

U.S. STRATEGIC BOMBING SURVEY

MICROFILM UNIT

TEAM NO: _____

NAME OF FIRM OR MINISTRY: _____

ROLL NO: III

FIELD TEAM COMMANDER: _____

DATE: 7 APRIL, 1945

MICROFILM OPERATOR: GOULD & REYNOLDS

TITLE OF COPY: Excerpts from C105 DOC-105
(WITH ENGLISH TRANSLATION) VDI Rules for flow
measurement 1913 edition

NO. OF PAGES: 3

ADDITIONAL REMARKS: _____

Verein deutscher Ingenieure im NSBDT.

DIN 1952

Ausgabe 1943

VDI-Durchfluß-Meßregeln

VDI-Regeln für die Durchflußmessung mit
genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen

(5. Auflage)



Aufgestellt vom VDI-Strömungsmesser-Ausschuß

Mit 24 Bildern im Text und 13 Arbeitsblättern

105

1943

VDI-VERLAG GMBH / BERLIN NW 7

Mitvertrieb: Beuth-Vertrieb G.m.b.H., Berlin SW 68

Die VDI-Durchfluß-Meßregeln sind bereits seit Jahren zur unerläßlichen Grundlage für die Durchflußmessung von Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen geworden. Da die vierte Auflage seit einiger Zeit vergriffen ist, konnte das längere Ausbleiben einer Neuaufgabe nicht verantwortet werden. Der Verein deutscher Ingenieure im NSBDT. ist daher den Mitgliedern des VDI-Strömungsmesser-Ausschusses, insbesondere dem Obmann Dr. R. Witte VDI und seinem Mitarbeiter Dr. H. Wilde VDI, zu großem Danke verpflichtet, daß sie sich im Kriege der mühevollen Neubearbeitung dieser Regeln angenommen haben und sie auf die Normventuridüse ausdehnen konnten.

Dr.-Ing. G. Ruppel VDI, Geschäftsführer des Ausschusses, hat, im Fronteinsatz stehend, Druckfahnen und Umbruch eingehend durchgesehen und aus seiner Erfahrung wertvolle Anregungen gegeben.

Mit seinem Dank an die Bearbeiter verbindet der VDI den Wunsch, daß auch die vorliegende fünfte Auflage der VDI-Durchfluß-Meßregeln der Fachwelt ein wertvolles Werkzeug werden möge.

Berlin, im September 1943

Verein Deutscher Ingenieure im NSBDT.

Der Direktor

Dr. Ude

Vermerk zur fünften Auflage

Die Vorarbeiten für die fünfte Auflage der VDI-Durchfluß-Meßregeln begannen bereits 1939 zugleich mit den Arbeiten für die Internationale Normentagung 1938. Die auf dieser Tagung vorgelegten Forschungsergebnisse führten zu wertvollen neuen Festlegungen in den ISA-Durchfluß-Meßregeln. Die Bearbeitung der deutschen VDI-Durchfluß-Meßregeln mußte indes infolge des Krieges mit seinen vordringlicheren Arbeiten immer wieder hinauszugeschoben werden. Das starke Bedürfnis der Praxis nach diesen Regeln und ihr Wunsch, sie dem neuesten Stand angepaßt und insbesondere auf die Vorkriegszeit erweitert zu sehen, gaben jedoch Anlaß, trotz der Schwierigkeiten der Kriegszeit die Arbeiten an der Neuauflage wieder aufzunehmen und zu Ende zu führen. Die nunmehr vorliegende fünfte Auflage der VDI-Durchfluß-Meßregeln enthält eine große Anzahl wichtiger Ergänzungen. Als wesentliche Erweiterung wurde neben Düse und Blende ein drittes Normgerät, die Normventuridüse, aufgenommen, das dort von Bedeutung ist, wo es auf möglichst geringen Druckverlust ankommt, also vor allem bei der Wassermessung. Durch neue deutsche und italienische Arbeiten wurden die Bedingungen gefunden, unter denen man an die Normdüse einen Diffusor anbauen kann, ohne die Strömungseigenschaften der Düse zu verändern. Die Arbeitsblätter und Anwendungsbeispiele werden entsprechend ergänzt.

Die Normvorschriften für Düse und Blende wurden 1. um die bisher fehlende Toleranz für die Zylinderlänge und damit für die Gesamtlänge der Düse und 2. um eine Bauvorschrift für das Querschnittsverhältnis der Ringkammer zu ihren Druckzuführungen erweitert. Nur bei Beachtung dieser Vorschrift ist ein wirklicher Druckausgleich, eine eindeutige Druckanzeige, sowie eine eindeutige Erkennung der Fehler bei gestörter Strömung gewährleistet. Dies gab Anlaß zu neuen Messungen, als deren Ergebnis die notwendigen geraden Rohrlingen auf Arbeitsblatt 3 geändert wurden. Der bisherige Widerspruch zwischen den Angaben für Raumbrüner und einfache Krümmung ist nunmehr beseitigt. Es wurden weiter eingefügt: Hinweise über den Strömungseinfluß von Temperaturfählern, vorgeschalteten Drosselgeräten und durch das Einleitrohr bei aufgestauchter Flansch. Ferner wurde der Einfluß von Verschmutzungen bei Düsen und Blenden behandelt und die Stelle festgelegt, zwischen denen der Druckverlust gemessen werden muß.

Die Durchflußzahlen α für große Öffnungsverhältnisse m wurden unter Ausnutzung neuer Messungen innerhalb der bisherigen Toleranzen im Sinne starker Veränderung mit m ausgedrückt, ebenso die Berichtigszahlen für den Zähigkeitseinfluß; letztere sind einmal auf Reizgetragen, ein zweites Mal über dem Hilfswert $Re_{1/2}$, der sich aus den bekannten bzw. bemessenen Werten berechnen läßt, wenn man Re bzw. den Durchfluß nicht kennt. Für Blenden wurde der neue Begriff der Kennzahlgrenze (neben der Toleranzgrenze) auf Grund internationaler Vereinbarungen eingeführt.

Die Werte der Expansionszahl ϵ für Düsen bei großem m wurden nach theoretischer Berechnung erweitert. Zur bequemeren Umrechnung auf andere c_p/c_v wurden in die ϵ -Tabelle besondere Leitlinien eingefügt. Statische Berechnungsunterlagen für die Normblende, die Normdüse und die Norm-Venturidüse wurden für jede Bauart auf einem besonderen Arbeitsblatt zusammengestellt.

Der praktische Gebrauch der Durchflußgleichung wurde in einem besonderen Abschnitt behandelt. Zur Erleichterung der Berechnung wird auf zwei Sonder-Rechenmaschinen hingewiesen. Das Arbeitsblatt der Gebrauchformeln erhält einige Ergänzungen, z. B. die Formel für den oft vorkommenden Fall der Durchflußmessung mit „umgekehrtem Differenz-Manometer“. Die Zahlenangaben, z. B. für Zähigkeit und Kompressibilität, wurden auf den neuesten Stand gebracht.

Von Kürzungen wurde abgesehen, da die Anforderungen der Technik an Meßsicherheit und an Umfang der Meßaufgaben ständig wachsen. Vielmehr wurden als neue Abschnitte aufgenommen die inzwischen ausgesprochene Zulassung der Durchflußmessung mit Düse und Blende für den eichpflichtigen Bezug und die Lieferung von Gas, die Messung von pulsierenden Strömen mit einer Fehlerabschätzung unter Hinweis auf ein Anwendungsbeispiel nach neuer Messungen und ein Meßverfahren für die Abnahme von Kolbenverdichtern nach überkritischer Entspannung der zu messenden Gase.

Wesentlich erweitert wurden die Vorschläge zur Messung bei kleinen Reynoldszahlen sowie zur Ausflußmessung von Flüssigkeiten gegen Gas, wenn auch für diese beiden Meßaufgaben eine Normung bisher noch nicht möglich war.

Berlin, im Juli 1943

VDI-Strömungsmesser-Ausschuß

Dr. R. Witte VDI

Obmann

ein deutscher Ingenieur im NSBDT.

DIN 1952

Ausgabe 1943

II-Durchfluß-Meßregeln

**VDI-Regeln für die Durchflußmessung mit
genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen**

(5. Auflage)



Aufgestellt vom VDI-Strömungsmesser-Ausschuß

Mit 24 Bildern im Text und 13 Arbeitsblättern

1943

I-VERLAG GMBH / BERLIN NW 7

Vertrieb: Beuth-Vertrieb G.m.b.H., Berlin SW.68

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
1 Regeln		2 Ergänzungen zu den Regeln	
11 Gültigkeitsbereich der Regeln	1	21 Auswirkungen von Abweichungen vom normgerechten Einbau der Düsen und Blenden	17
111 Aufgabe der Regeln	1	211 Nicht normgerechte Druckentnahme	17
112 Forderungen an das zu messende Stoff	2	212 Durchmesser des Fassungsringes kleiner als der Rohrdurchmesser	18
113 Forderungen an die Strömung	2	213 Zu eng ausgeschnittene Dichtung	18
114 Forderungen an den Einbau	2	214 Strömungen durch ungelagte Erweiterung und Nietstrichen bei Normblenden	18
12 Beschreibung der genormten Drosselmeßgeräte	2	215 Strömungen durch ein vorgeschaltetes Drosselgerät	19
121 Deutsche Normblende 1989	2	216 Strömungen durch Temperaturmeßstutzen vor dem Drosselgerät	19
122 Deutsche Normblende 1990	3	22 Drosselmeßgeräte im Ein- und Auslauf, Ausflußmessung	19
123 Gemeinsame Konstruktionsanforderungen für Normdüsen und Normblenden	3	221 Gleicher Stoff vor und hinter dem Drosselgerät	19
124 Deutsche Normventuridüse 1989	4	222 Ausströmen von Flüssigkeiten in Gas	19
1241 Allgemeine	4	223 Umwandlung in normgerechten Einbau	20
1242 Hauptteile	4	23 Pulsierende Strömungen	20
1243 Konstruktive Einzelheiten	6	24 Drosselmeßgeräte mit konstanten Durchflußzahlen bei kleiner Reynoldszahl	21
13 Die Durchflußgleichung (und ihre Größen)	5	25 Drosselmeßgeräte bei überkritischem Druckverhältnis	23
131 Form der Durchflußgleichung für den praktischen Gebrauch	5	26 Anschlußleitungen und Wirtdruckmesser	24
132 Betrag und Toleranzen der Durchflußzahlen und Berichtigungen bei normgerechtem Einbau	5	261 Wirtdruckmesser für Laboratoriumsversuche	24
1321 Die Durchflußzahl	5	262 Wirtdruckmesser für Dauerbetrieb	24
13211 Die Durchflußzahl	5	2621 Allgemeine	24
13212 Kennwertgrenze, Grundtoleranz und Toleranzgrenze	6	2622 Schwimmernormmeter	25
13213 Durchflußzahl für Normdüsen	6	2623 Fließwagen	25
13214 Durchflußzahl für Normblenden	6	2624 Tauchgefäße	26
13215 Durchflußzahl für Normventuridüsen	7	2625 Membran- und andere Wirtdruckmesser	26
1322 Die Expansionszahl	7	2626 Zusätzliche Modifizierungen	26
13221 Die Expansionszahl für Normdüsen und Normblenden	7	2627 Anschluß der Wirtdruckmesser	26
13222 Die Expansionszahl für Normventuridüsen	7	27 Anwendung auf Abnahmereigen bei Dampf- und Kondensatmessungen	27
1323 Beispiel für das Anbringen der Berichtigungen für λ und γ und für die Ermittlung der Toleranz für λ/γ	8	3 Theoretische Grundlagen	28
133 Bestimmung von λ und γ	8	31 Grundgleichungen für volumbeständige Flüssigkeiten	28
134 Ermittlung und Toleranzen von Wirtdruck und Wichte	8	32 Grundgleichungen für Gase und Dämpfe	28
1341 Wirtdruck	8	4 Anwendungsbeispiele	30
13411 Ermittlung des Wirtdruckes	8	41 Berechnung des Durchmessers von Drosselgeräten bei gegebenen Betriebsverhältnissen und gewähltem Wirtdruck (Beispiele 1 bis 3)	30
13412 Toleranz des Wirtdruckes	9	42 Ermittlung des Durchflusses bei gegebenem Drosselgerät (Beispiele 4 und 5)	33
1342 Wichte (spez. Gew.)	9	43 Berechnung des Meßfehlers (Mittelwertfehlers) bei pulsierender Strömung (Beispiel 6)	35
13421 Ermittlung der Wichte des Stoffes im Betriebszustand	9	5 Schlüssel-Verzeichnis	37
13422 Einfluß der Feuchtigkeit bei Gasen	10	6 Sachverzeichnis	38
13423 Umrechnung auf Normzustand	10	Anhang: Arbeitsblätter (Abkürzung A.-B.)	
13424 Toleranz der Wichte	10	Arbeitsblatt	
13425 Beispiel	10	1 Kennzeichnungen für die Umrislinien und die Druckentnahme	
135 Reynoldszahl und Zähigkeit	11	2 Unverändliche Ausströmungsbeispiele für Düsen, Blenden und Venturidüsen	
1351 Bedeutung der Reynoldszahl	11	3 Notwendige gerade Rohrleitungen	
1352 Ermittlung der Zähigkeit	11	4 Gebrauchsformeln	
1353 Ermittlung der Reynoldszahl	12	5 Bestimmung des Drosselgerätedurchmessers durch Ermittlung von m s	
136 Praktischer Gebrauch der Durchflußgleichung	12	6 Durchflußzahlen, Zuschläge und Toleranzen für Normdüsen	
1361 Ermittlung des Durchflusses aus dem gemessenen Wirtdruck	12	7 Durchflußzahlen, Zuschläge und Toleranzen für Normblenden	
13611 Gang der Berechnung	12	8 Durchflußzahlen, Zuschläge und Toleranzen für Normventuridüsen	
13612 Toleranz	12	9 Expansionszahl γ	
1362 Berechnung des Durchmessers von Drosselgeräten	12	10 Graphische Ermittlung der Reynoldszahl	
14 Druckverlust	12	11 Wichten und Zähigkeit	
15 Bedingungen für normgerechten Einbau	13	12 Abweichungen von der Norm	
151 Meßfehler durch schlechten Einbau	13	13 Pulsierende Strömung	
152 Anordnung des Drosselgerätes	13	14 Kompressibilität K	
153 Wasserabscheidung	14		
154 Schmutzempfindlichkeit	14		
155 Waagre Rohrstücke	14		
156 Beschaffenheit der Rohrinneflächen	14		
157 Rohrtrichterführung	14		
1571 Übergangstücke	13		
1572 Raumkammer	13		
1573 Strömungsgleichrichter	15		
1574 Schieber	13		
1575 Druckentnahme	15		
1576 Normgerechter Einbau	13		
16 Anwendung der Durchflußmessung im eichpflichtigen Verkehr	13		

1 Regeln

11 Gültigkeitsbereich der Regeln

111 Aufgabe der Regeln

Strömt ein flüssiger oder gasförmiger Stoff durch einen verengten Querschnitt der Rohrleitung, so wird nach dem Energiesatz (Bernoulli) die Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit durch eine Umwandlung von Druckenergie in Strömungsenergie herbeigeführt. Der zwischen dem unverengten und dem verengten Querschnitt der Rohrleitung auftretende Druckunterschied liefert wegen der eindeutigen Beziehung zwischen der Druckenergie und der Strömungsenergie ein Maß für den Durchfluß (Menge je Zeiteinheit), der auch als Strom oder Stromstärke bezeichnet wird. Der Druckunterschied wird als Wirkdruck und das auf dieser Grundlage aufgebaute Meßverfahren als Durchflußmessung nach dem Wirkdruckverfahren bezeichnet.

Dieses Verfahren ist für viele und wichtige technische Fälle das einzig brauchbare Meßverfahren; es ist darüber hinaus ein genaues und bequemes Verfahren von allgemeiner Anwendbarkeit auf beliebige strömende Flüssigkeiten, Gase und Dämpfe bei beliebigen Drücken und Temperaturen unter Beachtung der Einschränkungen der Abschnitte 112 bis 114.

Zu einer vollständigen Meßeinrichtung gehören: ein in die Rohrleitung eingebautes Drosselgerät als Wirkdruckgeber, ein getrennt von der Rohrleitung angeordneter Wirkdruckmesser und die Verbindungsleitungen zur hydraulischen Übertragung des Wirkdrucks vom Drosselgerät zum Meßgerät.

Die Regeln geben die genormten Formen für drei Drosselgeräte: Normdüse, Normblende und Normventuridüse an, und ermöglichen, diese in Kreisrohren ohne versuchsmäßige Bestimmung der Durchflußzahl¹⁾ zu benutzen. Für die Prüfung und Verwendung nichtgenormter Drosselgeräte sind die Bestimmungen der Regeln sinngemäß anwendbar.

Die Wirkdruckmesser können zur Erfassung des Durchflusses anzeigend und schreibend, zur Erfassung der Gesamtmenge in einem bestimmten Zeitabschnitt integrierend ausgeführt werden. Sie können mit zusätzlichen Einrichtungen für die elektrische Fernübertragung der Meßwerte, Kontaktvorrichtungen usw. versehen werden.

Die elektrischen Empfangsgeräte können für die Erfassung der Meßwerte ebenfalls anzeigend, schreibend oder integrierend ausgeführt werden.

Für Normdüse, Normblende und Normventuridüse geben die Regeln die Bau- und Einbaunormen und die Durchflußzahlen, die in die theoretischen Strömungsgleichungen einzusetzen sind, um aus dem Wirkdruck den Durchfluß (Strom oder Stromstärke) zu ermitteln. Die dabei beanspruchten Toleranzen beziehen sich nicht auf die gesamte Messung, sondern nur auf die Durchflußzahlen und Expansionszahlen. Sie geben die Grenzen unserer heutigen Kenntnis des Strömungsvorgangs an und müssen bei praktischer Durchführung einer Mengenummessung um den Betrag erhöht werden, den die Ungenauigkeit der Messung des Wirkdrucks und der Wichte erfordert.

Die Gesamttoleranz der Durchflußmessung richtet sich nach der Art des Drosselgeräts und des Durchflußmeßgeräts sowie nach den Anwendungsgebieten. Nur wenn die Einzeltoleranzen für die Durchflußzahl, die Expansionszahl, die Wirkdruckmessung und die Wichte bekannt sind, kann für die Messung des Durchflusses eine Gesamttoleranz festgelegt werden. Diese wird nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz als „mittlerer Fehler“ errechnet, indem man die Wurzel aus der Summe der Einzeltoleranzen zieht [31]²⁾. Sind die (voneinander unabhängigen) Einzeltoleranzen x_1, x_2, x_3, \dots , so ist die Gesamttoleranz

$$x = \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots}$$

Hierbei sind die Einzeltoleranzen in % anzugeben (s. Arbeitsblatt, im folgenden A.-B. abgekürzt, 6 bis 8), und es ist zu beachten, daß Toleranzen für solche Größen, die in der Durchflußgleichung unter der Wurzel stehen, nur mit dem halben Betrag einzusetzen sind. Der Abschnitt 1361 enthält ein Zahlenbeispiel für die Berechnung der Gesamttoleranz.

Die Regeln gelten gleichzeitig als Grundlagen für die Durchflußmessung in den VDI-Regeln³⁾ für Abnahmeversuche an Dampfturbinen usw. Sie geben weiterhin Richtlinien für Messungen mit geringeren Anforderungen an die Genauigkeit für solche Be-

¹⁾ Nach der Eichordnung (siehe Schriftverzeichnisse [34]) sind Wirkdruck-Strömungsmesser, bei denen der Wirkdruckgeber den deutschen Normen (DIN 1952) entspricht (Normdüse, Normblende), zur Eichung zugelassen (sichthältig), (siehe Abschnitt 11).

²⁾ Die Zahlen in eckigen Klammern geben die laufende Nummer des Schriftverzeichnisses an.

³⁾ Vgl. die VDI-Regeln für Abnahmeversuche an Dampfturbinen, Dampfmaschinen, Kreiselpumpen, Verdichtern, Kältemaschinen usw., herausgegeben im VDI-Verlag, Berlin.