



IMETER V.5.6 rev.8

automatic Report (8B59F8W16312B), IMETER

ID N° 15269 - DiVA-Method: Constant Rate Measurement

(kurz vor Messung durch Ausheizen entgast um Blasenbildung zu vermeiden)

Sample/Ref.: **Wasser**

----- Results at 25,0°C -----

Viscosity: $\eta_{(100/s)} = 0,888 \pm 0,01 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 0,890 \pm 0,01 \text{ cSt}$

Density: $\rho = 0,99706 \pm 0,000068 \text{ g/cm}^3$

Report

Autogener Prüfbericht mit Erklärungen. Diese sind formatiert wie dieser Text. Nachfolgend eine Erklärung zum Prinzip der Messung:

• 1. MESSPRINZIP

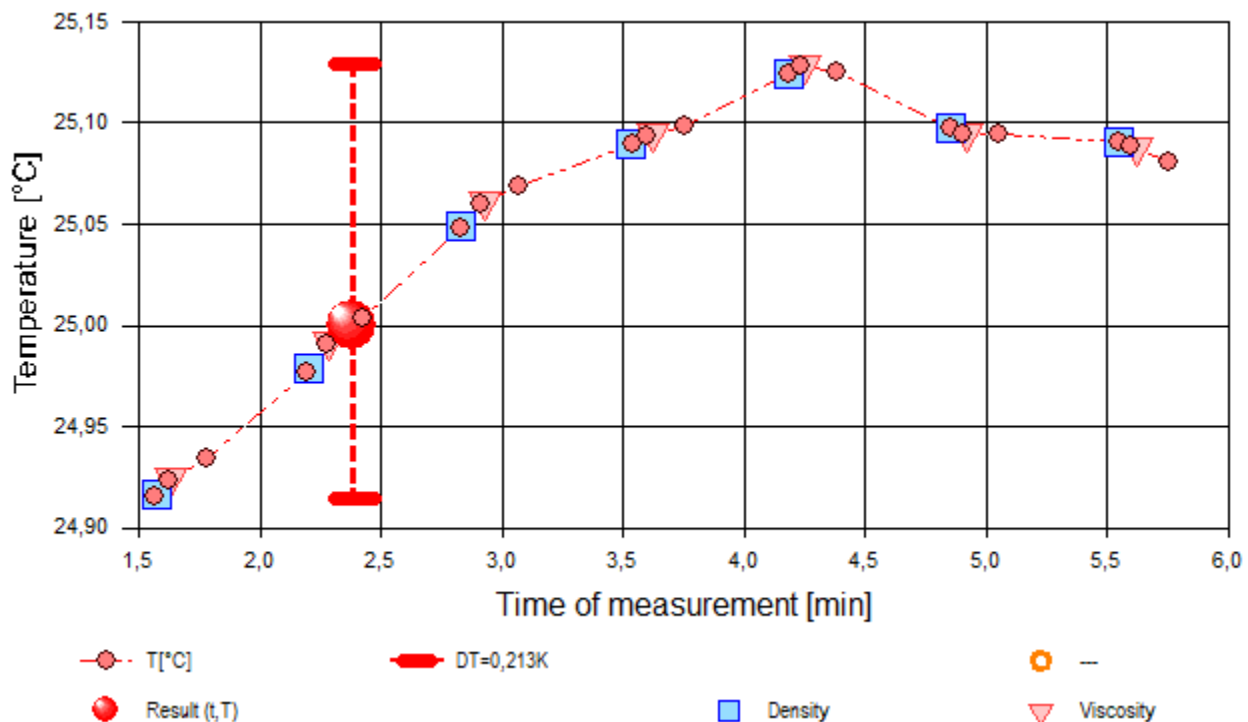
Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen an einem zylindrischen Körper, der sich konzentrisch in einem Rohr zusammen mit der flüssigen Probe befindet. Dabei ist der zylindrische Messkörper über eine Aufhängung mit der Wägezelle verbunden. Das Rohr ist durch die Plattform vertikal positionierbar. Wird die Plattform bewegt, so fließt Probe durch den ringförmigen Spalt zwischen Messkörper und Röhre. Dadurch wirkt auf den Messkörper eine zusätzliche Kraft, die durch die Zähigkeit des Probenfluids hervorgerufen wird. - Über die Bewegungsgeschwindigkeit ergibt sich aus der Geometrie von Röhre und Messzylinder eine entsprechende Zwangsströmung durch den Ringspalt. Strömung, Kraft, Geschwindigkeit und geometrische Verhältnisse gehorchen der analogen Form des Hagen-Poiseuille'schen Gesetzes für Ringspalte und erlauben unter Berücksichtigung von Aufhängung, Auftriebseffekten und der Strömungskinetik eine ungewöhnlich exakte Bestimmung der absoluten Viskosität normaler Fluide. Indem die Viskositätsmessung bei gleichbleibender Deformation (der Schergeschwindigkeit 100 /s kommt etwa die Bedeutung von *leichtem Pumpen, Auftragen* gleich), wie in dieser Messung, sieben-Mal wiederholt ausgeführt wird, gibt die Standardabweichung der Viskosität (und der Dichte) die Wiederholpräzision an. Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte ρ (*spezifische Masse, Massekonzentration*) gibt die Stoffmenge an, die in einem bestimmten Volumen vorliegt. Sie ist ebenfalls eine temperatur- und druckabhängige Stoffkonstante. Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit wurde hier simultan (sequenziell) 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 die Bestimmtheit des von Temperatur und Druck abhängenden Messkörpervolumens entscheidend - entsprechendes gilt hinsichtlich der geometrischen Verhältnisse und der Geschwindigkeit für die Viskositätsmessung -

IMETER M5 DiVA-Messungen sind rein metrologisch, rückführbar und kohärent mit Referenzverfahren für Glaskapillarviskosimeter, Hydrometer oder Pyknometer. Referenz M5 DiVA 'https://imeter.de/?view=article&id=73'

• 2. ÜBERSICHT

Dichte und Viskosität wurden sieben-mal gemessen. Messdauer sechs Minuten; Temperaturänderung im Bereich von 24,92 bis 25,13°C.

-> Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 't/T-Protokoll'



- Mit Diagramm 1. ('t/T-Protokoll') wird eine Übersicht gezeigt, die den Temperaturverlauf in der Messung und eine Zusammenfassung der Vorgänge anzeigt. -- Die Kreismarkierungen zeigen Temperaturmesswerte an; die blauen Quadrate stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Dichtemessungen, rote Winkel für Viskositätsmessungen.

• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

Sieben Messwerte; Zeitbereich 2 bis 6 min, Temperatur $\Delta T = 0,204$ K

Ergebniswert: $\eta_{25^\circ\text{C}} = 0,8876 \pm 0,0087$ mPa·s bzw. $\pm 0,98\%$ (298,15 K)

Streuung: $\pm 7,7 \cdot 10^{-4}$ mPa·s absolute bzw. 870 ppm relative Standardabweichung

Berechnung: lineare Regressionsgleichung, eher temperaturabhängig.

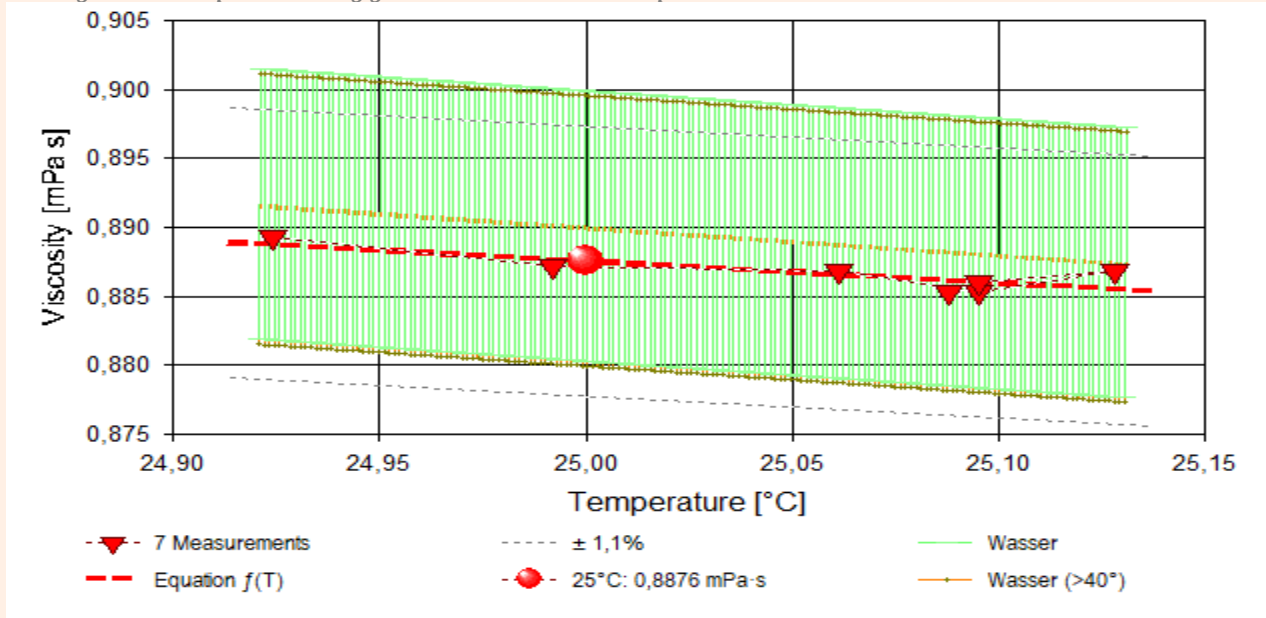
Temperaturabhängigkeit zwischen 24,924 und 25,128 °C:

$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = f(\vartheta[\text{°C}]) = 1,2817 - 0,01576 \cdot \vartheta \quad \text{mit } r^2=0,68, \quad s^2=5,91\text{E-}7$$

Messung bei konstanter Schergeschwindigkeit (CR): $\dot{\gamma} = 100$ s⁻¹.

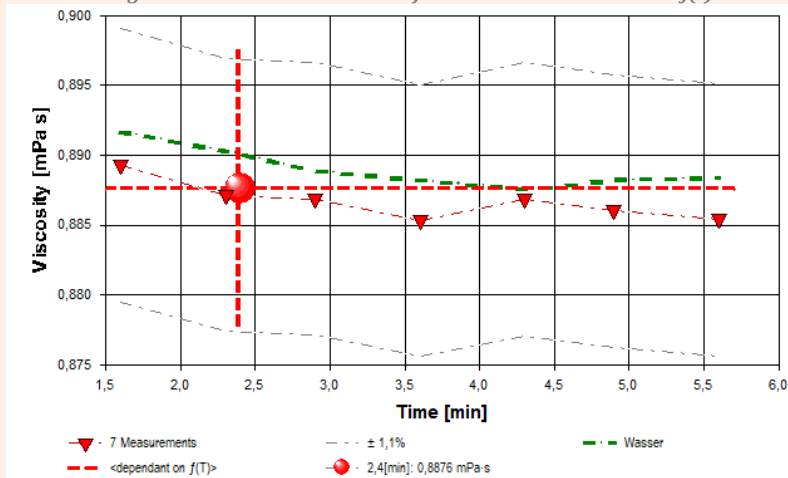
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei ' $r^2=0,68$ ' eine schlechte 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 sieben Viskositätsmesswerte als Dreiecke bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 25°C für die Wasser-Probe ist als Kugelmarke abgebildet; der Bereich der Messunsicherheit wird zwischen den beiden feinen Linien ausgewiesen. Der Verlauf der Regressionsfunktion ist als dicke gestrichelte Linie gezeichnet, und in der Breite der Messunsicherheit, der Verlauf der Referenzfunktion von 'Wasser-' (aus der Datenbank) und zum Vergleich der Wertebereich der ähnlich viskosen Substanz 'Wasser (>40°)'.

- Diagramm 3. Der zeitliche Verlauf der Viskositätswerte - 'eta-f(t)'



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

Tabelle 1: Daten der Viskositätsmessung

Die gegebenen Zusammenhänge beruhen auf Ableitungen der ermittelten Messdaten - Tabelle 1 stellt dazu Eingangs- und Ergebnisdaten zur Verfügung. Weiter unten folgen die Tabellen 2 und 3, wodurch eine vollständige Datenkollektion zu Rückverfolgbarkeit, Diagnose und Überprüfung der Berechnungen in diesem Report vorliegt.

| N° | t [min] | θ [°C] | η [mPa·s] | v _z [mm/s] | F _z [mN] | τ [Pa] | v _{max} [mm/s] | γ' [s ⁻¹] | Re [Zahl] |
|----|---------|--------|-----------|-----------------------|---------------------|---------|-------------------------|-----------------------|-----------|
| 1. | 1,6 | 24,924 | 0,8893 | 3,032 | 1,5268 | 0,08889 | 21,72 | 99,956 | 28,7 |
| 2. | 2,3 | 24,992 | 0,8872 | 3,032 | 1,5231 | 0,08868 | 21,72 | 99,957 | 28,8 |
| 3. | 2,9 | 25,061 | 0,8869 | 3,032 | 1,5227 | 0,08865 | 21,72 | 99,958 | 28,8 |
| 4. | 3,6 | 25,095 | 0,8853 | 3,032 | 1,5200 | 0,08849 | 21,72 | 99,959 | 28,9 |
| 5. | 4,3 | 25,128 | 0,8868 | 3,032 | 1,5227 | 0,08865 | 21,72 | 99,959 | 28,8 |
| 6. | 4,9 | 25,095 | 0,886 | 3,032 | 1,5212 | 0,08856 | 21,72 | 99,959 | 28,8 |
| 7. | 5,6 | 25,088 | 0,8854 | 3,032 | 1,5201 | 0,0885 | 21,72 | 99,958 | 28,9 |

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], γ' 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_ρ) 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_η), die rekursiv bestimmt wird. Die viskositätsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich damit aus F_z = F_w - F_ρ - F_{hp} - F_ζ - F_η. 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 des Newton'schen Fluids im Ringspalt relativ zum Zylinder. 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 γ', die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

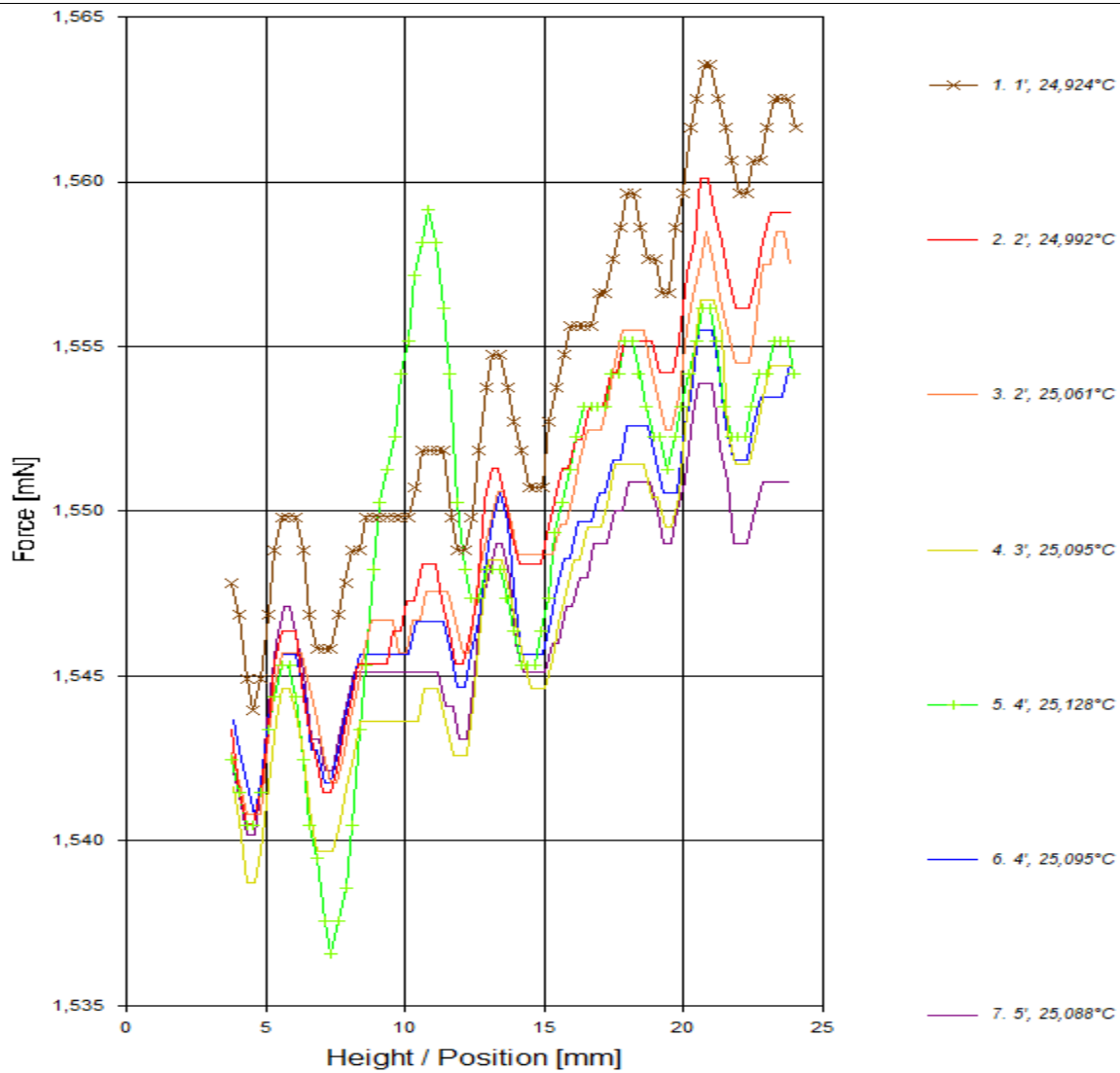
Tabelle 2, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.

| N° | F _w | σ _{Fw} | σ _{Fw rel} -- Alle Werteinträge in [mN] -- | F _ρ | F _{hp} | F _ζ | F _η | N/n Datenauswahl |
|----|----------------|-----------------|--|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|
| 1. | 414,5122 | 0,0054 | 13 ppm | 412,9585 | 0,0030 | 0,0239 | 0,0001 | 83/89 |
| 2. | 414,5120 | 0,0056 | 13 ppm | 412,9619 | 0,0030 | 0,0239 | 0,0001 | 83/89 |
| 3. | 414,5112 | 0,0051 | 12 ppm | 412,9616 | 0,0029 | 0,0239 | 0,0001 | 83/89 |
| 4. | 414,5107 | 0,0048 | 12 ppm | 412,9637 | 0,0029 | 0,0239 | 0,0001 | 82/88 |
| 5. | 414,5106 | 0,0056 | 14 ppm | 412,9609 | 0,0030 | 0,0239 | 0,0001 | 83/89 |
| 6. | 414,5088 | 0,0039 | 9,4 ppm | 412,9606 | 0,0029 | 0,0239 | 0,0001 | 82/88 |
| 7. | 414,5103 | 0,0033 | 8,0 ppm | 412,9632 | 0,0029 | 0,0239 | 0,0001 | 82/88 |

Tabellensymbole: F_w Betrag der gemittelten stationären Kraft bei Bewegung des Zylinders [mN], σ_{Fw} Standardabweichung der Kraftmesswerte des stationären Bereichs [mN], σ_{Fw rel} relative Standardabweichung[-], F_ρ 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_η 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 Messwertauswahl ist in der letzten Spalte 'N/n' angegeben; durch den angewendeten Cutoff-Algorithmus werden Drückstöße und Pendelvorgänge besonders am Messkurvenanfang ausgeblendet (Das Diagramm 4, eta-Raw (M), 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_ζ = 1/2·ρ·π·r²·v_m²·ζ

- Diagramm 4. Die 'Kraft-Weg-Rohdaten' - 'eta-Raw (M)'



- Diagramm 4, "eta-Raw [M]", zeigt die zur Bewegung am Messkörper auftretenden Kräfte nach Korrektur durch den Messzylinderauftrieb. 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 Kraft (F_z) verwendet. Sofern ein instationärer (d.h. ein nicht waagerechter) Verlauf angezeigt wird, kann diese Abweichung von der Idealform als Symptom folgender Ursachen gedeutet werden: es liegt ein Temperaturgefälle vor, die Probe ist vertikal inhomogen (geschichtet), mehrphasig, ... oder die Probe scherverflüssigt / -verfestigt bewegzeitabhängig im Ringspalt. Das Gesamtvolumen im Ringspalt von 1,75 cm³ wird über die Wegstrecke von 10,9 mm komplett ausgetauscht. - Ein waagerechter Verlauf im rechten Kurventeil kennzeichnet eine valide Viskositätsmessung.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

| N° | Noise [µN/mm] | H _{Start} [mm] | L _{Cl} [mm] | D _{RSP} [mm] | ΔD _{RSP} [µm] | Ø _{zyl.} [mm] | L _{zyl.} [mm] | Σσ [mPa·s] | Σσ _{rel.} |
|----|------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|--------------------|
| 1. | 3,33 | 2,675 | 22,254 | 0,8541 | 5,15E-3 | 14,2929 | 43,0019 | 0,0099 | 1,1% |
| 2. | 3,00 | 2,696 | 22,108 | 0,8541 | 5,42E-4 | 14,2929 | 43,0020 | 0,0099 | 1,1% |
| 3. | 3,06 | 2,675 | 22,081 | 0,8541 | -4,13E-3 | 14,2929 | 43,0020 | 0,0098 | 1,1% |
| 4. | 3,05 | 2,693 | 22,093 | 0,8541 | -6,44E-3 | 14,2929 | 43,0021 | 0,0097 | 1,1% |
| 5. | 4,43 | 2,678 | 22,226 | 0,8541 | -8,67E-3 | 14,2929 | 43,0021 | 0,01 | 1,1% |
| 6. | 2,87 | 2,693 | 22,029 | 0,8541 | -6,44E-3 | 14,2929 | 43,0021 | 0,0095 | 1,1% |
| 7. | 2,83 | 2,702 | 22,035 | 0,8541 | -5,96E-3 | 14,2929 | 43,0021 | 0,0094 | 1,1% |

Tabellensymbole: *Noise* Mittelwert der höherfrequenten Lastschwankungen 'Rauheit' im Kurvenzug der Messkraft [µN/mm], *H_{Start}* Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm], *L_{Cl}* 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 ($\Delta F/\Delta s$); 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. DICHT E - MESSUNG

Sieben Messwerte; Zeitbereich 2 bis 6 min, Temperatur $\Delta T = 0,208$ K

Resultat bei 2,4 min: $\rho_{25^\circ\text{C}} = 0,99706 \pm 0,000068 \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 68 \text{ ppm}$ (298,15 K, 95,99 kPa)

Streuung: $\pm 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. 31 ppm relative Standardabweichung

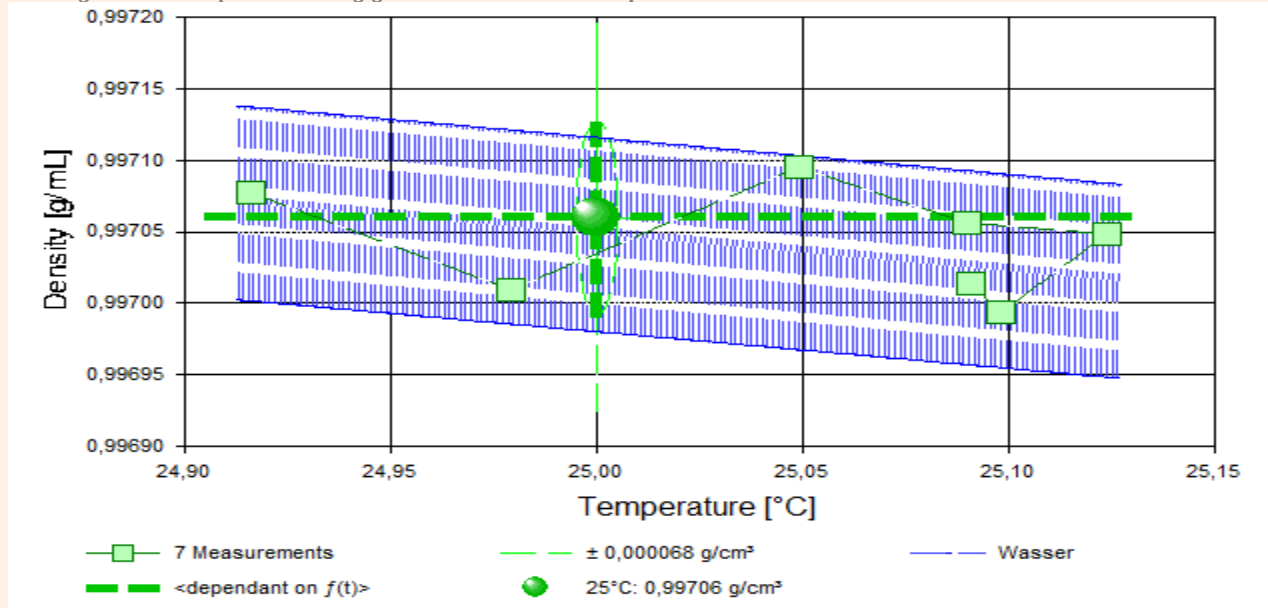
Berechnung: lineare Regressionsgleichung, eher zeitabhängig.

Zeitgleichung durch Regression zwischen Minute 2 und 6:

$$\rho(t[\text{min}]) = 0,997094 - 1,460\text{E-}5 \cdot t \quad \text{mit } r^2 = 0,31, \quad s^2 = 9,86\text{E-}10$$

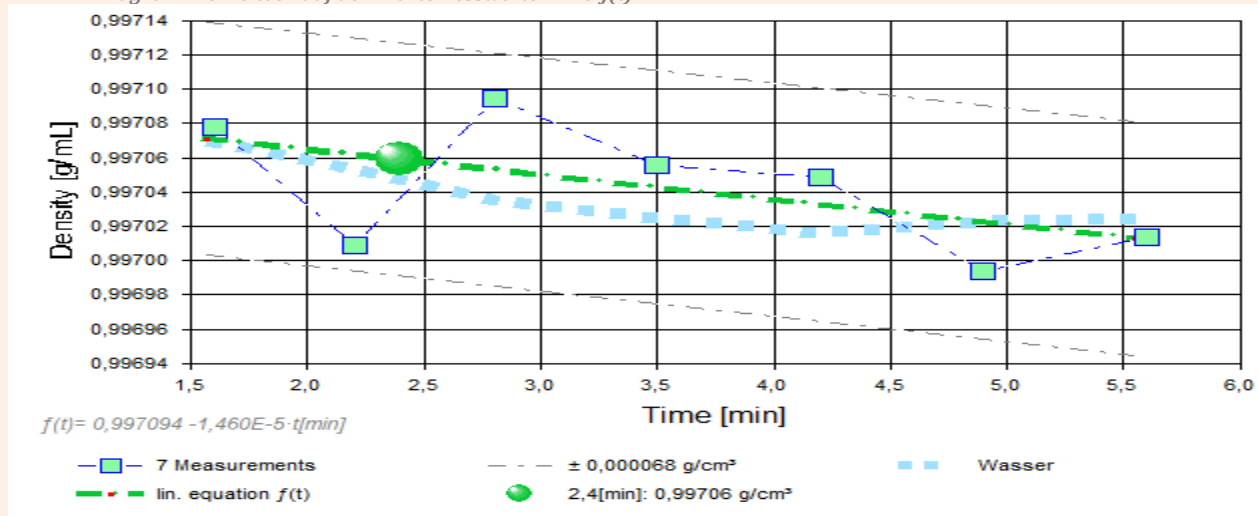
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei ' $r^2=0,31$ ' eine schlechte 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 sieben Dichtemesswerte als Quadratsymbol bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 25°C für die Wasser-Probe ist als Kugel abgebildet; der Bereich der Messunsicherheit wird durch gestrichelte Linien ausgewiesen. In Markierungsbreite der Messunsicherheit ist die Referenzfunktion von 'Wasser-' aus der Datenbank abgebildet.

- Diagramm 6. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - 'rho-f(t)²'



- Im Diagramm 6, "rho-f(t)²", 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 [min] | θ [°C] | ρ [g/cm³] | H [mm] | ω [s] | Δρ _ω [g/cm³] | N Werte & Trend | F _A [mN] | F _{kor.} [mN], TSymb. |
|----|------------|-----------|--------------|-----------|----------|----------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1. | 1,6 | 24,916 | 0,99708 | 2,048 | 2,9 | 0,31‰ | 4 | 412,9585 | 0,0008 ‡ |
| 2. | 2,2 | 24,979 | 0,99701 | 2,048 | 3,9 | 0,11‰ | 5 | 412,9619 | 0,0003 ‡ |
| 3. | 2,8 | 25,049 | 0,99710 | 2,048 | 4,4 | 26 ppm | 6 | 412,9616 | 0,0053 ‡ |
| 4. | 3,5 | 25,090 | 0,99706 | 2,048 | 3,1 | 0,39‰ | 4 | 412,9637 | 0,0051 ‡ |
| 5. | 4,2 | 25,124 | 0,99705 | 2,048 | 2,3 | 0,19‰ | 3 | 412,9609 | 0,0021 ‡ |
| 6. | 4,9 | 25,098 | 0,99699 | 2,048 | 2,3 | 59 ppm | 3 | 412,9606 | -0,0016 ‡ |
| 7. | 5,6 | 25,091 | 0,99701 | 2,048 | 2,1 | 0,33‰ | 3 | 412,9632 | 0,0022 ‡ |

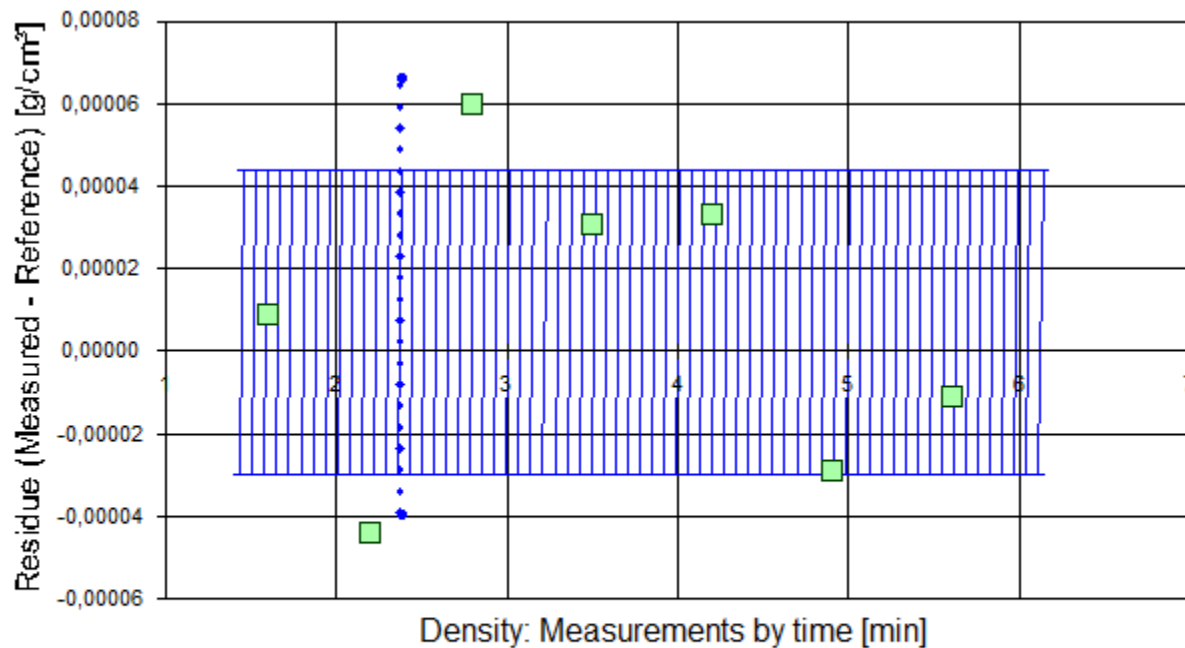
Tabellensymbole: *t* Zeitpunkt [min], *θ* Temperatur [°C], *ρ* Dichte [g/cm³], *H* Positionshöhe der Messkörperunterkannte über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], *ω* Beobachtungsdauer der aufgezeichneten Auftriebsmessung [s], *Δρ_ω* Dichteänderung in der Beobachtungszeit [g/cm³], *N* Anzahl Auftriebsmesswerte ggf. mit Wägewertezahl und Trend anzeigenden Symbolen, *F_A* Gewicht des Messkörpers in der Probe (Roh-wert der Auftriebskraft) [mN], *F_{kor.}* zuvor gemessene Referenzkraft - d.h. bei abgetrenntem Messkörper mit berechneter Korrektur der Auftriebskraft der austauchenden Suspensionslänge [mN].

- Die 'Nullhöhe' ist die vertikale Position zu der der Messkörper just auf dem Gefäßboden oder Podest steht (*H*=0mm). Die zu *F_{kor.}* nachgestellten Zeichen '°' oder ‡ symbolisieren die jeweils angewandten Mess- und Korrekturverfahren ('°' für Dichtemesswerte nach klassischem Verfahren, ‡ für absolute Werte mit Drift- und Meniskuseliminierung (Patentverfahren)). '†' steht für 'übertragene Korrekturkraft'

• 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.

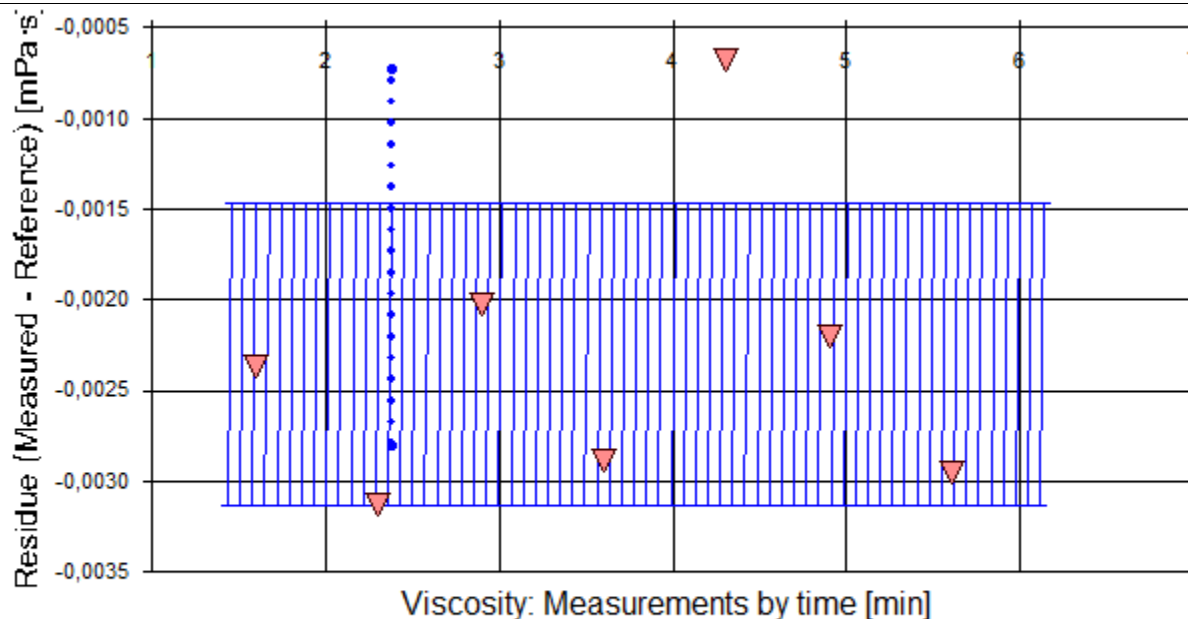
- **VORSICHT** Die Bedeutung des automatischen Vergleichs mit jeweiligen Referenzwerten ist völlig von der Richtigkeit und Präzision der hinterlegten Stoffdaten abhängig. - Diagramm 6. Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'



Reference values for 'Wasser' acc. to $f(T[°C])=(6.5592063E-05 \cdot T^5 - 1.1225639E-02 \cdot T^4 + 1.0026530 \cdot T^3 - 90.968893 \cdot T^2 + 679.48991 \cdot T + 9998425.9)/1E7$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $7,00E-6 \pm 3,7E-5$ g/cm³, relative: +7,0 ppm at a spread of 37 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 $f(T[^\circ\text{C}])=37,1941 \cdot \text{EXP}(1,35960\text{E}+11/(273,15+T)^4 - 1,44585\text{E}+09/(273,15+T)^2 + 6,04736\text{E}+06/(273,15+T)^2 - 1,02607\text{E}+04/(273,15+T))$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $-2,30\text{E}-3 \pm 8,3\text{E}-4$ mPa·s, relative: $-2,6\%$ at a spread of $0,94\%$

- 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 Vergleich mit Wasser bei 25°C

| | Referenz | Messung | Δ absolut | Δ relativ | Δ / u |
|------------------------|----------|---------|-------------------------------|------------------|--------------|
| ρ | 0,99705 | 0,99706 | +0,00001 g/cm ³ | 10 ppm | @ |
| η | 0,8901 | 0,8876 | -0,0025 mPa·s | 3‰ | @ |
| $-\Delta\eta/\Delta T$ | 0,0203 | 0,0158 | -0,0045 mPa·s·K ⁻¹ | 20% | @ |

Referenzdatenbank liefert für η mit **Wasser (>40°)**, 0,8898 mPa·s, einen ähnlichen, präzisen, Vergleichswert. Der Unterschied zum Messwert beträgt hier 0,0022 mPa·s.- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'WASSER' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol η steht für die Messgröße, $-\Delta\eta/\Delta T$ für die absolute Änderung bei einem Grad Temperaturabnahme (bei 25°C); die Zahl zu " Δu " gibt ggf. an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit. Das Zeichen "@" bringt zum Ausdruck, dass bei der Messgröße kein signifikanter Unterschied zwischen Mess- und Referenzwert auftritt. Die Aussagekraft von ' Δu ' hängt stark davon ab, ob ein hinreichend großes Temperaturintervall durchmessen wird - was hier evtl. nicht der Fall ist.

• 6. ANGABEN ZUR KONFIGURATION

Messkörper: Name **MK_ESA1_0-26°C**, IDN° 7024, Spaltweite 0,854 mm.

Auswertungsverfahren: Standard. Konfigurationstyp DiVA-A (N°1).

Messkörperdaten: Messzylindermasse 48,1349 ±0,0003 g, ~volumen 6,053007 ±0,00041 cm³, ~durchmesser 14,2929 ±0,001 mm, ~länge 43,002 ±0,001 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 46,552·10⁻⁶K⁻¹. Messzylindersuspension: Querschnitt 0,0201 mm², Umfang 0,502 mm, Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (*drift- und fehlerfreie Dichtemessung*).

Behälter/Röhre: Durchmesser 16,0011 ±0,0005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 16,18·10⁻⁶K⁻¹.

Bezugstemperatur für Abmessungen und Ausdehnungskoeffizienten 25°C.

Kinetische Energie- Korrektur (Faktor Zeta): $\zeta = 1,33$.

Individuelle Werte: Eine Korrekturkraft (F_θ) wird nicht verwendet. Höhe der Flüssigkeitssäule über

der Nulllage: 74,8 mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: 31,8 mm.

Messunsicherheiten des Ergebnisses: Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 1,1% bestimmt; die Messunsicherheit der Dichte ($\pm 0,000068 \text{ g/cm}^3$) stammt von Unsicherheitsangaben zu Messkörpervolumen und -masse sowie der Kraft- und der Temperaturmessung.

- **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 Summe der Einzelunsicherheiten berechnet; diese sind summarisch zu jeder Einzelmessung angegeben in der Spalte σ_{η} 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 \pm (Standardmess-)Unsicherheiten einfache Standardabweichungen - ohne Erweiterungsfaktoren - angegeben, d.h. die Überdeckung betrifft 67% der Werte.

Programm

Data created during execution of the IMPro "DiVA-A1", type 5/0. Automatic self-repetition of the IMPro - the 1. Repetition. IMPro finished as projected.

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZA224) wurde 2,1 Stunden 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} vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001[K], Messunsicherheit $\pm 0,01$ [K], R° 100,0018[Ohm], AutoCal 60[min] (BN^o3, -10/100°C, 4S, FS15, Offset: -0,0361). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.1.7, LizenzN^o *3037-4759*, Windows 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N^o6995684 (C, SSD).

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

| Time [min] | ϕ [%] | T_a [°C] | p_a [kPa] | ρ_{air} [kg/m ³] |
|------------|------------|------------|-------------|--|
| 0,8 | 53,07 | 22,13 | 95,492 | 1,12065 |

Obige Zusammenstellung gibt die Aufzeichnung der Atmosphärendaten für den Aufstellort wieder; darin bedeuten ϕ relative Luftfeuchte (r.H.), T_a Lufttemperatur und p_a absoluter Luftdruck, ρ_{air} die Luftdichte; Die Luftdichte wird dabei aus den Druck-, Temperatur- und Luftfeuchtwerten berechnet.

Report created & printed by IMETER®

„Der automatische Bericht präsentiert die Datenlage und führt eine (Vor-)Interpretation aus. Die Tabellendaten sind in Spalten Tab-separiert und können somit sehr einfach z.B. in Excel