-Ventilatoren · Lüftungssysteme m. Wärmerückgewinnung

**cav 027**

**FAFNIR**

Potentiometrische  
**Füllstandmessung**

www.fafnir.de  
Tel. 040/39 82 07-0

cav 029