

VEREIN DEUTSCHER  
INGENIEURE  
VERBAND DEUTSCHER  
ELEKTROTECHNIKER

Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung  
mit Blenden, Düsen und Venturirohren  
**Berechnungsbeispiele**  
Calculation Principles  
for Measurement of Fluid Flow  
using Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes  
Examples of Calculations

VDI/VDE 2040

Blatt 3/Part 3

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this Guideline shall be taken as  
authoritative.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung . . . . .	2	Preliminary Note . . . . .	2
<b>1 Zweck und Geltungsbereich . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Formelzeichen und Einheiten . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>2 Symbols and Units . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>3 Berechnung eines Drosselgerätes bei gegebenem Durchfluß . . . . .</b>	<b>5</b>	<b>3 Calculation of a Primary Device for a given Flow Rate . . . . .</b>	<b>5</b>
3.1 Einführung in den Rechnungsablauf . . . . .	5 5	3.1 Introduction into the Calculation Sequence . . . . .	5 5
3.2 Ablaufplan für die Berechnung . . . . .	6	3.2 Calculation Sequence Chart . . . . .	7
3.3 Berechnungsbeispiele . . . . .	10	3.3 Calculation Examples . . . . .	10
<b>4 Berechnung des Durchflusses bei gegebenem Drosselgerät . . . . .</b>	<b>17</b>	<b>4 Calculation of the Flow Rate for a given Primary Device . . . . .</b>	<b>17</b>
4.1 Einführung in den Rechnungsablauf . . . . .	17 17	4.1 Introduction into the Calculation Sequence . . . . .	17 17
4.2 Ablaufplan für die Berechnung . . . . .	18	4.2 Calculation Sequence Chart . . . . .	19
4.3 Berechnungsbeispiele . . . . .	22	4.3 Calculation Examples . . . . .	22
4.4 Beispiel für die Anwendung von Berichts- gungsfaktoren und Zusatzunsicherheiten . . . . .	30	4.4 Example for the Application of Correction Factors and Additional Uncertainties . . . . .	30
<b>5 Berechnung der Gesamtmeßunsicherheit von Durchflußmeßeinrichtungen . . . . .</b>	<b>31</b>	<b>5 Calculation of the Total Measurement Uncertainty of Flow Measurement Systems . . . . .</b>	<b>31</b>
5.1 Erläuterung . . . . .	31	5.1 Explanation . . . . .	31
5.2 Berechnung der Gesamtmeßunsicherheit einer <i>einzelnen</i> Durchflußmeßeinrichtung	32	5.2 Calculation of the Total Measurement Uncertainty of a <i>single</i> Flow Measurement System . . . . .	32
5.3 Berechnung der Gesamtmeßunsicherheit einer Messung mit <i>mehreren</i> Durchflußmeßeinrichtungen in Reihen- und Parallelschaltung . . . . .	39	5.3 Calculation of the Total Measurement Uncertainty of a Measurement with <i>several</i> Flow Measurement Systems in Serial or Parallel Installation . . . . .	39

Die Richtlinie VDI/VDE 2040 *Berechnungsgrundlagen für die Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren* ergänzt die Norm DIN 1952 Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren in voll durchströmten Rohren mit Kreisquerschnitt (VDI-Durchflußmeßregeln)

Sie besteht aus 5 Blättern:

- VDI/VDE 2040 Bl. 1 Abweichungen und Ergänzungen zu DIN 1952
- VDI/VDE 2040 Bl. 2 Gleichungen und Gebrauchformeln
- VDI/VDE 2040 Bl. 3 Berechnungsbeispiele
- VDI/VDE 2040 Bl. 4 Stoffwerte
- VDI/VDE 2040 Bl. 5 Meßunsicherheiten

Weitere Ergänzungen sind die Richtlinien

- VDI/VDE 2041 Blenden und Düsen für besondere Anwendungen
- VDI/VDE 3512 Bl. 1 Meßanordnungen – Durchflußmessungen mit Drosselgeräten

### Vorbemerkung

Durch die Ausgabe von DIN 1952; Juli 1982, „Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturirohren in voll durchströmten Rohren mit Kreisquerschnitt“ wurde eine Überarbeitung der Blätter 1, 2 und 5 der Richtlinie VDI/VDE 2040 notwendig und auf dieser Basis das hier vorliegende Blatt 3 erstellt.

Die Richtlinie wurde im Ausschuß „Durchflußmessung mit Drosselgeräten“ der VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik erarbeitet.

Guideline VDI/VDE 2040 *Calculation Principles for the Measurement of Fluid Flow using Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes* supplements Standard DIN 1952 Measurement of Fluid Flow by means of Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes Inserted in Circular Cross Section Conduits Running Full (VDI Rules for the Measurement of Fluid Flow) respectively the corresponding International Standard ISO 5167.

This Guideline consists of five Parts:

- VDI/VDE 2040 Part 1 Deviations and Supplements to DIN 1952
- VDI/VDE 2040 Part 2 Equations and Formulae
- VDI/VDE 2040 Part 3 Examples of Calculations
- VDI/VDE 2040 Part 4 Fluid Properties
- VDI/VDE 2040 Part 5 Uncertainties

Further Supplements are the Guidelines

- VDI/VDE 2041 Orifice Plates and Nozzles for Special Applications
- VDI/VDE 3512 Part 1 Measuring Arrangements – Flow Measurement with Primary Devices

### Preliminary Note

The revision of Parts 1, 2 and 5 of this Guideline became necessary by the new edition of DIN 1952 of July 1982. This was the base for the draft of Part 3.

This Guideline was prepared by the committee “Flow Measurement with Differential Pressure Devices” of the VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik (GMA).

## 1 Zweck und Geltungsbereich

Die Richtlinie VDI/VDE 2040 Blatt 3 enthält Beispiele für die Berechnung von Durchflußmeßeinrichtungen gemäß DIN 1952 und VDI/VDE 2040 Bl. 2. Der Rechnungsablauf ist in Ablaufdiagrammen dargestellt. Diese sollen den Rechnungsablauf verdeutlichen und die Erstellung von Rechenprogrammen erleichtern. Es werden sowohl Beispiele für die Auslegung bzw. Berechnung eines Drosselgerätes für einen gegebenen Durchfluß als auch die Berechnung des Durchflusses bei gegebenem Drosselgerät behandelt. Ebenso wird an Beispielen die Berechnung der Gesamtmeßunsicherheit einer einzelnen Durchflußmeßeinrichtung aus den Einzelmeßunsicherheiten der Meßkette dargestellt und die Berechnung der Gesamtmeßunsicherheit bei Kombinationen von Drosselgeräten in Reihen- und Parallelschaltung erläutert.

## 2 Formelzeichen und Einheiten

In dieser Richtlinie werden die Formelzeichen aus DIN 1952 und aus den Richtlinien VDI/VDE 2040 Blatt 1, Blatt 2 und Blatt 5 sowie VDI/VDE 2041 verwendet.

## 1 Scope

The Guideline 2040 Part 3 contains examples for the calculation of flow measurement systems according to DIN 1952 and VDI/VDE 2040 Part 2. The calculation procedure is presented in a sequence chart. It shall clarify the calculation sequence and shall help in the establishment of computer programs. The examples deal with the calculation of a primary device for a given flow rate as well as the calculation of the flow rate for a given primary device. Also presented are examples for the calculation of the total uncertainty of a single flow measurement system from the individual measurement uncertainties of the measurement chain and the calculation of the total uncertainty for combinations of primary devices in serial or parallel installation.

## 2 Symbols and Units

This Guideline uses symbols and units which are used in DIN 1952 and VDI/VDE 2040 Parts 1, 2 and 5 as well as VDI/VDE 2041.

Tabelle 1. Formelzeichen und Einheiten

Table 1. Symbols and Units

Bedeutung	Zeichen Symbol	Einheit Unit	Designation
Rechenwert	$B$	– *)	calculation value
Berichtigungsfaktor	$b$	–	correction factor
Durchflußkoeffizient	$C$	–	coefficient of discharge
innerer Rohrdurchmesser	$D$	mm	internal pipe diameter
Durchmesser der Drosselöffnung	$d$	mm	orifice or throat diameter
Vorgeschwindigkeitsfaktor, $E = (1 - \beta^4)^{-1/2}$	$E$	–	velocity of approach factor
relative Meßunsicherheit (Betrag der halben relativen Intervallspanne)	$e^{**})$	–	relative uncertainty (value of one half of the relative interval range)
absolute Feuchte	$f$	kg/m <sup>3</sup>	absolute moisture
Anhaltswert für die Rauheit von Rohrrinnenwänden	$k$	mm	equivalent roughness of pipe
Temperaturberichtigungsfaktor	$k_t$	–	temperature correction factor
Massenanteile der Gaskomponenten in einem Gasgemisch	$m_i$	–	mass shares of gas components in a gas mixture
absoluter Druck	$p^{***})$	bar	absolute pressure
Wirkdruck	$\Delta p$	mbar	differential pressure
Atmosphärendruck	$p_{amb}$	bar	atmospheric pressure
kritischer Druck	$p_{crit}$	bar	critical pressure
Überdruck, $p_e = p - p_{amb}$	$p_e$	bar	gauge pressure, $p_e = p - p_{amb}$
Sättigungsdruck	$p_s$	bar	saturation pressure
statischer Druck	$p_{st}$	bar	static pressure
Partialdruck des Wasserdampfes	$p_w$	bar	partial pressure of steam
Massendurchfluß	$q_m$	kg/h	mass flow rate
Volumendurchfluß bezogen auf den Normzustand	$q_n$	m <sup>3</sup> /h	volume flow rate at reference condition
Volumendurchfluß	$q_v$	m <sup>3</sup> /h	volume flow rate
Bürdenwiderstand	$R_a$	$\Omega$	load resistance
Reynoldszahl	$Re$	–	Reynolds number
spez. Gaskonstante	$R_i$	J/kgK	gas constant
Volumenanteile der Gaskomponenten in einem Gasgemisch	$r_i$	–	volume shares of gas components in a gas mixture
Rechenwert	$r_0$	–	calculation value
thermodynamische Temperatur, $T = t + 273,15$ K	$T$	K	thermodynamic temperature, $T = t + 273.15$ K
kritische Temperatur	$T_{crit}$	K	critical temperature
Celsius-Temperatur	$t$	°C	Celsius temperature