

ID N° 13059 - M5 DiVA, Constant Rate Measurement

Wasser bei 75°C, 265 Re

Sample/Ref.: **Wasser**

Results at 75,1°C

Viscosity: $\eta_{(506s^{-1})} = 0,3797 \pm 0,0039 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 0,3895 \pm 0,0040 \text{ mm}^2/\text{s}$

Density: $\rho = 0,97476 \pm 0,000038 \text{ g/cm}^3$

Report

• 1. MESSPRINZIP

Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen an einem Zylinder, der sich in einem zylindrischen Messgefäß mit der Probenflüssigkeit befindet. Dabei ist der zylindrische Messkörper über eine Aufhängung mit einem Kraftsensor verbunden. Das Gefäß wird durch die Plattform vertikal bewegt und positioniert. Wird die Plattform nach unten bewegt, so fließt das Probenfluid um den stillstehenden Messzylinder durch den ringförmigen Spalt. Die lineare Strömung entlang der Messkörperoberfläche überträgt dadurch eine Kraft. Das ist die Schubspannung, die genau der Viskosität der Probe entspricht. Eine Relativgeschwindigkeit zwischen den Zylindern fördert parallel ein exakt proportionales Probenvolumen durch den Ringspalt. Das Strömungsprofil ist durch die geometrischen Verhältnisse definiert, Geschwindigkeit, Strömung, Kraft gehorchen wie das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz der Navier-Stokes-Gleichung. M5 DiVA ermöglicht unter Berücksichtigung von Aufhängungs- und Auftriebseffekten sowie der Strömungskinetik die sehr präzise Bestimmung der Viskosität (η). Indem die Viskositätsmessung bei festgelegter Deformation (der Schergeschwindigkeit 506 s^{-1} kommt etwa die Bedeutung von Pumpen, starkem Rühren gleich), wie in dieser Messung, zehn-Mal wiederholt ausgeführt wird, gibt die Standardabweichung der Viskosität (und der Dichte) die Wiederholpräzision an. -- Auf den Messkörper wirken stets durch die Dichte des Probenfluids bedingte Auftriebskräfte. Die Dichte ρ gibt als spezifische Masse die Stoffmenge an, die in einem Volumen vorliegt. Sie ist ebenfalls eine besonders temperaturabhängige Stoffkonstante und wird simultan mittels Auftriebswägung am ruhenden Zylinder-Messkörper bestimmt: Diese hydrostatische Wägung basiert darauf, dass "ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper (Messkörper) um den Betrag leichter erscheint, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt." Damit aus der Auftriebskraft des Messkörpers die Dichte exakt berechnet werden kann, ist das Messkörpervolumen unter den jeweils vorliegenden Bedingungen entscheidend.

- Verglichen mit etablierten Rotationsviskosimeter-Techniken bietet M5 DiVA überhaupt Kohärenz, Integrität und Haltbarkeit, eine deterministische MessTechnik ohne xOberflächeneffekte, xWirbelbildung, xZentrifugalkräfte, xLagerreibung oder xunklare Scher-historien und dazu absolut maximale Ressourceneffizienz. IMETER M5 DiVA-Resultate sind metrologisch rückführbar und kohärent mit Ergebnissen aus Referenzverfahren (Kapillarviskosimeter, Pyknometer). Vgl. Referenz M5 DiVA 'https://imeter.de/?view=article&id=73' - Beispiele & Auftragsmessungen über 'www.imeter.de/?view=article&id=58'

• 2. ÜBERSICHT

Die Viskosität wurde zehn-mal gemessen, die Dichte neun-mal. Messdauer 20 Minuten; Temperaturänderung im Bereich von 74,12 bis 75,17°C.

• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

Zehn Messwerte; Zeitbereich 11 bis 17 min, Temperatur $\Delta T = 0,049 \text{ K}$

Ergebniswert bei 13 min: $\eta_{75,1^\circ\text{C}} = 0,3797 \pm 0,0038 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ bzw. $\pm 1,0\%$ (348,25 K)

Streuung: $\pm 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ mPa}\cdot\text{s}$ absolute bzw. 0,14% relative Standardabweichung

Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

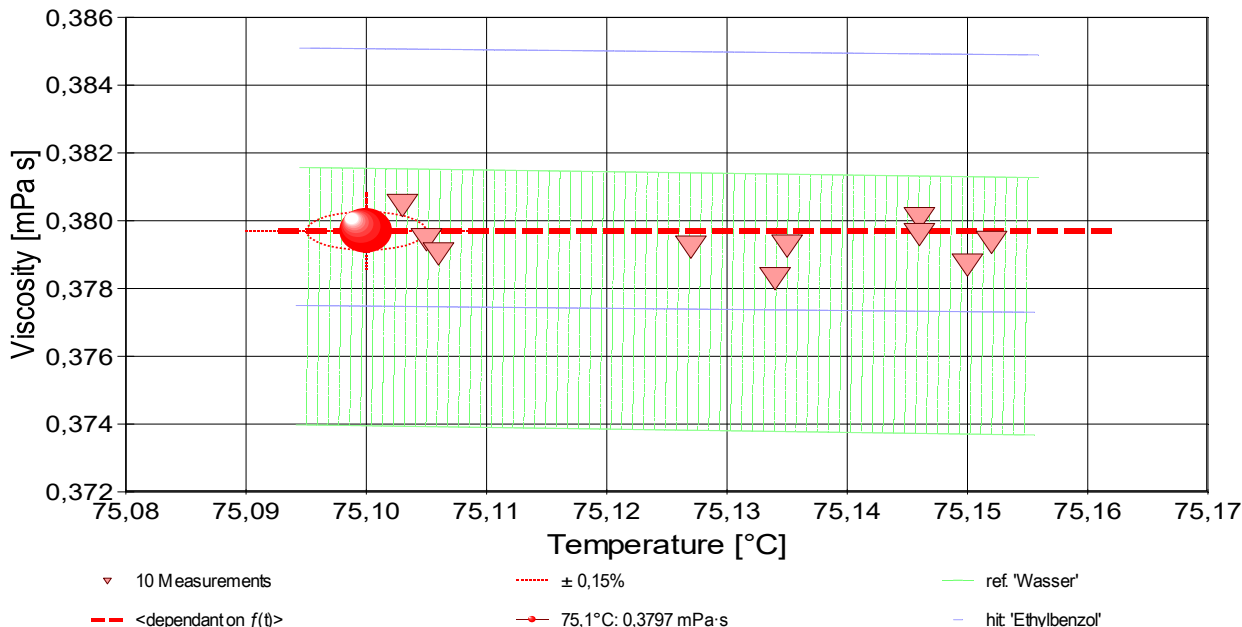
Zeitzusammenhang durch Regression zwischen Minute 11 und 17:

$$\eta(t[\text{min}]) = 0,38125 - 1,268E-4 \cdot t \text{ mit } r^2 = 0,21, s^2 = 3,04E-7$$

Messung bei konstanter Schergeschwindigkeit (CR): $\dot{\gamma} = 506 \text{ s}^{-1}$.

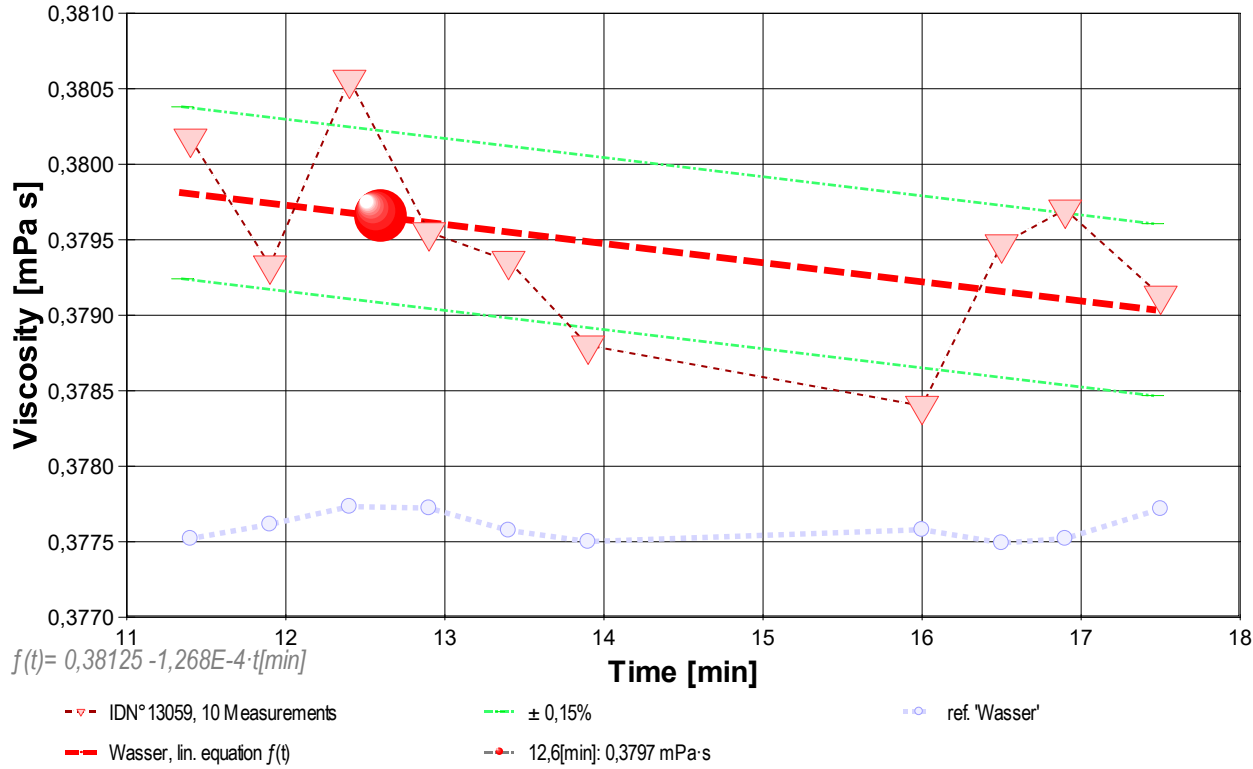
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei ' $r^2=0,21$ ' eine schlechte Korrelation anzeigt). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

- Diagramm 2. Temperaturabhängigkeit der Viskosität - 'eta-Temp.'



- Das Diagramm 2, 'eta-Temp.', zeigt die zehn Viskositätsmesswerte als Dreiecke bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 75,1°C für die Wasser-Probe ist als Kugelmarke abgebildet; der Bereich der Messunsicherheit wird zwischen den beiden feinen Linien ausgewiesen. und in der Breite der Messunsicherheit, der Verlauf der Referenzfunktion von

→ Diagramm 3. Der zeitliche Verlauf der Viskositätswerte - 'eta-Zeit'



Im Diagramm 3, "eta-Zeit", sind die einzelnen Messwerte als Dreiecke in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Bereich der Unsicherheit eingezeichnet. Referenzwerte werden zum jeweiligen Zeitpunkt temperaturgetreu dargestellt.

Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Daten und Ergebnisse der Viskositätsmessung. Weiter unten folgen die Tabellen 2 und 3, wodurch eine vollständige Datenkollektion zu Rückverfolgbarkeit, Diagnose und Überprüfung der Sachverhalte mit diesem Report vorliegt.

Tabelle 1: Daten der Viskositätsmessung

N°	t	θ	η	v _z	F _z	τ	v _{max}	γ̇	Re
IDN°13059	[min]	[°C]	[mPa·s]	[mm/s]	[mN]	[Pa]	[mm/s]	[s ⁻¹]	[Zahl]
1.	11,4	75,146	0,3802	12,25	3,6233	0,1925	98,09	506,45	264
2.	11,9	75,127	0,3793	12,25	3,6154	0,1921	98,09	506,46	265
3.	12,4	75,103	0,3806	12,25	3,6271	0,1927	98,09	506,46	264
4.	12,9	75,105	0,3796	12,25	3,6175	0,1922	98,09	506,45	264
5.	13,4	75,135	0,3794	12,25	3,6157	0,1921	98,09	506,46	265
6.	13,9	75,150	0,3788	12,25	3,6104	0,1918	98,09	506,46	265
7.	16,0	75,134	0,3784	12,25	3,6066	0,1916	98,09	506,46	265
8.	16,5	75,152	0,3795	12,25	3,6167	0,1922	98,09	506,46	264
9.	16,9	75,146	0,3797	12,25	3,6190	0,1923	98,09	506,46	264
10.	17,5	75,106	0,3791	12,25	3,6135	0,1920	98,09	506,46	265

Tabellensymbole: t Zeitpunkt [min], θ Temperatur [°C], η Messwert Viskosität [mPa·s], v_z Beweg- bzw. Relativgeschwindigkeit zwischen Messkörper und Röhre [mm/s], F_z viskositätsbedingte Kraft am Messkörper [mN], τ Schubspannung [Pa], v_{max} maximale Strömungsgeschwindigkeit [mm/s], γ̇ Schergeschwindigkeit [s⁻¹], Re Reynoldszahl.

Tabelle 1 listet die wesentlichen Kennzahlen zu den einzelnen Messungen auf. Die zentrale Messgröße ist in der Spalte F_z angegeben; sie ist die 'rein-viskose' Kraft und zentrale Größe für die Berechnung der Viskosität durch die IMETER-Ringspaltgleichung. Sie wird nach Korrekturen aus der stationären Kraft (F_w) erhalten. Berücksichtigt werden die Auftriebskräfte von Zylinder (F_p) und Aufhängung (F_{hp}), der geschwindigkeitsproportionale Druckverlust durch die kinetische Energie und die Reibung in der Einlaufzone des Ringspaltes (F_ζ), die viskose Reibung der Messzylinder-Aufhängung im Medium (F_{hn}), die rekursiv bestimmt wird. Die reibungsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich aus F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_ζ - F_{hn}. Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt. Die Schubspannung τ entspricht der rein durch die Viskosität des Mediums je Quadratmeter der Zylindermantelfläche ausgeübten Kraft. v_{max} ist die Maximalgeschwindigkeit eines Newton'schen Fluids im Ringspalt relativ zum Messzylinder. Sie ergibt sich aus der Bewegungsgeschwindigkeit und dem geometrischen Aufbau. Die mittlere Geschwindigkeit (nicht in der Tabelle ausgegeben; v_m = v_z·ra²/(ra²-ri²), mit ra Röhrenradius und ri Zylinderradius) wird für die Berechnung der Reynoldszahl benötigt. Re = ρ·v_m· d / η, mit der charakteristischen Länge d, die (wie bei Rohrströmungen) für den Ringspalt aus dem hydrodynamischen Radius mit d = 2(ra-ri) berechnet wird. Die Scherrate, Schergeschwindigkeit oder Deformation γ̇, die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

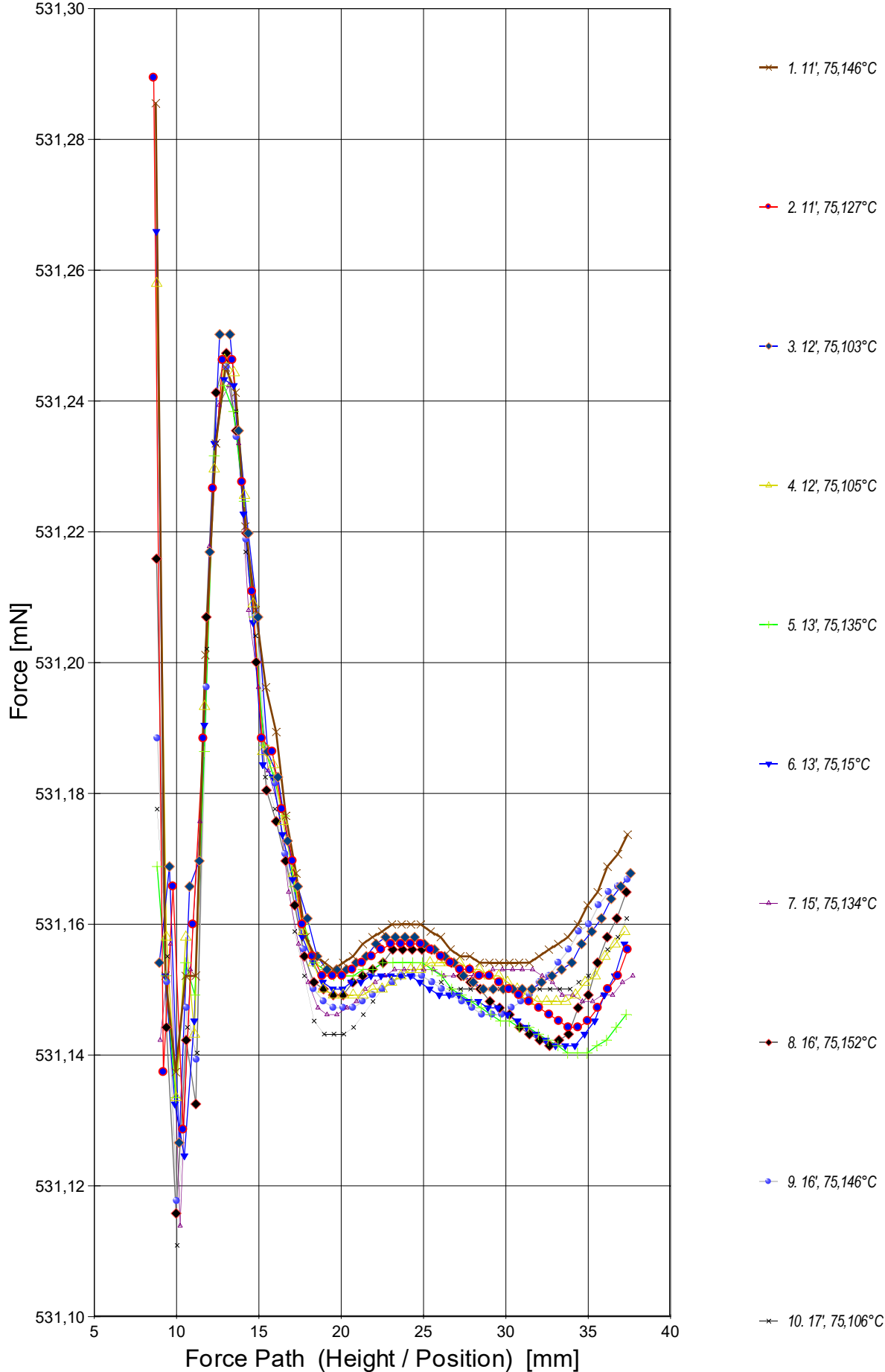
Tabelle 2, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.

N°	F _w	σ _{Fw}	σ _{Fw rel}	F _p	F _{hp}	F _ζ	F _{hn}	N/n
			-- Alle Werteinträge in [mN] --					Datenauswahl
1.	531,1581	0,004310	8,1 ppm	527,0452	0,007364	0,497	3,00E-04	29/62
2.	531,1515	0,004149	7,8 ppm	527,0466	0,007360	0,497	2,99E-04	29/62
3.	531,1550	0,004207	7,9 ppm	527,0383	0,007404	0,497	3,02E-04	29/62
4.	531,1514	0,002382	4,5 ppm	527,0444	0,007347	0,497	2,99E-04	29/62
5.	531,1476	0,005110	9,6 ppm	527,0424	0,007356	0,497	2,99E-04	29/62
6.	531,1478	0,003718	7,0 ppm	527,0479	0,007342	0,497	2,98E-04	29/62
7.	531,1513	0,001903	3,6 ppm	527,0552	0,007416	0,497	3,00E-04	29/62
8.	531,1507	0,005371	10 ppm	527,0444	0,007358	0,497	2,99E-04	29/62
9.	531,1519	0,005598	11 ppm	527,0433	0,007368	0,497	2,99E-04	29/62
10.	531,1505	0,002880	5,4 ppm	527,0475	0,007369	0,497	2,99E-04	29/62

Tabellensymbole: F_w Betrag der gemittelten stationären Kraft bei Bewegung des Zylinders [mN], σ_{F_w} Standardabweichung der Kraftmesswerte des stationären Bereichs [mN], $\sigma_{F_w rel}$ relative Standardabweichung[-], F_p Auftriebskraft des ruhenden Zylinder inkl. Auftrieb der Suspension [mN], F_{hp} Auftriebskraft durch das tauchende Volumen der Suspension [mN], F_ζ Term für den Druckabfall durch die Bildung des Strömungsprofils (Kinetische Energie-Korrektur) [mN], $F_{h\eta}$ Kraftwertmittelwert infolge der Flüssigkeitsreibung an der Suspension [mN], N/n Abtastung: Anzahl verwendeter (N) und '/' Anzahl vorhandener Kraftmesswerte (n) zur Bildung von F_w .

- In der Tabelle 2 sind die Mess- und Zwischenergebnisse zur Bilanzierung der Kräfte zusammengestellt. Die dabei in Betracht gezogene Messwerteauswahl ist in der letzten Spalte 'N/n' angegeben; durch den angewendeten Cutoff-Algorithmus werden Drückstöße und Pendelvorgänge besonders am Messkurvenanfang ausgeblendet (Das Diagramm 4, Force_Path, unterhalb, zeigt eine größere Wertemenge an, als für die Berechnung verwendet wird). Neben den statischen Korrekturen ist mit F_ζ die kinetischen Energie-Korrektur angegeben, die analog zu (Glas-) Kapillarviskosimetern mit dem Faktor ζ der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht: $F_\zeta = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r_i^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

- Diagramm 4. Die 'Kraft-Weg-Rohdaten' - 'Force_Path'



- Diagramm 4, "Force_Path", zeigt die zur Bewegung am Messkörper auftretenden Kräfte. Der Streckenbezug ('Position') gibt den Abstand der Messkörperunterseite vom Podest bzw. Gefäßboden an. -- Von den als Messkurven abgebildeten Daten wird lediglich ein zum Kurvenende hin gelegene Teilmenge zur Bestimmung der stationären Gesamtkraft (F_w) verwendet.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

N°	'Noise' [μPa/mm]	H _{Start} [mm]	L _{cn} [mm]	D _{RSP} [mm]	ΔD _{RSP} [μm]	Ø _{zyl.} [mm]	L _{zyl.} [mm]	Σσ [mPa·s]	Σσ _{rel.}
1.	1,43E-04	4,729	36,333	0,7626	-4,85	14,4818	41,2838	0,0039	1,0%
2.	1,28E-04	4,766	36,309	0,7627	-4,85	14,4818	41,2838	0,0039	1,0%
3.	1,44E-04	4,753	36,493	0,7627	-4,85	14,4818	41,2837	0,0039	1,0%
4.	1,00E-04	4,766	36,125	0,7627	-4,85	14,4818	41,2837	0,0038	1,0%
5.	1,00E-04	4,766	36,211	0,7626	-4,85	14,4818	41,2838	0,0039	1,0%
6.	1,19E-04	4,766	36,113	0,7626	-4,85	14,4818	41,2838	0,0039	1,0%
7.	8,00E-05	4,778	36,603	0,7626	-4,85	14,4818	41,2838	0,0038	1,0%
8.	2,10E-04	4,778	36,211	0,7626	-4,85	14,4818	41,2838	0,0039	1,0%
9.	1,54E-04	4,778	36,297	0,7626	-4,85	14,4818	41,2838	0,0039	1,0%
10.	9,65E-05	4,802	36,211	0,7627	-4,85	14,4818	41,2837	0,0038	1,0%

Tabellensymbole: **Noise** Mittelwert von Auslenkungen und höherfrequenten Lastschwankungen 'Schergredienten Fluktuation' im Kurvenzug der Messkraft bestimmt. Der Wert ist über die Geschwindigkeit und Messkörper-mantelfläche normiert [μPa/mm], **H_{Start}** Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm], **L_{cn}** Länge der Suspension, deren Flüssigkeitsreibung und Auftrieb zur Korrektur der Kraft angewendet wird [mm]. **D_{RSP}** Weite des Ringspalts zwischen Zylindermesskörper und Röhre bei der Temperatur [mm], **ΔD_{RSP}** Änderung der Spaltweite durch Abweichung von der Bezugstemperatur 25°C [μm], **Ø_{zyl.}** Durchmesser des Messzylinders [mm], **L_{zyl.}** Länge des Messzylinders [mm]. **Σσ** Absolute Summe der Unsicherheitsbeiträge, die dem jeweiligen Viskositätswert beigeordnet wird [mPa·s] und **Σσ_{rel.}** relative Unsicherheit des Viskositätsmesswertes.

- Die Spalte 'Noise' in Tabelle 3 stellt die Auswertung der 'Modulationen der stationären Kraft' aus Lastschwankung in aufeinander folgenden Kraftmesswerten im Verhältnis zur dabei zurückgelegten Bewegungstrecke dar (ΔF/Δs); Steigungen im Verlauf der Stationärkraft werden ebenfalls in 'Noise' aufsummiert und bilanziert. Die folgenden Rubriken geben gemessene und berechnete geometrische Gegebenheiten der jeweiligen Messung wieder. Die individuellen Gesamtfehlersummen werden in den beiden letzten Spalten ausgegeben; bei idealer Kalibrierung und konformem Aufbau ist der tatsächlich einzuräumende Gesamtfehler um die bedeutenden Beiträge aus den geometrischen Unsicherheiten vermindert!

• 4. DICHTE - MESSUNG

Neun Messwerte; Zeitbereich 11 bis 17 min, Temperatur ΔT = 0,066 K

Ergebniswert: $\rho_{75,1^\circ\text{C}} = 0,97476 \pm 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 39 \text{ ppm}$ (348,25 K)

Streuung: $3,8 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. **39 ppm** relative Standardabweichung

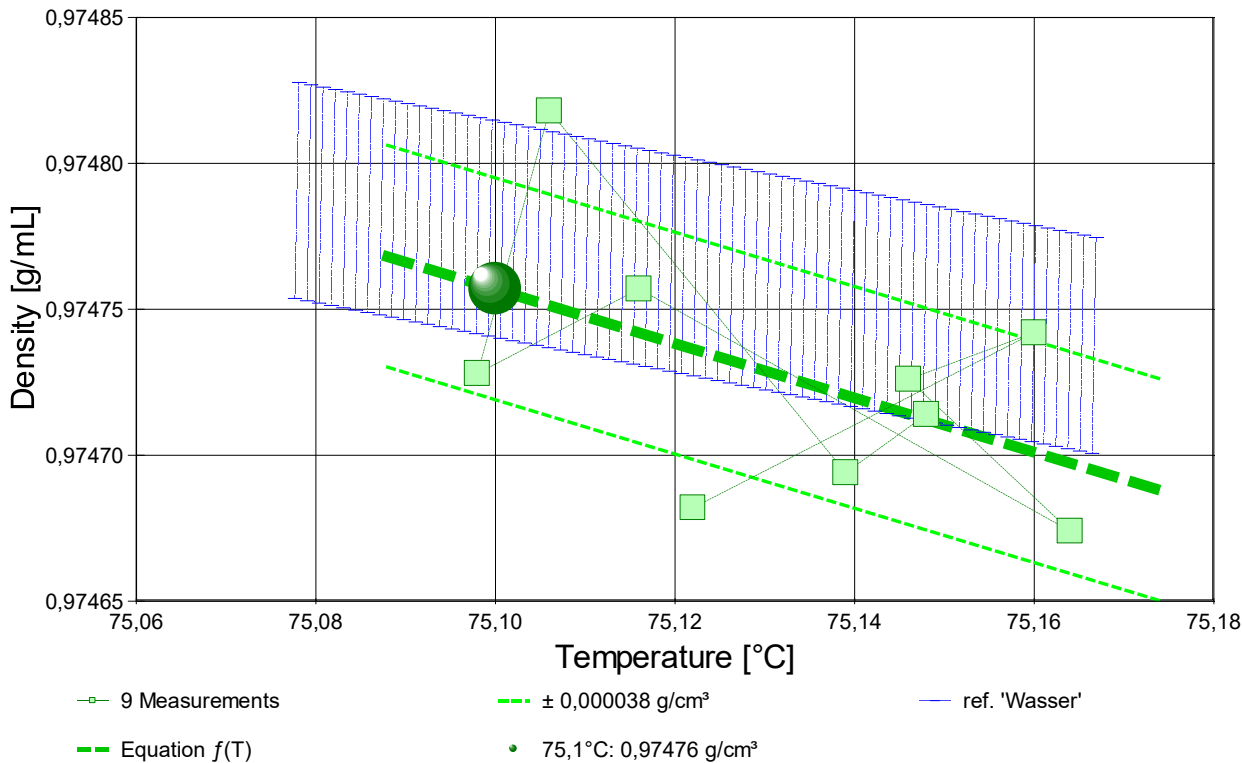
Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Temperaturgleichung zwischen 75,098 und 75,164 °C:

$$\rho [\text{g/cm}^3] = f(\vartheta [^\circ\text{C}]) = 1,04461 - 93,01 \cdot \vartheta / 1\text{E}5 \text{ mit } r^2 = 0,25, s^2 = 1,45\text{E-}9$$

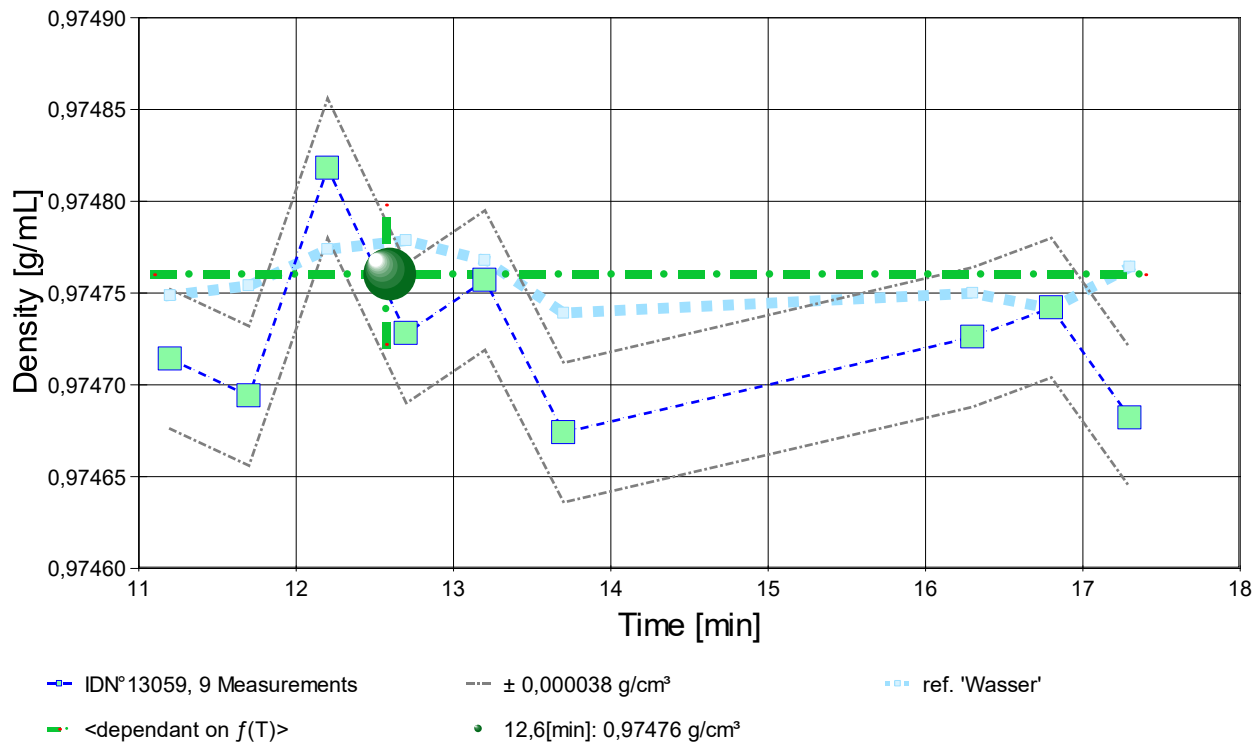
- Die im Vergleich mit dem Wert der Fortpflanzung der Messunsicherheit von $\pm 3,7\text{E-}5 \text{ g/cm}^3$ relativ große Standardabweichung zwischen Gleichung und Messwerten ($\pm 3,8\text{E-}5 \text{ g/cm}^3$) führt dazu, dass die aus der Fortpflanzung der Unsicherheiten berechnete kombinierte Messunsicherheit des Ergebnisses, die gepunktet unterstrichen zum Ergebniswert angegeben ist, durch die Standardmessunsicherheit ersetzt wurde. --- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei ' $r^2=0,25$ ' eine schlechte Korrelation anzeigt). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

- Diagramm 5. Temperaturabhängigkeit der Dichte - 'rho-Temp.'



- Das Diagramm 5, "rho-Temp.", zeigt die neun Dichtemesswerte als Quadratsymbol bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 75,1°C für die Wasser-Probe ist als Kugel abgebildet; der Bereich der Messunsicherheit wird durch gestrichelte Linien ausgewiesen. Der Verlauf der Regressionsfunktion ist als dicke Linie gezeichnet. In Markierungsbreite der Messunsicherheit ist die Referenzfunktion von 'Wasser-' aus der Datenbank abgebildet.

→ Diagramm 6. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - 'rho-Zeit'



- Im Diagramm 6, "rho-Zeit", sind die einzelnen Messwerte als Quadrate in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Bereich der Unsicherheit eingezeichnet.

Tabelle 4: Daten der Dichtemessung

N°	t	ϑ	ρ	H	ω	$\Delta\rho_\omega$	N	F_A	$F_{korr.}$
IDN°13059	[min]	[°C]	[g/cm³]	[mm]	[s]	[g/cm³]	Werte & Trend	[mN]	[mN], TSymb.
1.	11,2	75,148	0,97471	4,549	0,0	0	1	527,045	-
2.	11,7	75,139	0,97469	4,549	0,0	0	1	527,047	-
3.	12,2	75,106	0,97482	4,549	0,0	0	1	527,038	-
4.	12,7	75,098	0,97473	4,549	0,0	0	1	527,044	-
5.	13,2	75,116	0,97476	4,549	0,0	0	1	527,042	-
6.	13,7	75,164	0,97467	4,549	0,0	0	1	527,048	-
[7.	14,7	75,081	0,97457	4,549	0,0	0	1	527,055	-]*
8.	16,3	75,146	0,97473	4,549	0,0	0	1	527,044	-
9.	16,8	75,160	0,97474	4,549	0,0	0	1	527,043	-
10.	17,3	75,122	0,97468	4,549	0,0	0	1	527,048	-

*[Die Messung N° 7 wurde durch den Prüfer von den Resultaten ausgenommen.]

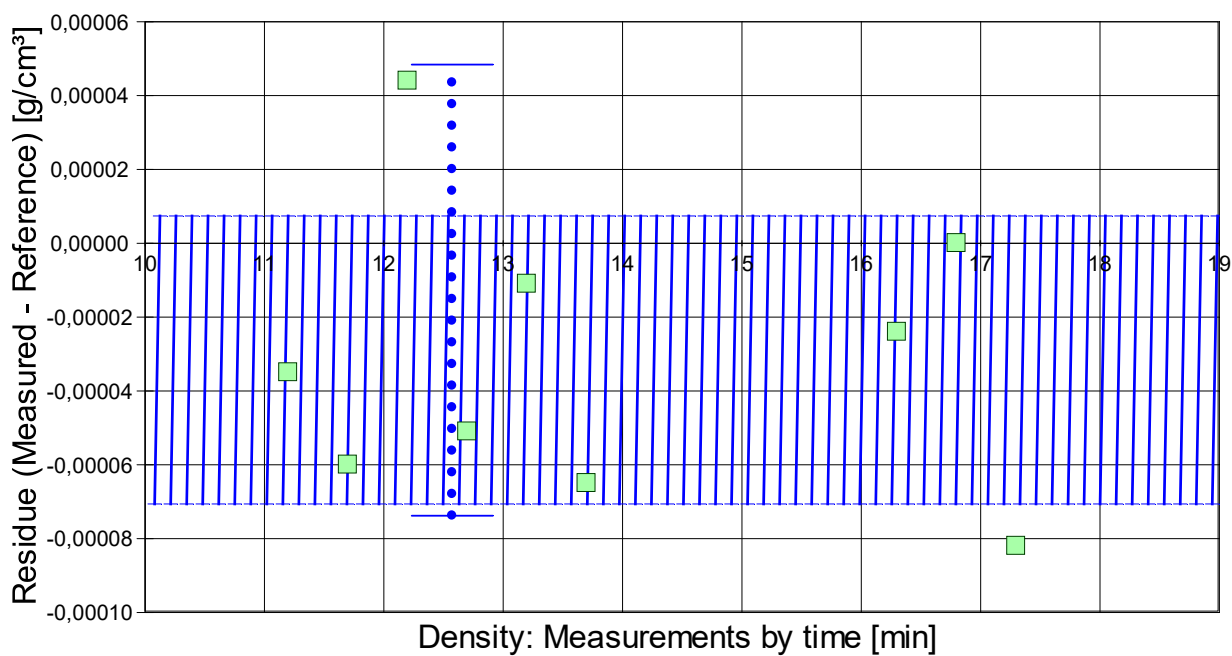
Tabellensymbole: t Zeitpunkt [min], ϑ Temperatur [°C], ρ Dichte [g/cm³], H Positionshöhe der Messkörperunterkannte über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], ω Beobachtungsdauer der aufgezeichneten Auftriebsmessung [s], $\Delta\rho_\omega$ Standardabweichung der Dichtewerte in der Beobachtungszeit [g/cm³], N Anzahl Auftriebsmesswerte ggf. mit Wägewertezahl und Trend anzeigenden Symbolen, F_A Gewicht des Messkörpers in der Probe (Roh-wert der Auftriebskraft) [mN], $F_{korr.}$ konstante Korrekturkraft [mN].

- Die 'Nullhöhe' ist die vertikale Position zu der der Messkörper just auf dem Gefäßboden oder Podest steht (H=0mm).

• 5. REFERENZ VERGLEICH

Beurteilung von Viskositäts- und Dichtemessungen anhand der Residuen: Die Differenzen zwischen Messwerten und zur jeweiligen Temperatur berechneten Sollwerten des Referenzeintrags Wasser wird in den Diagrammen unten dargestellt. Die Abbildung der Differenzwerte entspricht der zeitlichen Abfolge der Messwerte. Unterhalb zeigt eine tabellarische Aufstellung den Vergleich zum angegebenen Ergebnis; dieser folgt eine Liste mit Stoffnamen aus der Datenbank mit vergleichbaren Werten.

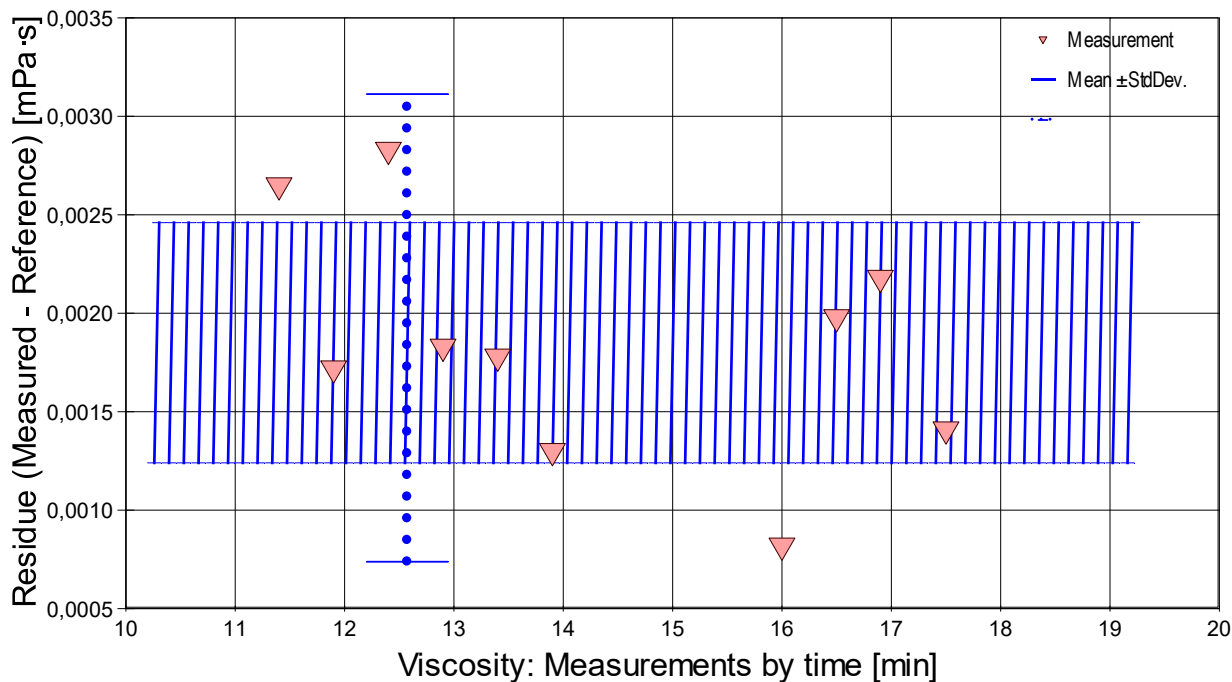
- **VORSICHT** Die Bedeutung des automatischen Vergleichs mit jeweiligen Referenzwerten ist völlig von der Richtigkeit und Präzision der hinterlegten Stoffdaten abhängig. → Diagramm 6. Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'



Reference values for 'Wasser' acc. to $f(T[^\circ\text{C}])=(99983.952+ 1695.2577\cdot T -0.79905127\cdot T^2 -4.6241757\text{E-}3\cdot T^3 +1.0584601\text{E-}5\cdot T^4 - 2.8103006\text{E-}8\cdot T^5) / (1\text{e}5+ 1688.7236\cdot T)$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $-3,16\text{E-}05 \pm 3,9\text{E-}05 \text{ g/cm}^3$, relative: -32 ppm at a spread of 40 ppm

- Das Chart N°7, "rho-Residuen", zeigt temperaturkompensierte Abweichungen der einzelnen Dichtemesswerte zum jeweiligen Wert des Referenzwertes in der zeitlichen Sequenz der Messung. In der Diagrammunterschrift ist die Berechnungsfunktion der Referenzwerte angegeben sowie das mittlere Residuum und die Standardabweichung der Residuen, die im Diagramm schraffiert eingezeichnet ist.

- Diagramm 7. Referenzabweichung der Viskositätsmesswerte - 'eta-Residuen'



Reference values for 'Wasser' acc. to $f(T[^\circ\text{C}])=37.1941\cdot \text{EXP}(1.35960\text{E+}11/(273.15+T)^4 - 1.44585\text{E+}09/(273.15+T)^3 + 6.04736\text{E+}06/(273.15+T)^2 - 1.02607\text{E+}04/(273.15+T))$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $0,00185 \pm 6,1\text{E-}04 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, relative: $+0,49\%$ at a spread of $0,16\%$

- Das Chart N°8, "eta-Residuen", zeigt temperaturkompensierte Abweichungen der einzelnen Viskositätsmesswerte zum jeweiligen Wert des 'besten Treffers' in der zeitlichen Sequenz der Messung. In der Diagrammunterschrift ist die Berechnungsfunktion der Referenzwerte angegeben sowie das mittlere Residuum und die Standardabweichung der Residuen, die im Diagramm schraffiert eingezeichnet ist.

• 5.1 Ergebnisvergleich mit der Referenz Wasser bei 75,1°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
ρ	0,9747774	0,97476	-1,7E-05 g/cm ³	20 ppm	@
$-\Delta\rho/\Delta T$	5,981175E-04	9,3E-04	3,3E-04 g/cm ³ ·K ⁻¹	60%	9

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
η	0,3777	0,3797	0,0020 mPa·s	0,5%	0,5

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'WASSER' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied Δ wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol η steht für die Messgröße; " Δu " ist die Messabweichung im Verhältnis zur Messunsicherheit.

• 5.2. Referenzwerte zu Dichte und Viskosität

--- DICHTE --- REFERENZEN ----- (g/cm ³) ----- ABWEICHUNG ---- REF. ID -----			
1. Wasser ¹	0,9747774	+21 ppm	ID136.5
2. Methylformiat ²	0,9672 (25°C)	-0,78%	ID74.8
3. 2-Nitropropan ²	0,9835 (25°C)	+0,90%	ID84.2
4. Genapol C070 ¹	0,94044	-3,5%	ID1385.6
5. Tetralin ¹	0,9293	-4,7%	ID104.6
6. XIAMETER PMX200 - 60.000 ¹	0,92832	-4,8%	ID1414.6
7. Tetralin 97+ ¹	0,925317	-5,1%	ID1423.1
8. Pyridin ¹	0,9237	-5,2%	ID96.3

--- VISKOSITÄT ----- (mPa·s) ----- ABWEICHUNG ---- REF. ID -----			
1. Ethylbenzol ¹	0,381	+0,42%	ID195.1
2. Wasser (>40°) ¹	0,3778	-0,50%	ID1133.6
3. Wasser ¹	0,3777	-0,53%	ID1174.2
4. Wasser (40-100°C) ¹	0,376	-0,92%	ID1173.3
5. Butylacetat ¹	0,385	+1,4%	ID152.2
6. Mesityloxid ¹	0,390	+2,7%	ID111.8
7. Nitromethan ¹	0,391	+2,8%	ID19.0
8. 1-brombutan ¹	0,493	+30%	ID91.6

¹Wert für 75,1°C berechnet. Stoffdaten nur aus dem Referenzdatenbestand Die Liste wird in fallender Reihenfolge der Übereinstimmung aus den besten Treffern in den Einträgen der Referenzdatenbank generiert. Die Vergleichsdaten werden in der Präzision der jeweiligen Eintragsangabe formatiert und die relative Abweichung zum Angabewert der Messung angegeben.

• 6. ANGABEN ZUR KONFIGURATION

a). **Messkörper:** Name *IStahl14.5/PA*, b). IdentN° 7014, c). Spaltweite 0,767 mm.

d). **Mess- und Auswertungsverfahren:** Standard. e). Konfigurationstyp DiVA-B (II+).

f). **Messkörperdaten:** Messzylindermasse 54,1632 ±0,0002 g, ~volumen 6,912689 ±2,6E-4 cm³, ~durchmesser 14,47 ± 0,01 mm, ~länge 41,25 ±0,01 mm.

kub. Ausdehnungskoeff. $\kappa [10^{-6}K^{-1}] = f(\vartheta[°C]) = 50,873 - 0,18583 \cdot \vartheta + 3,8490 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 - 1,9601 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta^3$

Nicht tauchendes Gewicht am Messzylinder (Lastträger, Haltekonus) 6,3226 g. g). **Messzylindersuspension:** Querschnitt 0,021 mm², Umfang 0,515 mm, h). Aufhängungsart: fixierte Verbindung.

i). **Behälter/Röhre:** Durchmesser 16,005 ±0,005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient $8 \cdot 10^{-6}K^{-1}$.

j). **Bezugstemperatur:** für Abmessungen und Ausdehnungskoeffizienten 25°C.

k). **Kinetische Energie:** Faktor Zeta: $\zeta = 1,358$.

Individuelle Werte: l). Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: 82,6 mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: 41,4 mm.

m). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 1,0% bestimmt; die n). Messunsicherheit der Dichte ±0,000038 g/cm³ stammt von der Varianz der Regressionsfunktion.

- **Die Messunsicherheit** des einzelnen Viskositätsmesswertes wird aus den folgenden Unsicherheitsquellen bestimmt: 1.: der geometrischen Toleranzangaben zu Messkörperdurchmesser, 2.: zur Länge und 3.: zum Radius des Gefäßes. Individuell aus 4.: der Standardabweichung der Messkraft ($\sigma_{F1/2}$), 5.: der Exzentrizität pauschal zu 0,5% (v.M.), 6.: der Unsicherheit der Kalibrierung zu 0,5% (v.M.), 7.: der Geschwindigkeitsangabe zu 0,1% , 8.: pro Grad Temperaturmessunsicherheit werden 5% (v.M.) angesetzt. - Die Gesamtunsicherheiten einer Messung wird aus der Wurzel der Quadratesumme der Einzelunsicherheiten berechnet; diese sind summarisch zu jeder Einzelmessung angegeben in der Spalte σ_n von Tabelle 3, Detaildaten zur Viskositätsmessung II., und in den jeweiligen Diagrammen eingezeichnet.

Temperaturangaben beziehen sich auf die Skala der ITS-90. **Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen bzw. Varianzen qualifiziert. Diese Angaben werden berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu jeweils berechneten Funktionswerten dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für ±(Standardmess-)Unsicherheiten einfache Standardabweichungen - ohne Erweiterungsfaktoren - angegeben, d.h. die Überdeckung betrifft 67% der Werte.

Programm

Data created during execution of the IMPro "DiVA-B-Probenwechsel", type 5/0. Benutzerabbruch in Zeile N°240.)

(the digital twin of process IDN°13059 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Wägeeinheit (WZ224-CW) wurde zuletzt acht Tage vor dieser Messung von *Labor* justiert.

IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} 1,11531 kg/m³; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s².

Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001[K], Messunsicherheit ±0,01[K], R° 100,0018[Ohm], AutoCal 10[min] (BN° 3, -10/100°C, 7S, FS15, Offset: -0,005). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 6.1.40, LizenzN° *3037-4759*, W. 5.1- Betriebssystem auf PC Ser.N°1480456102 (H, DIE PLATTE#).

Kommentar/Bewertung/Interpretation:

Das Force-Path - Diagramm zeigt sehr schön die Entwicklung von Turbulenz aus einem homogenen Ausgangszustand ($Re > 232$). Die Messwerte streuen kaum.

"Nachtägliche Anmerkungen" sind Anmerkungen, die nach Abschluss des Messablaufs angefügt wurden.