

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-------------|
| 1. | Einleitung | Seite 11 |
| 2. | Akustische Effekte | 15 |
| 2.1. | Drifteffekt | 15 |
| 2.1.1. | Ablenkeffekt | 17 |
| 2.1.2. | Mitführeffekt | 20 |
| 2.2. | Dopplereffekt | 21 |
| 2.3. | Dämpfungs- bzw. Beugungseffekt | 25 |
| 3. | Allgemeines zu akustischen Strömungsmeßverfahren | 27 |
| 3.1. | Übersicht | 27 |
| 3.2. | Allgemeine Feststellungen zu Verfahren nach dem Mitführeffekt | 27 |
| 4. | Akustische Strömungsmeßverfahren | 33 |
| 4.1. | Impulsverfahren | 33 |
| 4.1.1. | Laufzeitdifferenzverfahren | 33 |
| 4.2. | Sing-around-V erfahren (Impulsumlauf- oder Impulsfolgeverfahren) | 34 |
| 4.2.1. | Sing-around-Prinzip | 34 |
| 4.2.2. | Grundsätzliche Meßregime | 36 |
| 4.2.3. | Frequenzdarstellung | 36 |
| 4.2.4. | Anwendung der Zähltechnik | 37 |
| 4.2.5. | Verfahren mit höherer Auflösung | 39 |
| 4.2.5.1. | Höhere Auflösung durch Frequenzvervielfachung; Frequenzdifferenzverfahren | 40 |
| 4.2.5.2. | Höhere Auflösung durch Untersetzung der Sing-around-Frequenz mit einer Hilfsfrequenz f_H ; „Phasendifferenzverfahren“ bei Impulsbetrieb; Periodendauerdifferenzverfahren | 40 |
| 4.2.5.3. | Höhere Auflösung durch virtuelle Zähltakterhöhung | 44 |
| 4.2.6. | Systematik der technisch unterschiedlichen Sing-around-V erfahren | 45 |
| 4.2.7. | Erforderlicher minimaler Driftweg | 46 |
| 4.2.8. | Zeit serielle Messung – zeit parallele Messung; Einstreckenverfahren – Doppelstreckenverfahren | 48 |
| 4.2.9. | Hinweise für technische Realisierungen von Strömungsmeßeinrichtungen | 49 |
| 4.2.10. | Schallgeschwindigkeitskompensation | 50 |
| 4.2.10.1. | Aktueller Schallgeschwindigkeitswert | 51 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 4.2.10.2. | Fehlerminimierung durch gezielten Meßablauf; Pascal- und Spiegelverfahren | 51 |
| 4.2.11. | Totzeit | 55 |
| 4.2.11.1. | Ursachen | 55 |
| 4.2.11.2. | Berücksichtigung der Totzeit in den grundsätzlichen Darstellungen | 56 |
| 4.2.11.3. | Ermittlung der Totzeit | 58 |
| 4.2.11.4. | Abschätzen der Totzeit und der Fehlerreinfluß auf das Meßergebnis | 60 |
| 4.2.12. | Schwingeranregung und Triggerung | 61 |
| 4.3. | Impulsreflexions- oder Impulsprellverfahren (Pingpongverfahren) | 64 |
| 4.4. | Strömungsmessung im kontinuierlichen Betrieb; cw-Verfahren | 66 |
| 4.4.1. | Phasendifferenzverfahren | 67 |
| 4.4.2. | Frequenzdifferenzverfahren bei konstanter Wellenlänge; LLL-Verfahren (<i>lambda locked loop</i>) | 69 |
| 4.4.3. | Dopplerverfahren | 71 |
| 4.5. | Vergleich von Strömungsmeßverfahren | 75 |
| 5. | Akustische Meßstrecken | 80 |
| 5.1. | Reflexstrecken | 80 |
| 5.1.1. | Ausführungsformen | 80 |
| 5.1.2. | Justage | 84 |
| 5.1.3. | Meßfehlereinflüsse | 87 |
| 5.1.4. | Druckstabilität der Schwingerplättchen | 89 |
| 5.1.5. | Ergebnisse praktischer Erprobung | 89 |
| 6. | Akustische Strömungsmesser | 96 |
| 6.1. | Praktische Ausführungen | 96 |
| 6.2. | Messung bei extrem kleinen Strömungsgeschwindigkeiten | 102 |
| 6.3. | Akustische Fahrtmesser | 102 |
| 6.3.1. | Fahrtmesser mit fester Meßstrecke | 102 |
| 6.3.2. | Doppler-Fahrtmesser | 103 |
| 7. | Akustische Durchflußmessung | 104 |
| 7.1. | Allgemeines | 104 |
| 7.1.1. | Zur Definition des Durchflusses | 104 |
| 7.1.2. | Allgemeines zur akustischen Durchflußmessung (Acoustic Flow Measurement) | 105 |
| 7.2. | Definition des Kalibrierungsfaktors | 106 |
| 7.3. | Analytische Darstellung der Strömungsprofile | 108 |
| 7.4. | Kritik der Strömungsprofildarstellungen | 110 |
| 7.5. | Beziehungen zwischen den charakteristischen Faktoren bzw. Exponenten der unterschiedlichen Profildarstellungen | 111 |
| 7.6. | Beziehungen zur Reynoldszahl | 113 |
| 7.6.1. | Lineare Regression für k | 115 |
| 7.6.2. | Lineare Regression für k^{-1} | 117 |
| 7.6.3. | Die Darstellung $m, n, p, q = f(\lg Re)$ | 117 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 8. | Volumenstrommessung an geraden zylindrischen gefüllten Rohren nach Laufzeitverfahren | 121 |
| 8.1. | Parabolisches Strömungsprofil im geraden zylindrischen gefüllten Rohr | 121 |
| 8.2. | Mittlere Strömungsgeschwindigkeit | 124 |
| 8.2.1. | Mittlere Flächengeschwindigkeit | 124 |
| 8.2.2. | Strömungsprofildarstellung bei jeweils gleicher Durchflußmenge | 124 |
| 8.2.3. | Schallstreckenanordnungen | 125 |
| 8.2.4. | Akustische Messung parallel zur Rohrachse | 129 |
| 8.2.5. | Akustische Messung schräg zur Rohrachse | 132 |
| 8.2.5.1. | Zentrische Anordnung | 132 |
| 8.2.5.2. | Exzentrische Anordnung | 134 |
| 9. | Akustische Doppler-Durchflußmessung | 142 |
| 10. | Clamp-on-Meßsysteme | 145 |
| 10.1. | Gegenüberstellung der Einbaustrecke (Fluid-Kontakt-Strecke) und der Anklemmstrecke (Clamp-on-Strecke) bei Laufzeitverfahren | 146 |
| 10.1.1. | Einige akustische Probleme bei der Clamp-on-Technik | 149 |
| 10.1.2. | Technische Ausführungen | 156 |
| 10.1.3. | Praktische Handhabung und Meßergebnisse | 159 |
| 10.2. | Clamp-on-Durchflußmesser nach dem Dopplereffekt | 160 |
| 11. | Durchflußmessung nach anderen akustischen Verfahren | 164 |
| 11.1. | Ablenkverfahren | 164 |
| 11.2. | Korrelationsverfahren | 166 |
| 11.3. | Wirbelfrequenzabtastung mit Ultraschall | 167 |
| 12. | Durchflußmessung an Gerinnen | 168 |
| 12.1. | Aufwandsreduzierte Meßmethode | 170 |
| 12.2. | Durchflußmessungen an Kanälen mit rechteckigem Querschnitt | 174 |
| 13. | Wertung der Ultraschall-Strömungs- und Durchflußmeßtechnik; Entwicklungstendenzen | 177 |
| 13.1. | Wertung der Strömungsmeßtechnik | 177 |
| 13.2. | Wertung der Durchflußmeßtechnik | 177 |
| 14. | Kurzer geschichtlicher Abriß der Entwicklung der Ultraschall-Meßverfahren für Strömung und Durchfluß | 182 |
| | Literaturverzeichnis | 184 |
| | Sachwortverzeichnis | 191 |