

Sonderdokumentation **Proline Promass I 500** **EtherNet/IP**

Anwendungspaket Viskositätsmessung



Inhaltsverzeichnis

1	Hinweise zum Dokument	4
1.1	Dokumentfunktion	4
1.2	Inhalt und Umfang	4
1.3	Verwendete Symbole	4
1.4	Dokumentation	5
1.5	Eingetragene Marken	5
2	Produktmerkmale und Verfügbar-	
	keit	6
2.1	Produktmerkmale	6
2.2	Verfügbarkeit	6
3	Systemintegration	7
4	Inbetriebnahme	8
4.1	Erweiterte Einstellungen	8
4.2	Simulation	10
5	Betrieb	11
5.1	Messwerte ablesen	11
6	Technische Daten	12
6.1	Eingang	12
6.2	Leistungsmerkmale	13
7	Grundlagen Viskosität	15
7.1	Definitionen der Viskosität (allgemein)	15
7.2	Differenzierung des viskosen Verhaltens	17
7.3	Prinzip der Viskositätsmessung mit Promass I	20
7.4	Temperaturkorrektur des Viskositätswerts ...	21
7.5	Formelmodelle zur Temperaturkorrektur	22
8	Vergleichstabelle für Viskositäten ..	23

1 Hinweise zum Dokument

1.1 Dokumentfunktion

Diese Anleitung ist eine Sonderdokumentation, sie ersetzt nicht die zugehörige Betriebsanleitung. Sie dient als Nachschlagewerk für die Nutzung der im Messgerät integrierten Viskositätsmessung.

1.2 Inhalt und Umfang





Diese Dokumentation beinhaltet die Beschreibungen der zusätzlichen Parameter und technischen Daten, die mit dem Anwendungspaket **Viskosität** zur Verfügung stehen.

Es liefert detaillierte Erläuterungen zu:






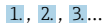


- Anwendungsspezifischen Parametern
- Erweiterten technischen Spezifikationen



1.3 Verwendete Symbole

1.3.1 Warnhinweissymbole

Symbol	Bedeutung
	GEFAHR! Dieser Hinweis macht auf eine gefährliche Situation aufmerksam, die, wenn sie nicht vermieden wird, zu Tod oder schwerer Körperverletzung führen wird.
	WARNUNG! Dieser Hinweis macht auf eine gefährliche Situation aufmerksam, die, wenn sie nicht vermieden wird, zu Tod oder schwerer Körperverletzung führen kann.
	VORSICHT! Dieser Hinweis macht auf eine gefährliche Situation aufmerksam, die, wenn sie nicht vermieden wird, zu leichter oder mittelschwerer Körperverletzung führen kann.
	HINWEIS! Dieser Hinweis enthält Informationen zu Vorgehensweisen und weiterführenden Sachverhalten, die keine Körperverletzung nach sich ziehen.

1.3.2 Symbole für Informationstypen


Symbol	Bedeutung
	Tipp Kennzeichnet zusätzliche Informationen.
	Verweis auf Dokumentation
	Verweis auf Seite
	Verweis auf Abbildung
	Zu beachtender Hinweis oder einzelner Handlungsschritt
	Handlungsschritte
	Ergebnis eines Handlungsschritts
	Bedienung via Vor-Ort-Anzeige

Symbol	Bedeutung
	Bedienung via Bedientool
	Schreibgeschützter Parameter

1.3.3 Symbole in Grafiken

Symbol	Bedeutung
1, 2, 3 ...	Positionsnummern
A, B, C, ...	Ansichten
A-A, B-B, C-C, ...	Schnitte

1.4 Dokumentation

-  Eine Übersicht zum Umfang der zugehörigen Technischen Dokumentation bieten:
- Der *W@M Device Viewer*: Seriennummer vom Typenschild eingeben (www.endress.com/deviceviewer)
 - Die *Endress+Hauser Operations App*: Seriennummer vom Typenschild eingeben oder den 2-D-Matrixcode (QR-Code) auf dem Typenschild scannen.


Diese Dokumentation ersetzt nicht die zum Lieferumfang gehörende Betriebsanleitung.

Die Betriebsanleitung und weitere Dokumentationen enthalten alle ausführlichen Informationen zum Gerät:

- Internet: www.endress.com/deviceviewer
- Smartphone/Tablet: *Endress+Hauser Operations App*

Diese Dokumentation ist fester Bestandteil folgender Betriebsanleitungen:

Messgerät	Dokumentationscode
Promass I 500	BA01752D

-  Diese Sonderdokumentation ist verfügbar:
- Auf der mitgelieferten CD-ROM zum Gerät (je nach bestellter Geräteausführung)
 - Im Download-Bereich der Endress+Hauser Internetseite:
www.endress.com → Download

1.5 Eingetragene Marken

EtherNet/IP™

Zeichen der ODVA, Inc.

2 Produktmerkmale und Verfügbarkeit

2.1 Produktmerkmale

Mit dem Anwendungspakets "Viskosität" stehen dem Messgerät zusätzliche Parameter, Optionen und Messgrößen zur Verfügung.

Folgende Viskositätsmessung von Flüssigkeiten werden durchgeführt:

- Dynamische Viskosität
- Kinematische Viskosität
- Temperaturkompensierte Viskosität (kinematisch und dynamisch) bezogen auf Referenztemperatur

Die Viskositätsmessung kann für newtonische sowie nicht-newtonische Anwendungen eingesetzt werden und liefert genaue Messdaten unabhängig vom Durchfluss und auch unter schwierigen Bedingungen.

2.2 Verfügbarkeit

Das Anwendungspaket **Viskosität** kann direkt bei der Bestellung des Geräts mitbestellt werden.

Es ist nachträglich mittels Freischaltcode verfügbar. Ausführliche Angaben zum betreffenden Bestellcode sind bei Ihrer Endress+Hauser Vertriebszentrale erhältlich oder auf der Produktseite der Endress+Hauser Website: www.endress.com.

Die Verfügbarkeit des Anwendungspaket **Viskosität** mit der Option **EG** kann wie folgt überprüft werden:

- Bestellcode (Order code) mit Aufschlüsselung der Gerätemerkmale auf dem Lieferschein
- Im W@M Device Viewer (www.endress.com/deviceviewer)
Seriennummer vom Typenschild eingeben und in den Geräteinformationen prüfen, ob bei dem Bestellmerkmal "Anwendungspakete" die Option **EG** "Viskosität" verfügbar ist.
- Im Bedienmenü:
Im Parameter **Software-Optionsübersicht** werden die aktuell aktivierten Software-Optionen angezeigt.
Experte → System → Administration

2.2.1 Bestellmerkmal

Bei direkter Bestellung mit dem Gerät oder nachträglicher Bestellung als Umbausatz: Bestellmerkmal "Anwendungspakete", Option **EG** "Viskosität"

2.2.2 Freischaltung

Bei nachträglicher Bestellung wird ein Umbausatz mitgeliefert.

Dieser beinhaltet unter anderem ein Anhängeschild mit Gerätedaten und Freischaltcode.



Für Einzelheiten: Einbauanleitung EA001164D

2.2.3 Zugriff

Das Anwendungspaket ist mit allen Systemintegrationsoptionen nutzbar. Für den Zugriff auf die im Gerät gespeicherten Daten sind Schnittstellen mit digitaler Kommunikation erforderlich. Die Geschwindigkeit der Datenübertragung wird von der Art der Kommunikationsschnittstelle bestimmt.

3 Systemintegration

Erweiterte Auswahl der Messgrößen bei Verwendung des Anwendungspakets **Viskosität**:

- Dynamische Viskosität
- Kinematische Viskosität
- Temp.kompensierte dynamische Viskosität
- Temp.kompensierte kinematische Visk.

Ausführliche Informationen zur Systemintegration:



Betriebsanleitung zum Gerät →  5

4 Inbetriebnahme

4.1 Erweiterte Einstellungen

Navigation

Menü "Setup" → Erweitertes Setup → Viskosität

► Viskosität

► Temperaturkompensation

→ 8

► Dynamische Viskosität

→ 9

► Kinematische Viskosität

→ 9

4.1.1 Temperaturkompensation

Navigation

Menü "Setup" → Erweitertes Setup → Viskosität → Temperaturkompensation

► Temperaturkompensation

Rechenmodell

→ 8

Referenztemperatur

→ 8

Kompensationskoeffizient X 1

→ 8

Kompensationskoeffizient X 2

→ 8

Parameterübersicht mit Kurzbeschreibung

Parameter	Beschreibung	Auswahl / Eingabe	Werkseinstellung
Rechenmodell	Rechenmodell für Temperaturkompensation der Viskosität wählen.	<div>■ Potenziell</div> <div>■ Exponentiell</div> <div>■ Polynom</div>	Polynom
Referenztemperatur	Referenztemperatur für Berechnung der temperaturkompensierten Viskosität eingeben.	-273,15 ... 99 999 °C	0 °C
Kompensationskoeffizient X 1	Kompensationskoeffizient für Berechnung der temperaturkompensierten Viskosität eingeben.	Gleitkommazahl mit Vorzeichen	0
Kompensationskoeffizient X 2	Kompensationskoeffizient für Berechnung der temperaturkompensierten Viskosität eingeben.	Gleitkommazahl mit Vorzeichen	0

4.1.2 Dynamische Viskosität

Navigation

Menü "Setup" → Erweitertes Setup → Viskosität → Dynamische Viskosität

► Dynamische Viskosität

Einheit dynamische Viskosität

→ 9

Anwendertext dynamische Viskosität

→ 9

Anwenderfaktor dynamische Viskosität

→ 9

Anwender-Offset dynamische Viskosität

→ 9

Parameterübersicht mit Kurzbeschreibung

Parameter	Beschreibung	Auswahl / Eingabe	Werkseinstellung
Einheit dynamische Viskosität	Einheit für dynamische Viskosität wählen. <i>Auswirkung</i> Die gewählte Einheit gilt für: <ul style="list-style-type: none"> ■ Parameter Dynamische Viskosität (Gase) ■ Parameter Dynamische Viskosität (Flüssigkeiten) 	Einheiten-Auswahlliste	Pa s
Anwendertext dynamische Viskosität	Text für anwenderspezifische Einheit der dynamischen Viskosität eingeben.		UserDynVis
Anwenderfaktor dynamische Viskosität	Bei anwenderspezifischer Einheit: Faktor eingeben, der mit dem dynamischen Viskositätsmesswert multipliziert wird.	Gleitkommazahl mit Vorzeichen	1,0
Anwender-Offset dynamische Viskosität	Bei anwenderspezifischer Einheit: Nullpunktverschiebung eingeben, die zum Messwert der dynamischen Viskosität addiert oder subtrahiert wird.	Gleitkommazahl mit Vorzeichen	0

4.1.3 Kinematische Viskosität

Navigation

Menü "Setup" → Erweitertes Setup → Viskosität → Kinematische Viskosität

► Kinematische Viskosität

Einheit kinematische Viskosität

→ 10

Anwendertext kinematische Viskosität

→ 10

Anwenderfaktor kinematische Viskosität

→ 10

Anwender-Offset kinematische Viskosität

→ 10

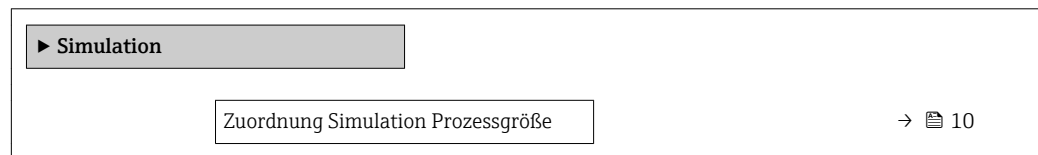
Parameterübersicht mit Kurzbeschreibung

Parameter	Beschreibung	Auswahl / Eingabe	Werkseinstellung
Einheit kinematische Viskosität	Einheit für kinematische Viskosität wählen.	Einheiten-Auswahlliste	cSt
Anwendertext kinematische Viskosität	Text für anwenderspezifische Einheit der kinematischen Viskosität eingeben.		UserKinVis
Anwenderfaktor kinematische Viskosität	Bei anwenderspezifischer Einheit: Faktor eingeben, der mit dem kinematischen Viskositätsmesswert multipliziert wird.	Gleitkommazahl mit Vorzeichen	1,0
Anwender-Offset kinematische Viskosität	Bei anwenderspezifischer Einheit: Nullpunktverschiebung eingeben, die zum Messwert der kinematischen Viskosität addiert oder subtrahiert wird.	Gleitkommazahl mit Vorzeichen	0

4.2 Simulation

Navigation

Menü "Diagnose" → Simulation → Zuordnung Simulation Prozessgröße



Parameterübersicht mit Kurzbeschreibung





Parameter	Beschreibung	Auswahl	Werkseinstellung
Zuordnung Simulation Prozessgröße	Prozessgröße für Simulation wählen, die dadurch aktiviert wird.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aus ■ Massefluss ■ Volumenfluss ■ Normvolumenfluss ■ Dichte ■ Normdichte ■ Temperatur ■ Dynamische Viskosität ■ Kinematische Viskosität ■ Temp.kompensierte dynamische Viskosität ■ Temp.kompensierte kinematische Visk. 	Aus

5 Betrieb









5.1 Messwerte ablesen

Navigation

Menü "Diagnose" → Messwerte → Prozessgrößen

► Prozessgrößen	
Dynamische Viskosität	→  11
Kinematische Viskosität	→  11
Temp.kompensierte dynamische Viskosität	→  11
Temp.kompensierte kinematische Visk.	→  11

Parameterübersicht mit Kurzbeschreibung

Parameter	Voraussetzung	Beschreibung	Anzeige
Dynamische Viskosität	Bei folgendem Bestellmerkmal: "Anwendungspaket", Option EG "Viskosität"  In Parameter Software-Options-übersicht werden die aktuell aktivierten Software-Optionen angezeigt.	Zeigt aktuell berechneten dynamische Viskosität an. <i>Abhängigkeit</i> Die Einheit wird übernommen aus: Parameter Einheit dynamische Viskosität (→  9)	Gleitkommazahl mit Vorzeichen
Kinematische Viskosität	Bei folgendem Bestellmerkmal: "Anwendungspaket", Option EG "Viskosität"  In Parameter Software-Options-übersicht werden die aktuell aktivierten Software-Optionen angezeigt.	Zeigt aktuell berechnete kinematische Viskosität an. <i>Abhängigkeit</i> Die Einheit wird übernommen aus: Parameter Einheit kinematische Viskosität (→  10)	Gleitkommazahl mit Vorzeichen
Temp.kompensierte dynamische Viskosität	Bei folgendem Bestellmerkmal: "Anwendungspaket", Option EG "Viskosität"  In Parameter Software-Options-übersicht werden die aktuell aktivierten Software-Optionen angezeigt.	Zeigt aktuell berechnete Temperaturkompensation für die Viskosität an. <i>Abhängigkeit</i> Die Einheit wird übernommen aus: Parameter Einheit dynamische Viskosität (→  9)	Gleitkommazahl mit Vorzeichen
Temp.kompensierte kinematische Visk.	Bei folgendem Bestellmerkmal: "Anwendungspaket", Option EG "Viskosität"  In Parameter Software-Options-übersicht werden die aktuell aktivierten Software-Optionen angezeigt.	Zeigt aktuell berechnete Temperaturkompensation für die kinetische Viskosität an. <i>Abhängigkeit</i> Die Einheit wird übernommen aus: Parameter Einheit kinematische Viskosität (0578) (→  10)	Gleitkommazahl mit Vorzeichen

6 Technische Daten

6.1 Eingang

6.1.1 Messbereich

Messbereiche für Flüssigkeiten

DN		Messbereich-Endwerte $\dot{m}_{\min(F)} \dots \dot{m}_{\max(F)}$	
[mm]	[in]	[kg/h]	[lb/min]
8	$\frac{3}{8}$	0 ... 2 000	0 ... 73,50
15	$\frac{1}{2}$	0 ... 6 500	0 ... 238,9
15 FB	$\frac{1}{2}$ FB	0 ... 18 000	0 ... 661,5
25	1	0 ... 18 000	0 ... 661,5
25 FB	1 FB	0 ... 45 000	0 ... 1 654
40	$1\frac{1}{2}$	0 ... 45 000	0 ... 1 654
40 FB	$1\frac{1}{2}$ FB	0 ... 70 000	0 ... 2 573
50	2	0 ... 70 000	0 ... 2 573
50 FB	2 FB	0 ... 180 000	0 ... 6 615
80	3	0 ... 180 000	0 ... 6 615

FB = Full bore (voller Nennweitenquerschnitt)

Messbereiche für Gase

Die Endwerte sind abhängig von der Dichte des verwendeten Gases und können mit folgender Formel berechnet werden:

$$\dot{m}_{\max(G)} = \dot{m}_{\max(F)} \cdot \rho_G : x$$

$\dot{m}_{\max(G)}$	Maximaler Endwert für Gas [kg/h]
$\dot{m}_{\max(F)}$	Maximaler Endwert für Flüssigkeit [kg/h]
$\dot{m}_{\max(G)} < \dot{m}_{\max(F)}$	$\dot{m}_{\max(G)}$ kann nie größer werden als $\dot{m}_{\max(F)}$
ρ_G	Gasdichte in [kg/m³] bei Prozessbedingungen
x	nennweitenabhängige Konstante

DN		x
[mm]	[in]	[kg/m³]
8	$\frac{3}{8}$	60
15	$\frac{1}{2}$	80
15 FB	$\frac{1}{2}$ FB	90
25	1	90
25 FB	1 FB	90
40	$1\frac{1}{2}$	90
40 FB	$1\frac{1}{2}$ FB	90
50	2	90
50 FB	2 FB	110

DN		x
[mm]	[in]	[kg/m³]
80	3	110

FB = Full bore (voller Nennweitenquerschnitt)

Berechnungsbeispiel für Gas

- Messaufnehmer: Promass I, DN 50
- Gas: Luft mit einer Dichte von $60,3 \text{ kg/m}^3$ (bei 20°C und 50 bar)
- Messbereich (Flüssigkeit): $70\,000 \text{ kg/h}$
- $x = 90 \text{ kg/m}^3$ (für Promass I, DN 50)

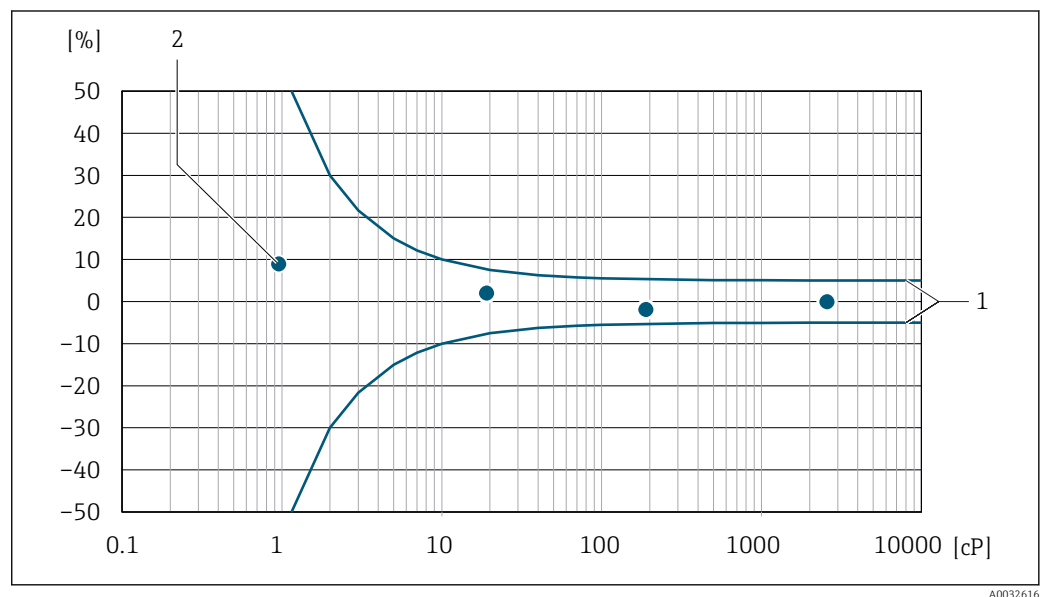
Maximal möglicher Endwert:

$$\dot{m}_{\max(\text{G})} = \dot{m}_{\max(\text{F})} \cdot \rho_{\text{G}} : x = 70\,000 \text{ kg/h} \cdot 60,3 \text{ kg/m}^3 : 90 \text{ kg/m}^3 = 46\,900 \text{ kg/h}$$

6.2 Leistungsmerkmale

6.2.1 Maximale Messabweichung

Messgenauigkeit für Newton'sche Flüssigkeiten	$\pm 5\% \pm 0,5 \text{ mPa}\cdot\text{s (cP)}$ vom Messwert
---	--

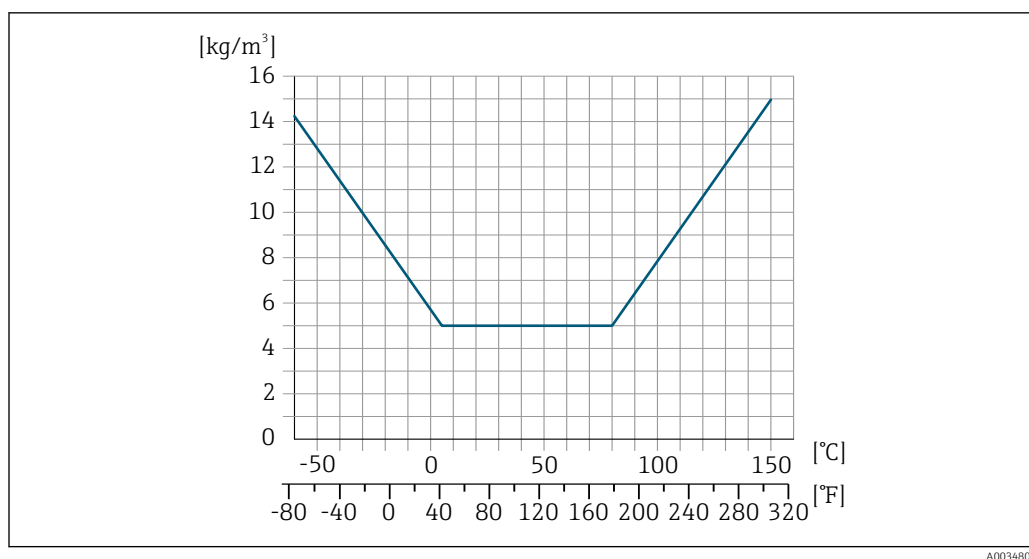


1 Fehlerdiagramm mit Angabe des relativen Fehlers in % für den Verlauf einer Dynamischen Viskosität in cP

1 Maximale Messabweichung

2 Typische Messpunkte der Viskositätskalibration

Befindet sich die Prozesstemperatur außerhalb des gültigen Bereiches $+5 \dots +80^\circ\text{C}$ ($+41 \dots +176^\circ\text{F}$) beträgt die zusätzliche Messabweichung $\pm 0,14 \text{ v.M.}/^\circ\text{C}$ ($\pm 0,07 \text{ v.M.}/^\circ\text{F}$)



2 Messabweichung bei Prozesstemperatur außerhalb des gültigen Bereiches



6.2.2 Wiederholbarkeit

$\pm 0,5\%$ vom Messwert

7 Grundlagen Viskosität

Viskosität beschreibt das Fließverhalten von Fluiden (Flüssigkeit und Gas). Diese Eigenschaft hängt von Kräften ab, die zwischen den Molekülen wirken. Je dickflüssiger ein Fluid ist, desto stärker sind diese zwischenmolekularen Kräfte. Als Folge muss bei einer Bewegungs- oder Krafteinwirkung ein größerer innerer Widerstand überwunden werden.

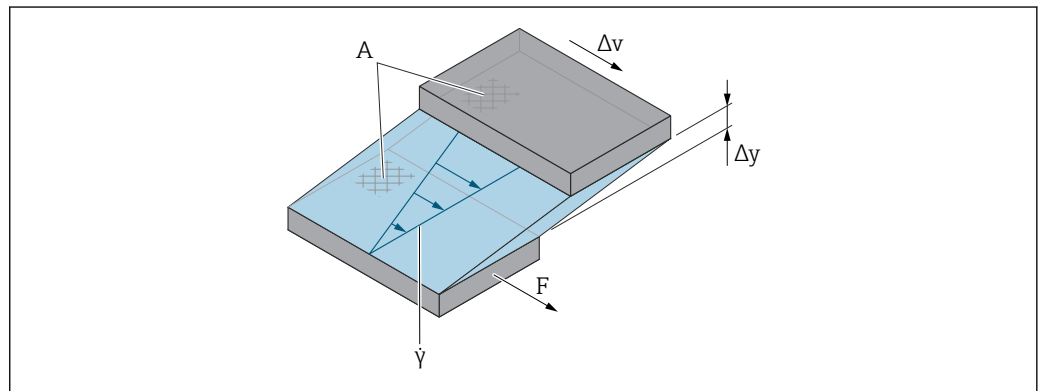
7.1 Definitionen der Viskosität (allgemein)

Verschiebt man eine von zwei sich gegenüberliegenden Platten, zwischen denen sich eine Flüssigkeit befindet, in horizontaler Richtung →  3,  15 gegeneinander, so ist dazu eine bestimmte Kraft F (Scherkraft) notwendig, da die Flüssigkeit der Fließbewegung in Form eines inneren Widerstands entgegenwirkt.

Das Verhältnis zwischen der bewegten Fläche A und der Scherkraft F bezeichnet man als Schubspannung τ .

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

A0019949



A0032625

 3 Schergeschwindigkeit

A	Reibfläche
F	Scherkraft
$\dot{\gamma}$	Schergeschwindigkeit
Δv	Geschwindigkeitsänderung
Δy	Plattenabstand oder Schichtdicke

Das Verhältnis zwischen Geschwindigkeitsänderung Δv und Schichtdicke Δy (Abstand zwischen den Platten) bezeichnet man als Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$.

$$\dot{\gamma} = \frac{\Delta y}{\Delta v} \quad \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}} = \frac{1}{\text{s}}$$

A0019948

7.1.1 Dynamische Viskosität

Die Dynamische Viskosität (η) errechnet sich aus dem Verhältnis Schubspannung τ zur Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{F/A}{\Delta v / \Delta y} = \frac{F \cdot \Delta y}{A \cdot \Delta v} \quad \frac{\text{N/m}^2}{(\text{m/s})/\text{m}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{(\text{m/s}) \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

A0019947

Die SI-Einheit für die Dynamische Viskosität η ist die Pascalsekunde ($\text{Pa} \cdot \text{s}$). Weit verbreitet ist noch die Einheit Poise (P), wobei gilt:

$$1 \text{ mPa} \cdot \text{s} = 1 \text{ cP}$$

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$$

Eine Auswahl der geläufigsten Viskositätseinheiten: →  23.

7.1.2 Kinematische Viskosität

Die Kinematische Viskosität ν ist der Quotient aus der Dynamischen Viskosität η einer Flüssigkeit und deren Dichte ρ .

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \frac{(\text{N} \cdot \text{s})/\text{m}^2}{\text{kg}/\text{m}^3} = \frac{(\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 \cdot \text{s})/\text{m}^2}{\text{kg}/\text{m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

A0019950

Die SI-Einheit für die Kinematische Viskosität ist m^2/s , verbreitet ist aber auch die Einheit Stokes (St), wobei gilt:

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 1\,000\,000 \text{ cSt}$$

$$1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt (centiStokes)}$$

Eine Auswahl der geläufigsten Viskositätseinheiten: →  23.

7.2 Differenzierung des viskosen Verhaltens

Man unterscheidet Newton'sche Flüssigkeiten und Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten nach ihrem Viskositätsverhalten bei unterschiedlichen Schergeschwindigkeiten. Bei Newton'sche Flüssigkeiten bleibt das Viskositätsverhalten bei unterschiedlichen Schergeschwindigkeiten gleich. Bei Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten verändert sich das Viskositätsverhalten bei unterschiedlichen Schergeschwindigkeiten.

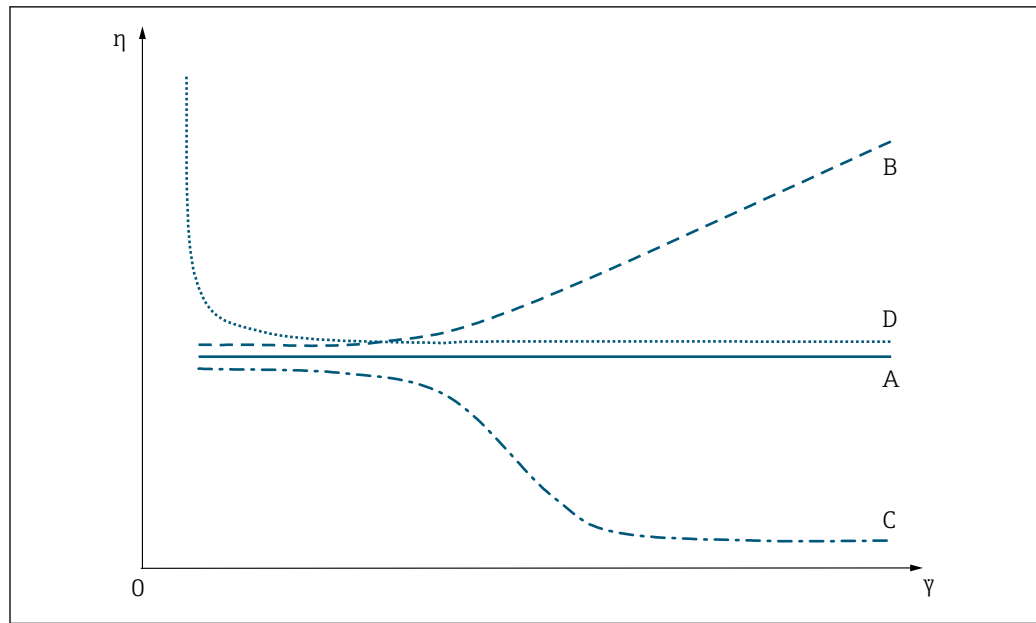
7.2.1 Newton'sche Flüssigkeit

	Beispiel	Viskositätsverhalten bei steigender Schergeschwindigkeit
Merkmal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wasser ■ Schmieröle 	kein Einfluss

7.2.2 Nicht-Newton'sche Flüssigkeit

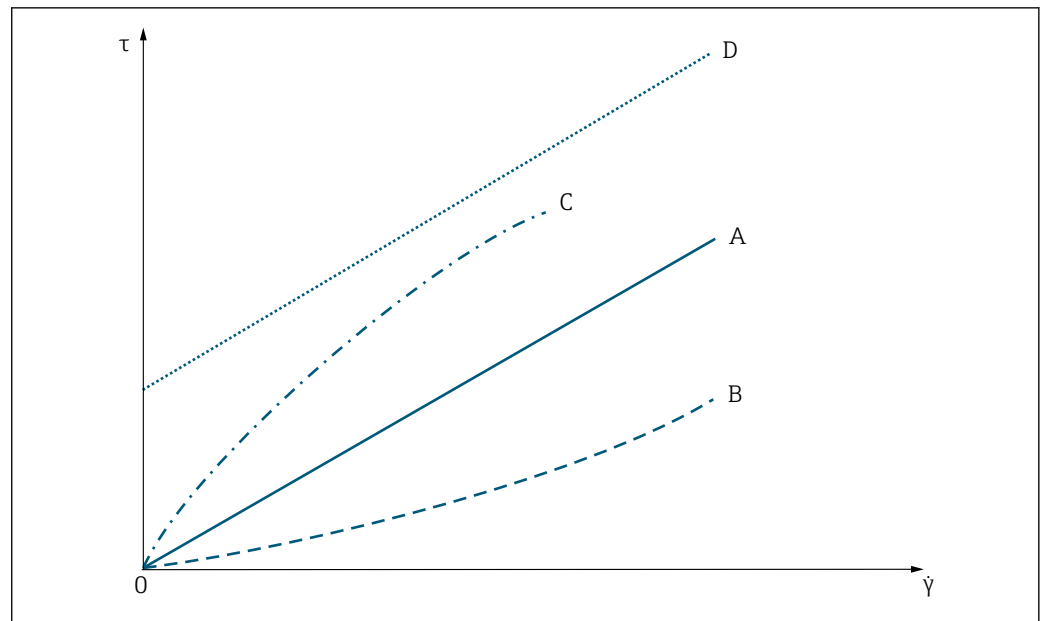
		Beispiel	Viskositätsverhalten bei steigender Schergeschwindigkeit
Zeitunabhängiges Verhalten	Dilatante Flüssigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Konzentrierte Lösungen aus Zucker und Wasser ■ Wasserhaltige Suspensionen aus Reisstärke ■ Nasser Sand 	Steigt
	Strukturviskose Flüssigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gelatine ■ Ton ■ Milch ■ Creme ■ Fruchtsaftkonzentrate ■ Salatsoßen 	Steigt
	Bingham Flüssigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bestimmte Emulsionen ■ Ölfarbe 	Sinkt, verhält sich aber ab einer bestimmten Schergeschwindigkeit wie eine Newton'sche Flüssigkeit
Zeitabhängiges Verhalten	Thixotrope Flüssigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Joghurt ■ Mayonnaise ■ Margarine ■ Speiseeis ■ Farben 	Sinkt, nimmt aber im Ruhezustand wieder den Originalzustand an
	Rheopexe Flüssigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gips suspension in Wasser ■ Druckertinte 	Steigt, fällt im Ruhezustand aber wieder ab

7.2.3 Viskositäts- und Fließkurven



4 Viskositätskurven

- A Viskositätskurve einer Newton'schen Flüssigkeit
- B Viskositätskurve einer dilatanten Flüssigkeit
- C Viskositätskurve einer strukturviskosen Flüssigkeit
- D Viskositätskurve einer Bingham Flüssigkeit
- $\dot{\gamma}$ Schergeschwindigkeit
- η Dynamische Viskosität



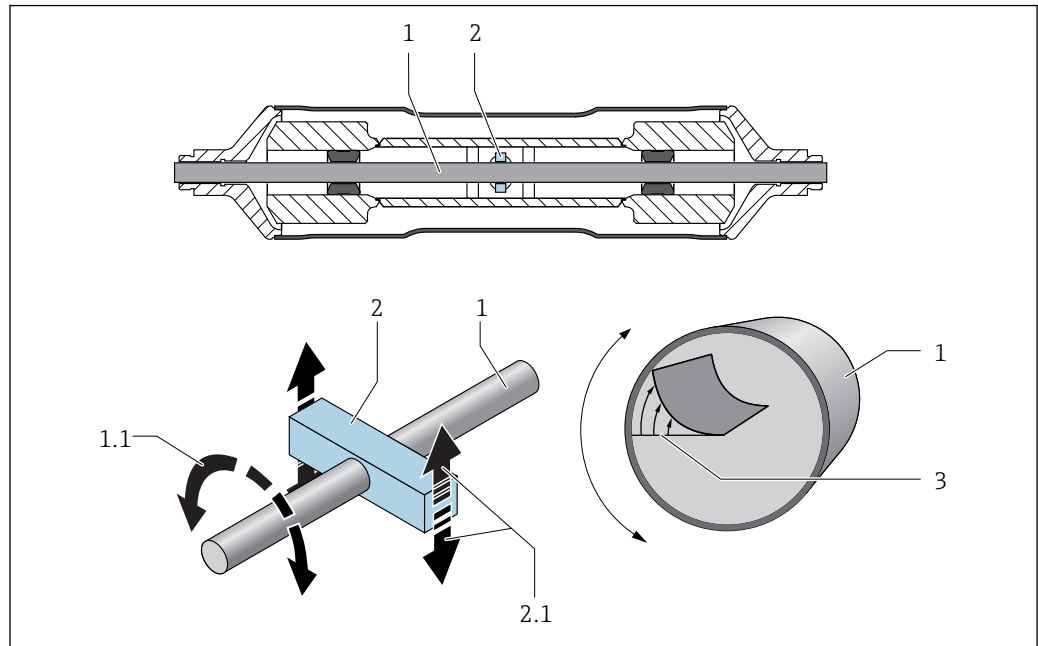
A0032623

5 Fließkurven

- A Fließkurve einer Newton'schen Flüssigkeit
- B Fließkurve einer dilatanten Flüssigkeit
- C Fließkurve einer strukturviskosen Flüssigkeit
- D Fließkurve einer Bingham Flüssigkeit
- $\dot{\gamma}$ Schergeschwindigkeit
- τ Schubspannung

7.3 Prinzip der Viskositätsmessung mit Promass I

Das patentierte Messprinzip basiert auf einer Torsionsbewegung des Messrohrs:



A0032631

- 1 Messrohr
- 1.1 Drehbewegung des Messrohrs
- 2 Drehbalken
- 2.1 Drehbewegung des Drehbalkens
- 3 Geschwindigkeitsprofil im Messstoff

Ein am Messrohr (1) angebrachter "Drehbalken" (2) bewirkt eine Drehbewegung (Torsionsbewegung), welche für die Viskositätsmessung ausgenutzt wird. Diese Torsionsbewegung verursacht über den Rohrquerschnitt ein Geschwindigkeitsprofil im Messstoff (3). Das Geschwindigkeitsprofil ist somit Ausdruck der Viskosität. Da die Viskosität des Messstoffs die Messrohrschwingung dämpft, ist bei höherer Viskosität eine größere Erregerleistung, d.h. Kraft erforderlich, um die Torsionsbewegung aufrecht zu erhalten. Durch das Messen dieser Erregerleistung wird schließlich die dynamische Viskosität bestimmt. Durch die gleichzeitige und unabhängige Erfassung der Messstoffdichte, lässt sich zusätzlich auch die kinematische Viskosität ermitteln.

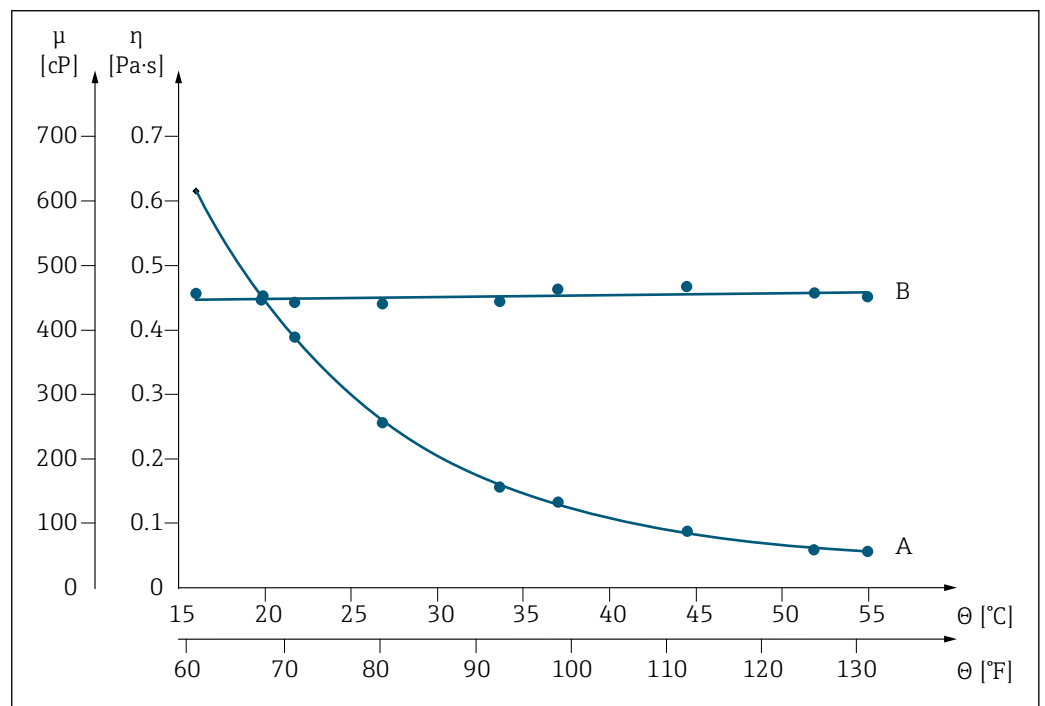
7.4 Temperaturkorrektur des Viskositätswerts

Die Viskosität einer Flüssigkeit hängt von der Messstofftemperatur ab. Im Regelfall sinkt die Viskosität bei steigender Temperatur.

Der Temperatureinfluss wird beim Vergleichen von Labor- und Prozessmessungen deutlich. Die Prozess- und Labortemperatur weichen im Standardfall voneinander ab. Damit beide Messungen vergleichbar sind, kann das Messgerät die Prozessviskosität mit verschiedenen Modellen auf eine Referenztemperatur zurückrechnen. Dafür stehen drei Rechenmodelle zur Verfügung → 22. Zum Einsatz kommt das Modell, bei dem der Viskositätsverhalten die geringste Fehlerabweichungen aufweist → 6, 21.

Das Messgerät berechnet die Temperaturkorrektur des Viskositätswerts auf Basis der Kompensationskoeffizienten X1 und X2 → 8.

In folgendem Beispiel wird die Korrektur der Viskosität auf 20 °C dargestellt:



6 Temperaturkorrektur der Viskosität von Glycerin auf 20 °C

μ, η	Dynamische Viskosität
θ	Temperatur
A	Messwert aus Prozessmessung
B	Berechnete Normviskosität auf 20 °C bezogen

7.5 Formelmodelle zur Temperaturkorrektur

Das Messgerät berechnet die Temperaturkorrektur des Viskositätswerts auf Basis folgender Formelmodelle:

Modelle	dynamische Viskosität η
Potentiell	$\eta_N = \eta \cdot x_1 \cdot (\theta/\theta_{ref})^{x_2}$
Exponentiell	$\eta_N = \eta \cdot x_1 \cdot e^{x_2 \cdot (\theta - \theta_{ref})}$
Polynom	$\eta_N = \eta \cdot [1 + x_1 \cdot (\theta - \theta_{ref}) + x_2 \cdot (\theta - \theta_{ref})^2]$

Modelle	kinematische Viskosität η
Allgemein	$v_N = \eta_N / \rho_N$

η_N	Dynamische Viskosität unter Normal-/Laborbedingungen
η	Dynamische Viskosität bei Prozesstemperatur
x_1	Kompensationskoeffizient X_1
x_2	Kompensationskoeffizient X_2
θ	Prozesstemperatur
θ_{ref}	Referenztemperatur
v_N	kinematische Viskosität unter Normal-/Laborbedingungen
ρ_N	Normdichte



- Bei großen Temperaturdifferenzen zwischen Flüssigkeit und Umgebung kann eine Rohrbeheizung oder -isolation helfen, um Abkühlungseffekte der Flüssigkeit zu vermeiden.
- Sollen mehr als eine Flüssigkeit korrigiert dargestellt werden, sollte die Korrektur extern (z.B. in einem SPS/PLC) durchgeführt werden.

8 Vergleichstabelle für Viskositäten

Centi Poise (cP) (mPa · s) ¹⁾	Poise (P)	DIN-Becher 4 (s) ²⁾	Pascalsekunde (Pa · s) ³⁾	°Engler	Ford-Becher 4 (s) ²⁾
10	0,1	10	0,01	1,83	5
15	0,15	11	0,015	2,32	8
20	0,2	12	0,02	2,87	10
25	0,25	13	0,025	3,46	12
30	0,3	14	0,03	4,07	14
40	0,4	15	0,04	5,33	18
50	0,5	16	0,05	6,62	22
60	0,6	18	0,06	7,93	25
70	0,7	21	0,07	9,23	28
80	0,8	23	0,08	10,54	32
90	0,9	25	0,09	11,86	34
100	1	27	0,1	13,17	37
120	1,2	31	0,12	15,8	43
140	1,4	34	0,14	18,43	48
160	1,6	38	0,16	21,06	54
180	1,8	43	0,18	23,69	58
200	2	46	0,2	26,3	64
220	2,2	51	0,22	28,9	70
240	2,4	55	0,24	31,6	75
260	2,6	58	0,26	34,2	80
280	2,8	63	0,28	36,8	86
300	3	68	0,3	39,4	93
320	3,2	72	0,32	42,1	100
340	3,4	76	0,34	44,7	107
360	3,6	82	0,36	47,4	112
380	3,8	86	0,38	50	119
400	4	90	0,4	52	124
420	4,2	95	0,42	55,1	130
440	4,4	100	0,44	57,6	138
460	4,6	104	0,46	60,4	142
480	4,8	109	0,48	63,0	150
500	5,0	112	0,50	65,8	155
550	5,5	124	0,55	72,4	170
600	6,0	135	0,60	79,0	185
700	7,0	160	0,70	92,1	220
800	8,0	172	0,80	105,2	249
900	9,0	195	0,90	117,8	280
1000	10,0	218	1	131,6	310

- 1) Milli Pascal-Sekunde
 2) Sekunde
 3) Pascal-Sekunde

www.addresses.endress.com
