



IMETER V.5.6 rev.8

automatic Report (9759BAK16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 19. Jan 26

## ID N° 15988 - DiVA-Method: Constant Rate Measurement, $\Delta T$ 10,1K

### Methyleniodid 20-30°C

Methyleniodid, Diiodmethane, Aldrich Cat.: 15,842-9, 99% GC, Lot 80630023.

Sample/Ref.: **Diiodmethane**

----- Results at 25,0°C -----

**Viscosity:**  $\eta_{(100/s)} = 2,61 \pm 0,03 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $\nu = 0,790 \pm 8 \cdot 10^{-3} \text{ cSt}$

- Temperature coefficient:  $\kappa_{\eta} = 15,7 \cdot 10^{-3} / \text{K}$

**Density:**  $\rho = 3,3070 \pm 0,00012 \text{ g/cm}^3$

- Coefficient of thermal expansion:  $\kappa = 81,9 \cdot 10^{-5} / \text{K}$

## 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, wie in dieser Messung bei gleichbleibender Deformation (der Schergeschwindigkeit 100 /s kommt etwa die Bedeutung von *leichtem Pumpen, Auftragen* gleich), die Proben temperatur verändert wird, können Temperaturkoeffizienten der Viskosität, der Ausdehnungskoeffizient und entsprechende Regressionsfunktionen bestimmt werden, die die Interpolation der thermischen Eigenschaften ermöglichen (weitere Auswertungen erlauben die Bestimmung der Platzwechselenergie und ggf. von Viskositätsindizes).

Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte  $\rho$  (*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 -

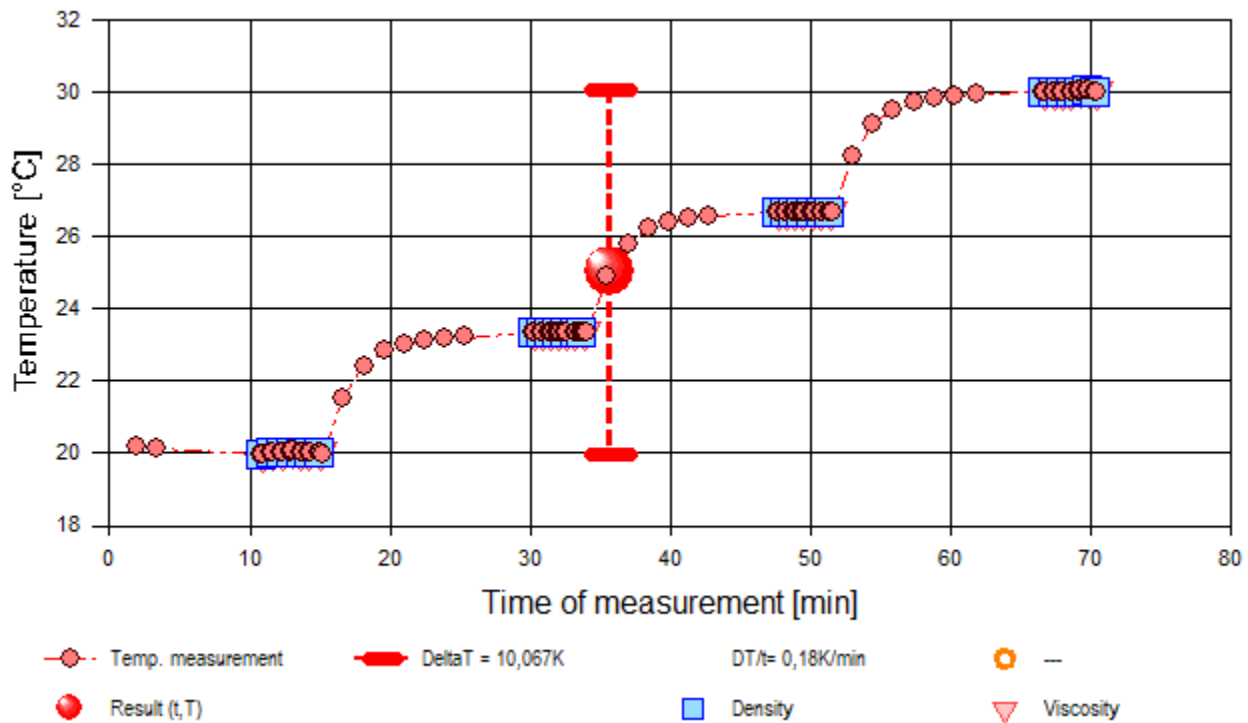
IMETER M5 DiVA-Messungen sind rein metrologisch, rückführbar und kohärent mit Referenzverfahren für Glaskapillarviskosimeter, Hydrometer oder Pyknometer. Referenz M5 DiVA <https://imeter.de/?view=article&id=73>

### • 2. ÜBERSICHT

Dichte und Viskosität wurden 28-mal gemessen.

Messdauer eine Stunde; stufig, zwischen 20,0 und 30,0°C ansteigender Temperaturverlauf, vier Temperaturniveaus; mit drei Stufen; 3,4 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils sieben Viskositätsmesswerten.

-> 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

28 Messwerte; Zeitbereich 11 bis 70 min, Temperatur  $\Delta T = +10,064$  K

**Ergebniswert:**  $\eta_{25^\circ\text{C}} = 2,611 \pm 0,026$  mPa·s bzw.  $\pm 1,0\%$  (298,15 K)

Streuung:  $\pm 0,003$  mPa·s absolute bzw. 0,11% relative Standardabweichung

Berechnung: lineare Regressionsgleichung, eindeutig temperaturabhängig.

Temperaturfunktion zwischen 19,979 und 30,043 °C:

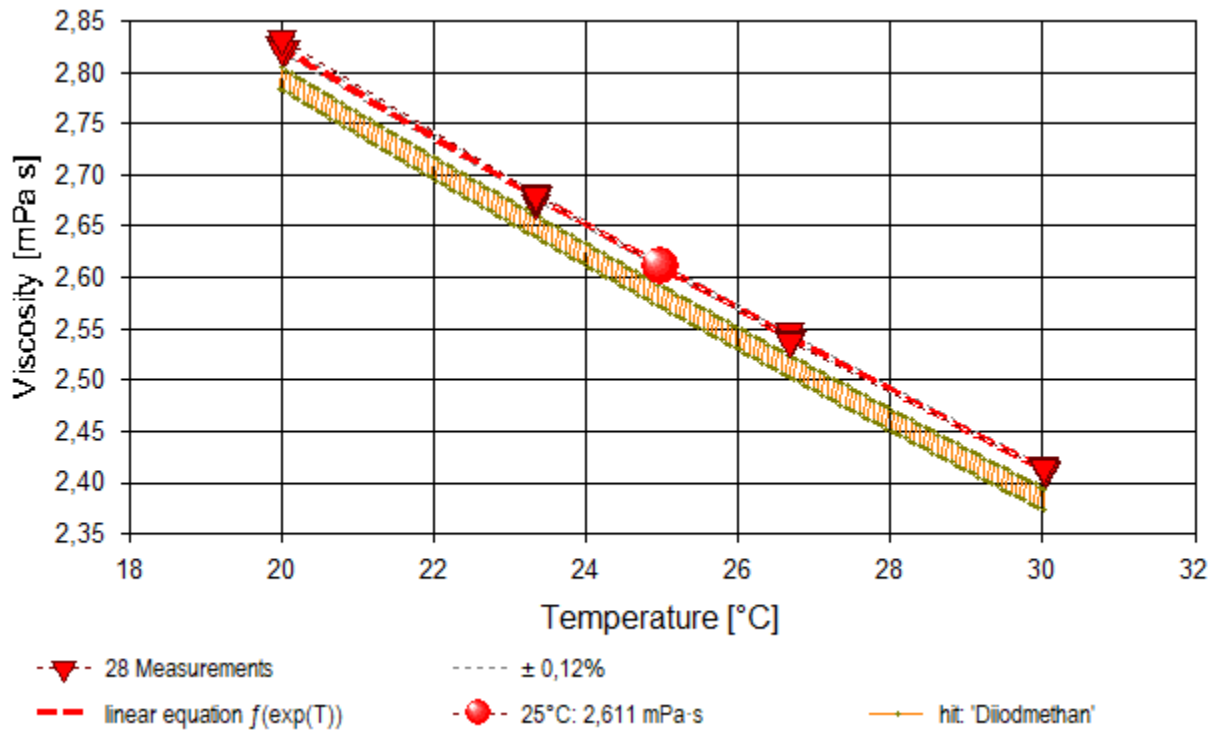
$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = f(\vartheta[\text{°C}]) = 3,866 \cdot e^{(-15,709 \cdot \vartheta/1000)} \quad \text{mit } r^2=0,99963, \quad s^2=9,11\text{E-}6$$

Messung bei konstanter Schergeschwindigkeit (CR):  $\gamma \cdot = 100 \pm 0,044$  s<sup>-1</sup>.

Der Temperaturkoeffizient der Viskosität  $\kappa_\eta$  mit  $15,7$  [ $10^{-3}\text{K}^{-1}$ ] entspricht normalen Werten gut (etwas unter 'Normal'). Die relative Änderung der Viskosität mit der Temperatur beträgt 1,6%, entsprechend 0,041 mPa·s pro Grad bei der Angabetemperatur.

- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Ein 'normaler' Temperaturkoeffizient der Viskosität reicht bei 25°C von etwa 5 bis 35  $10^{-3}\text{K}^{-1}$ . Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an ( $r^2$ , der hier wohl 'ziemlich gut' zu nennen ist). 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 28 Viskositätsmesswerte als Dreiecke bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 25°C für die Diiodmethane-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.

Die thermodynamische Formulierung gemäß der *Arrhenius-Andrade* Beziehung lautet für die Diiodmethane-Probe zwischen 20 und 30°C :

$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = f(T[\text{K}]) = 0,024138 \cdot e^{1396,2/T} \quad \text{mit } r^2=0,99986 \text{ und } s^2=0,0000072$$

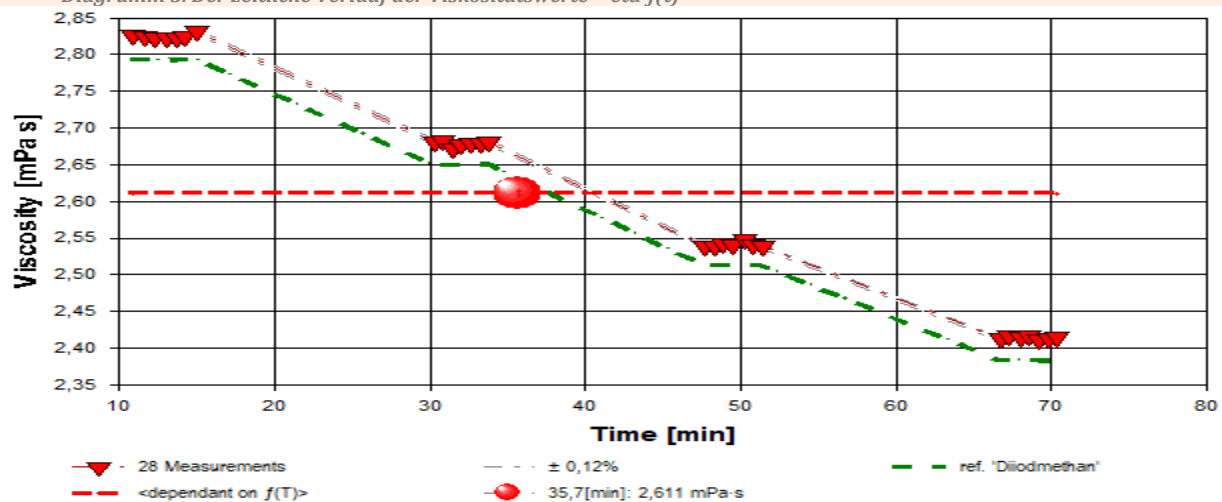
- Die Arrhenius Gleichung der Form " $k = A \cdot e^{-E_a/RT} = \eta$ " gibt in Entsprechung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten  $k$  die Viskosität  $\eta$  an. In der Gleichung bedeuten die beiden Konstanten 'A' Arrheniusfaktor bzw. eine Materialkonstante ( $\ln(A)=-3,7240$ ) sowie 'E<sub>a</sub>' die Aktivierungs- bzw. Platzwechselenergie.  $E_a=11,609 \text{ kJ/mol}$  ( $R$  ist die allgemeine Gaskonstante). Weil  $A$  temperaturabhängig ist, gilt die Gleichung als wenig extrapolierbar.

Mit der ebenfalls in Temperaturabhängigkeit gemessenen Dichte ( $\rho$ ) kann die kinematische Viskosität ( $\nu$ ) gemäß  $\nu = \eta / \rho$  als Funktion der Temperatur angegeben werden. Ein Berechnungsterm für  $\nu$  in der Einheit Centistokes (cSt [mm<sup>2</sup>/s]) ergibt sich nach:

$$\nu \text{ [mm}^2\text{/s]} = f(\vartheta[^\circ\text{C}]) = 3,8662 \cdot e^{(-0,015709 \cdot \vartheta)} / (3,3748 - 0,0027096 \cdot \vartheta)$$

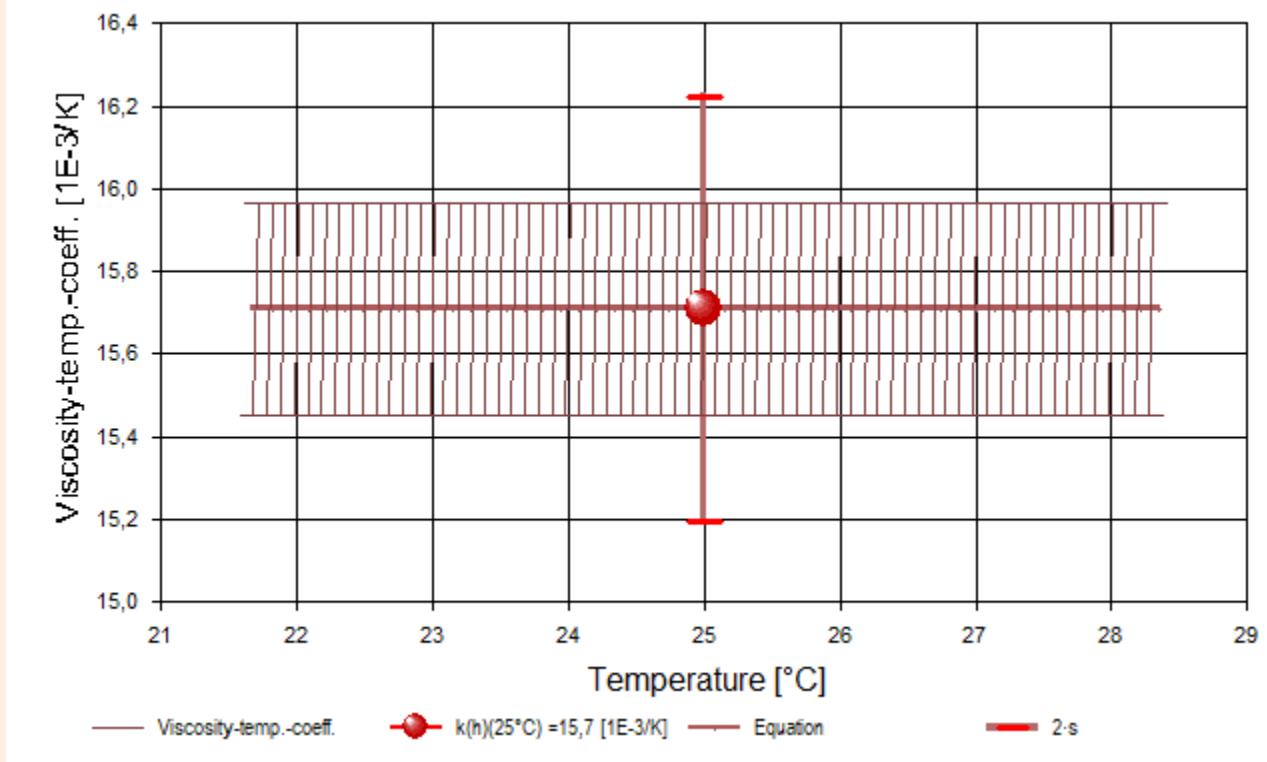
- Die kinematische Viskosität stellt die Zähigkeit eines Fluids inklusive seiner Massenträgheit dar, aus ihr kann ggf. der Viskositätsindex (VI) nach ASTM D2270 berechnet werden.

- 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.

- Diagramm 4. Temperaturkoeffizient der Viskosität - 'kh-f(T,t)'



- Das Diagramm 4, "kh-f(T,t)", zeigt den Verlauf des Viskositäts-Temperaturkoeffizienten  $\kappa_\eta$  aus der Ableitung der Viskositätsgleichung an. Die Breite der Linie entspricht der angesetzten Präzision. Der Angabewert ist separat eingezeichnet. Aus dem Diagramm ist die relative Änderung der Viskosität in Prozent einfach zu entnehmen, indem der jeweilige Ordinatenwert (in % gegeben) durch Zehn geteilt wird.

Aus dem Verlauf der Viskositätsmesswerte ergibt sich keine Temperaturabhängigkeit des Koeffizienten im durchmessenen Intervall:  $\kappa_\eta = 15,7 \pm 0,3 [10^{-3} \cdot K^{-1}]$ .

Die Abnahme der Viskosität bei steigender Temperatur beträgt *konstant* 1,6% pro Grad.

- Die Berechnung der Viskosität bei einer anderen Temperatur im Messbereich ausgehend von einem bekannten Wert  $\eta^\circ$  erfolgt nach  $\eta = \eta^\circ \cdot e^{(\kappa_\eta \Delta T)}$  (Die für Temperaturkoeffizienten gebräuchliche Formulierung ' $\eta = \eta^\circ \cdot (1 + \kappa_\eta \Delta T)$ ' ist hier nicht verwendbar!). -

**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 <sub>z</sub> [mm/s]	F <sub>z</sub> [mN]	τ [Pa]	v <sub>max</sub> [mm/s]	γ̇ [s <sup>-1</sup> ]	Re [Zahl]
1.	10,9	19,979	2,826	9,252	2,4342	0,2825	38,50	99,964	95,9
2.	11,6	20,002	2,824	9,252	2,4319	0,2823	38,50	99,965	96,0
3.	12,3	20,020	2,822	9,252	2,4308	0,2821	38,50	99,965	96,0
4.	13,0	20,051	2,823	9,252	2,4316	0,2822	38,50	99,965	96,0
5.	13,7	20,002	2,823	9,252	2,4315	0,2822	38,50	99,965	96,0
6.	14,2	20,002	2,824	9,252	2,4320	0,2823	38,50	99,965	96,0
7.	15,0	20,001	2,832	9,252	2,4390	0,2831	38,50	99,965	95,7
8.	30,3	23,357	2,680	9,252	2,3101	0,2681	38,50	100,00	101
9.	30,8	23,344	2,681	9,252	2,3110	0,2682	38,50	100,00	101
10.	31,5	23,339	2,672	9,252	2,3028	0,2672	38,50	100,00	101
11.	32,0	23,338	2,676	9,252	2,3063	0,2676	38,50	100,00	101
12.	32,6	23,345	2,679	9,252	2,3087	0,2679	38,50	100,00	101
13.	33,2	23,326	2,678	9,252	2,3083	0,2678	38,50	100,00	101
14.	33,8	23,328	2,681	9,252	2,3102	0,2681	38,50	100,00	101
15.	47,7	26,697	2,539	9,252	2,1897	0,254	38,51	100,04	106
16.	48,3	26,678	2,539	9,252	2,1898	0,254	38,51	100,04	106
17.	48,9	26,681	2,542	9,252	2,1926	0,2543	38,51	100,04	106
18.	49,5	26,686	2,540	9,252	2,1903	0,2541	38,51	100,04	106

19.	50,2	26,675	2,547	9,252	2,1962	0,2548	38,51	100,04	106
20.	50,8	26,682	2,541	9,252	2,1910	0,2542	38,51	100,04	106
21.	51,4	26,689	2,538	9,252	2,1885	0,2539	38,51	100,04	106
22.	66,7	30,020	2,412	9,252	2,0818	0,2414	38,52	100,08	111
23.	67,3	30,016	2,415	9,252	2,0845	0,2417	38,52	100,08	111
24.	68,0	30,011	2,414	9,252	2,0835	0,2416	38,52	100,08	111
25.	68,6	30,024	2,416	9,252	2,0851	0,2418	38,52	100,08	111
26.	69,2	30,035	2,411	9,252	2,0808	0,2413	38,52	100,08	112
27.	69,8	30,043	2,413	9,252	2,0822	0,2415	38,52	100,08	111
28.	70,3	30,026	2,415	9,252	2,0843	0,2417	38,52	100,08	111

**Tabellensymbole:**  $t$  Zeitpunkt [min],  $\theta$  Temperatur [°C],  $\eta$  Messwert Viskosität [mPa·s],  $v_z$  Beweg- bzw. Relativgeschwindigkeit zwischen Messkörper und Röhre [mm/s],  $F_z$  viskositätsbedingte Kraft am Messkörper [mN],  $\tau$  Schubspannung [Pa],  $v_{max}$  maximale Strömungsgeschwindigkeit [mm/s],  $\gamma$  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 Ringspalt ( $F_\zeta$ ), die viskose Reibung der Messzylinder-Aufhängung im Medium ( $F_{h\eta}$ ), die rekursiv bestimmt wird. Die viskositätsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich damit aus  $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_\zeta - F_{h\eta}$ . Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt. Die Schubspannung  $\tau$  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;  $v_m = v_z \cdot ra^2 / (ra^2 - ri^2)$ ), mit  $ra$  Röhrenradius und  $ri$  Zylinderradius) wird für die Berechnung der Reynoldszahl benötigt.  $Re = \rho \cdot v_m \cdot d / \eta$ , 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  $\gamma$ , die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

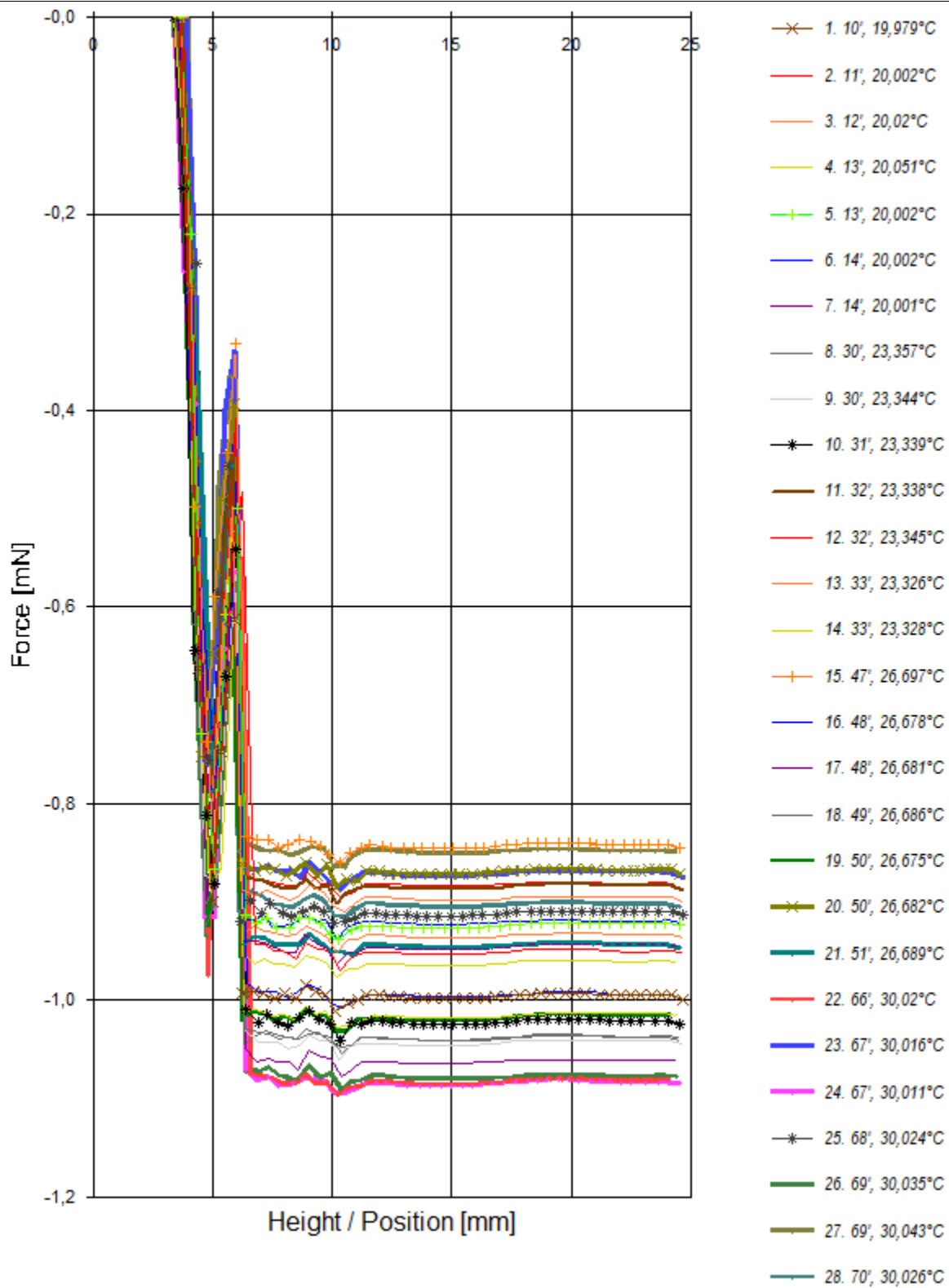
**Tabelle 2, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.**

N°	$F_w$	$\sigma_{Fw}$	$\sigma_{Fw rel}$	$F_p$	$F_{hp}$	$F_\zeta$	$F_{h\eta}$	N/n
			-- Alle Werteinträge in [mN] --					Datenauswahl
1.	189,9846	0,0018	9,7 ppm	187,3428	0,0148	0,2221	0,0004	22/48
2.	189,9870	0,0020	11 ppm	187,3474	0,0147	0,2221	0,0004	22/47
3.	189,9923	0,0012	6,3 ppm	187,3539	0,0148	0,2221	0,0004	22/47
4.	189,9882	0,0022	12 ppm	187,3488	0,0147	0,2221	0,0004	21/46
5.	189,9845	0,0022	12 ppm	187,3451	0,0146	0,2221	0,0004	22/47
6.	189,9855	0,0018	9,4 ppm	187,3458	0,0147	0,2221	0,0004	20/43
7.	189,9846	0,0004	2,2 ppm	187,3379	0,0147	0,2221	0,0004	6/48
8.	190,2022	0,0020	10 ppm	187,6849	0,0147	0,2216	0,0004	23/50
9.	190,1939	0,0020	10 ppm	187,6755	0,0146	0,2216	0,0004	23/49
10.	190,1962	0,0019	10,0 ppm	187,6861	0,0146	0,2216	0,0004	23/49
11.	190,1966	0,0018	9,4 ppm	187,6830	0,0147	0,2216	0,0004	23/49
12.	190,1952	0,0016	8,3 ppm	187,6791	0,0146	0,2216	0,0004	22/47
13.	190,1964	0,0018	9,6 ppm	187,6808	0,0147	0,2216	0,0004	22/47
14.	190,1994	0,0005	2,4 ppm	187,6819	0,0147	0,2216	0,0004	5/48
15.	190,4239	0,0018	9,3 ppm	188,0275	0,0148	0,2211	0,0004	23/50
16.	190,4215	0,0016	8,2 ppm	188,0251	0,0148	0,2211	0,0004	23/50
17.	190,4208	0,0016	8,2 ppm	188,0214	0,0146	0,2211	0,0003	22/48
18.	190,4208	0,0016	8,7 ppm	188,0237	0,0147	0,2211	0,0004	22/48
19.	190,4239	0,0004	2,1 ppm	188,0209	0,0146	0,2211	0,0004	5/48
20.	190,4219	0,0018	9,4 ppm	188,0243	0,0149	0,2211	0,0004	24/51
21.	190,4220	0,0016	8,5 ppm	188,0269	0,0148	0,2211	0,0004	21/45
22.	190,6473	0,0022	11 ppm	188,3590	0,0144	0,2206	0,0003	22/47
23.	190,6511	0,0017	9,2 ppm	188,3603	0,0147	0,2206	0,0003	23/49
24.	190,6490	0,0020	10 ppm	188,3591	0,0146	0,2206	0,0003	22/48
25.	190,6551	0,0018	9,6 ppm	188,3636	0,0146	0,2206	0,0003	22/47
26.	190,6536	0,0013	6,6 ppm	188,3665	0,0145	0,2206	0,0003	22/48
27.	190,6539	0,0014	7,3 ppm	188,3655	0,0147	0,2206	0,0003	22/48
28.	190,6506	0,0017	8,9 ppm	188,3600	0,0146	0,2206	0,0003	22/47

**Tabellensymbole:**  $F_w$  Betrag der gemittelten stationären Kraft bei Bewegung des Zylinders [mN],  $\sigma_{Fw}$  Standardabweichung der Kraftmesswerte des stationären Bereichs [mN],  $\sigma_{Fw rel}$  relative Standardabweichung[-],  $F_p$  Auftriebskraft des ruhenden Zylinder inkl. Auftrieb der Suspension [mN],  $F_{hp}$  Auftriebskraft durch das tauchende Volumen der Suspension [mN],  $F_\zeta$  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 5, eta-Raw (M), unterhalb, zeigt eine größere Wertemenge an, als für die Berechnung verwendet wird). Neben den statischen Korrekturen ist mit  $F_\zeta$  die kinetischen Energie-Korrektur angegeben, die analog zu (Glas-)Kapillarviskosimetern mit dem Faktor  $\zeta$  der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht:  $F_\zeta = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

- Diagramm 5. Die 'Kraft-Weg-Rohdaten' - 'eta-Raw (M)'



- Diagramm 5, "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 2,93 cm<sup>3</sup> wird über die Wegstrecke von 22,0 mm komplett ausgetauscht. - Ein waagerechter Verlauf im rechten Kurventeil kennzeichnet eine valide Viskositätsmessung.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

N°	Noise [μN/mm]	H <sub>start</sub> [mm]	L <sub>cl</sub> [mm]	D <sub>RSP</sub> [mm]	ΔD <sub>RSP</sub> [μm]	Ø <sub>zyl.</sub> [mm]	L <sub>zyl.</sub> [mm]	Σσ [mPa·s]	Σσ <sub>rel.</sub>
1.	0,753	3,482	21,177	1,495	0,407	13,0099	42,9985	0,029	1,0%
2.	1,01	3,629	21,029	1,495	0,406	13,0099	42,9985	0,029	1,0%
3.	0,422	3,639	21,020	1,495	0,404	13,0099	42,9985	0,029	1,0%
4.	0,734	3,334	21,038	1,495	0,402	13,0100	42,9985	0,029	1,0%
5.	0,719	3,639	20,881	1,495	0,406	13,0099	42,9985	0,029	1,0%
6.	0,743	3,565	20,677	1,495	0,406	13,0099	42,9985	0,029	1,0%
7.	0,165	3,620	20,890	1,495	0,406	13,0099	42,9985	0,029	1,0%
8.	0,861	3,408	21,112	1,495	0,133	13,0107	43,0009	0,027	1,0%
9.	0,720	3,334	21,325	1,495	0,134	13,0106	43,0008	0,027	1,0%
10.	0,699	3,334	21,177	1,495	0,135	13,0106	43,0008	0,027	1,0%
11.	0,896	3,694	20,973	1,495	0,135	13,0106	43,0008	0,027	1,0%
12.	0,589	3,778	20,594	1,495	0,134	13,0107	43,0008	0,027	1,0%
13.	0,893	3,639	21,020	1,495	0,136	13,0106	43,0008	0,027	1,0%
14.	0,165	3,713	20,668	1,495	0,136	13,0106	43,0008	0,027	1,0%
15.	0,829	3,768	20,742	1,495	-0,138	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
16.	0,966	3,704	20,807	1,495	-0,136	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
17.	0,598	3,343	21,029	1,495	-0,136	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
18.	0,628	3,343	21,168	1,495	-0,137	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
19.	0,148	3,481	20,594	1,495	-0,136	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
20.	0,929	3,639	20,881	1,495	-0,136	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
21.	0,697	3,704	20,816	1,495	-0,137	13,0114	43,0032	0,026	1,0%
22.	0,907	3,352	20,742	1,494	-0,407	13,0121	43,0055	0,025	1,0%
23.	0,679	3,852	20,816	1,494	-0,407	13,0121	43,0055	0,025	1,0%
24.	0,907	3,343	21,177	1,494	-0,407	13,0121	43,0055	0,025	1,0%
25.	0,650	3,787	20,881	1,494	-0,408	13,0121	43,0055	0,025	1,0%
26.	0,594	3,343	21,038	1,494	-0,409	13,0121	43,0055	0,025	1,0%
27.	0,721	3,916	20,446	1,494	-0,409	13,0121	43,0055	0,025	1,0%
28.	0,647	3,861	20,668	1,494	-0,408	13,0121	43,0055	0,025	1,0%

**Tabellensymbole:** *Noise* Mittelwert der höherfrequenten Lastschwankungen '*Rauheit*' im Kurvenzug der Messkraft [μN/mm], *H<sub>start</sub>* Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm], *L<sub>cl</sub>* Länge der Suspension, deren Flüssigkeitsreibung und Auftrieb zur Korrektur der Kraft angewendet wird [mm]. *D<sub>RSP</sub>* Weite des Ringspalts zwischen Zylindermesskörper und Röhre bei der Temperatur [mm], *ΔD<sub>RSP</sub>* Änderung der Spaltweite durch Abweichung von der Bezugstemperatur 25°C [μm], *Ø<sub>zyl.</sub>* Durchmesser des Messzylinders [mm], *L<sub>zyl.</sub>* Länge des Messzylinders [mm]. *Σσ* Absolute Summe der Unsicherheitsbeiträge, die dem jeweiligen Viskositätswert beigeordnet wird [mPa·s] und *Σσ<sub>rel.</sub>* relative Unsicherheit des Viskositätswertes.

- 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

28 Messwerte; Zeitbereich 11 bis 70 min, Temperatur ΔT = +10,057 K

**Angabewert:** ρ<sub>25°C</sub> = **3,3070 ± 0,00012 g/cm<sup>3</sup> bzw. ±36 ppm** (298,15 K, 97,31 kPa)

Streuung: ±8,5·10<sup>-5</sup> g/cm<sup>3</sup> absolute bzw. 26 ppm relative Standardabweichung

Berechnung: lineare Regressionsgleichung, eindeutig temperaturabhängig.

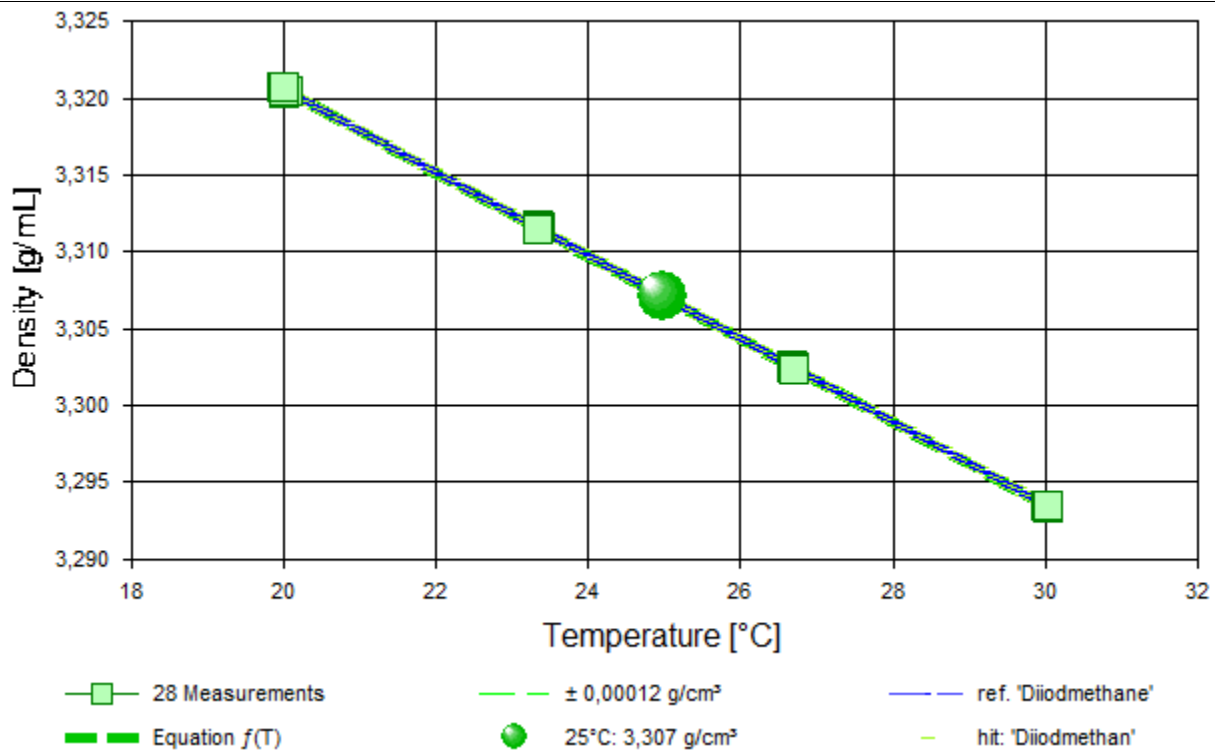
Temperaturzusammenhang zwischen 19,984 und 30,041 °C:

$$\rho \text{ [g/cm}^3\text{]} = f(\vartheta \text{ [}^\circ\text{C]}) = 3,3748 - 270,96 \cdot \vartheta / 1\text{E}5 \quad \text{mit } r^2 = 0,999932, \quad s^2 = 7,21\text{E-}9$$

Der Ausdehnungskoeffizient κ mit 81,9 [10<sup>-5</sup>K<sup>-1</sup>] entspricht durchschnittlichen Werten gut (etwas unter 'Normal'). Die relative Änderung der Dichte mit der Temperatur beträgt 820 ppm, das sind 0,0027 g/cm<sup>3</sup> pro Grad bei der Angabetemperatur.

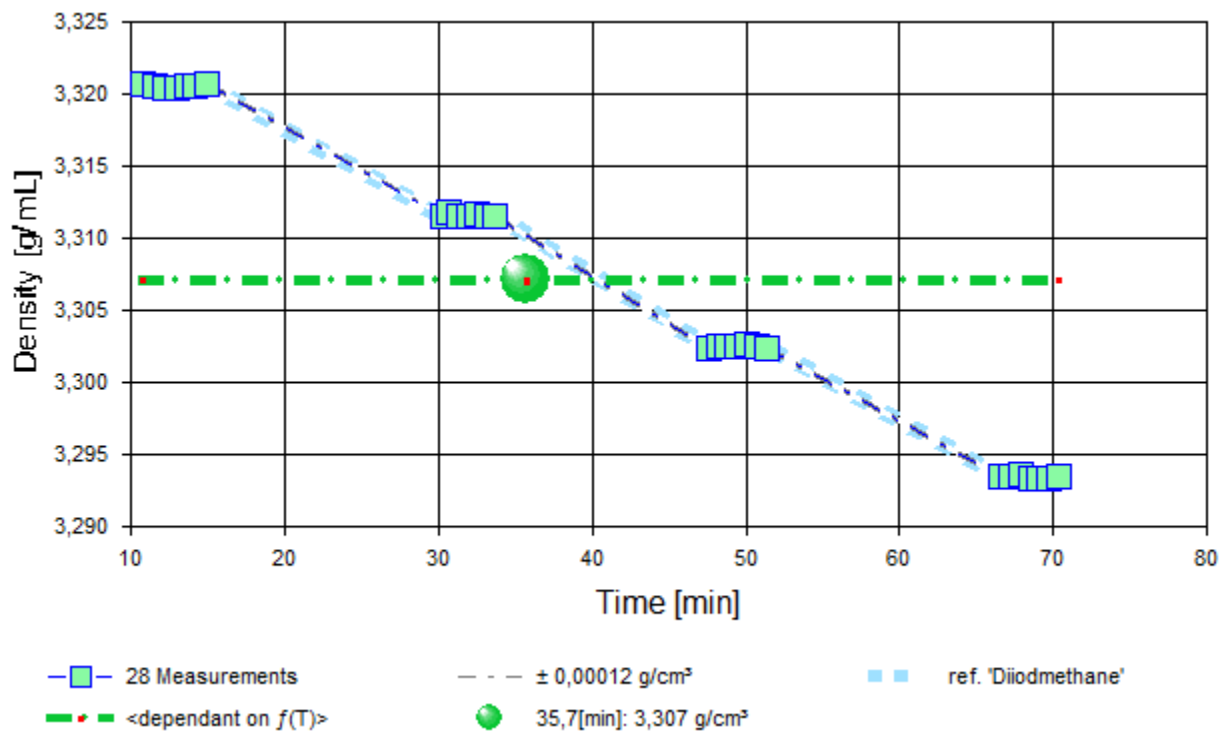
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Ein 'normaler' Ausdehnungskoeffizient reicht bei 25°C von etwa 50 bis 150 10<sup>-5</sup>K<sup>-1</sup>. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r<sup>2</sup>, der hier wohl 'hervorragend' zu nennen ist). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s<sup>2</sup>) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung (√s<sup>2</sup>) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

- Diagramm 6. Temperaturabhängigkeit der Dichte - 'rho-Temp.'



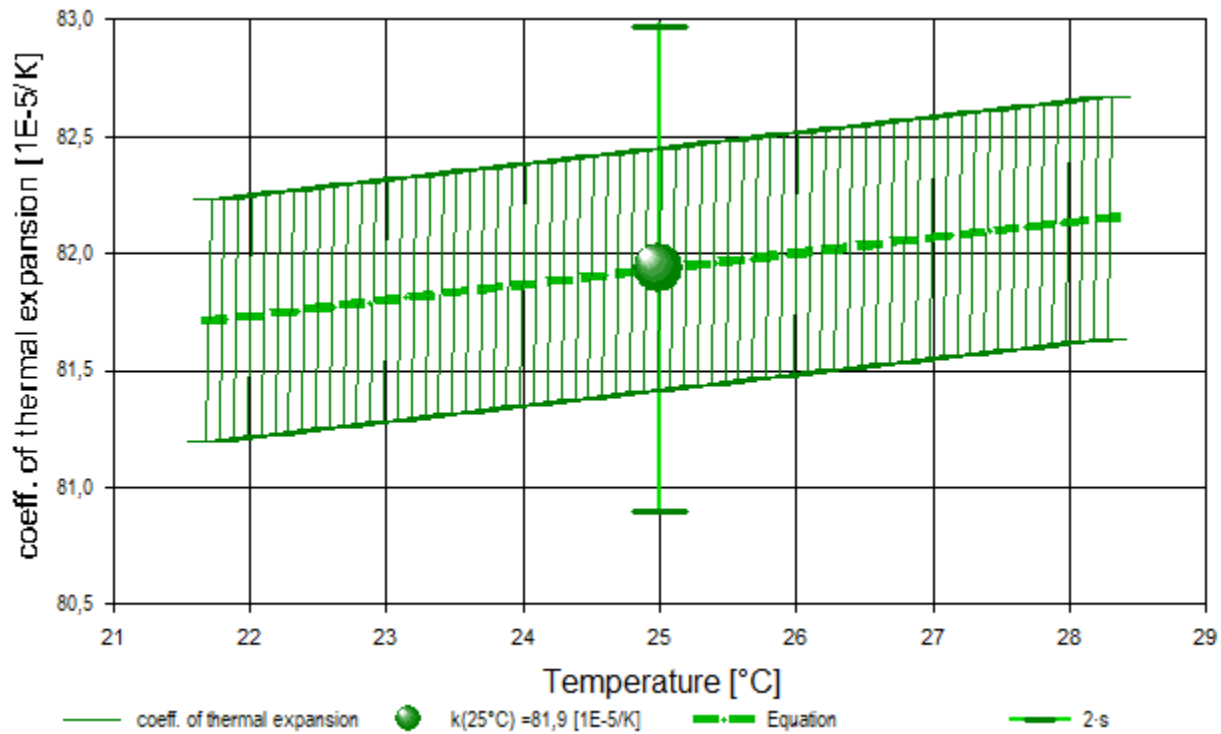
- Das Diagramm 6, "rho-Temp.", zeigt die 28 Dichtemesswerte als Quadratsymbol bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 25°C für die Diiodmethane-Probe ist als Kugel abgebildet; der Bereich der Messunsicherheit wird durch gestrichelte Linien ausgewiesen. Der Verlauf der Regressionsfunktion ist als dicke Linie gezeichnet. In Strichbreite der Messunsicherheit ist die Referenzfunktion von 'Diiodmethane-' (aus der Datenbank) und als Vergleich der Wertebereich der ähnlich dichten Substanz 'Diiodmethan' abgebildet.

- Diagramm 7. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - 'rho-f(t)²'



- Im Diagramm 7, "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.

- Diagramm 8: Der Ausdehnungskoeffizient -



- Das Diagramm 8, "k-f(T,t)", zeigt den Verlauf des Ausdehnungskoeffizienten  $\kappa$  der Probe *Diiodmethane-Probe* entsprechend der unten angegebenen Gleichung an. Die Breite entspricht dem hier angenommenen Fehler. Der Angabewert ist als kugelförmiges Symbol eingezeichnet.

Aus der linearen Regressionsgleichung des Dichteverlaufs kann für den Raumausdehnungskoeffizienten eine Gleichung angegeben werden:

$$\kappa \mid [10^{-5} \cdot K^{-1}] = f(\vartheta [^{\circ}C]) = 1E5 / (1245,5 - \vartheta)$$

Die Bestimmtheit der Gleichung wird aus der Regressionsfunktion zu  $\pm 0,5 \cdot 10^{-5} / K$  angenommen. Die relative Zunahme des Koeffizienten beträgt im Bereich der Messung konstant 820 ppm pro Grad.

- Um das Volumen bzw. eine Volumenänderung für 'Diiodmethane-Probe' bei einer bestimmten Temperatur  $\vartheta$  im gültigen Temperaturbereich zu berechnen kann mit dem bei der Temperatur  $\vartheta^{\circ}$  gegebenen Volumen  $V_{0\vartheta^{\circ}}$  das Volumen  $V_{1\vartheta}$  bei der Temperatur  $\vartheta$  über das entsprechende Verhältnis der Dichten bestimmt werden:  

$$V_{1\vartheta} = V_{0\vartheta^{\circ}} \cdot (\vartheta^{\circ} - 1245,5) / (\vartheta - 1245,5)$$

Tabelle 4: Daten der Dichtemessung

N°	t [min]	$\vartheta$ [°C]	$\rho$ [g/cm³]	H [mm]	$\omega$ [s]	$\Delta\rho_{\omega}$ [g/cm³]	N Werte & Trend	F <sub>A</sub> [mN]	F <sub>kor.</sub> [mN]. TSymb.
1.	10,8	19,984	<b>3,3207</b>	2,248	3,3	-1,4E-5	3 <sub>30</sub> ↗	187,3428	0,0069 ‡
2.	11,5	19,997	<b>3,3205</b>	2,248	4,3	2,6E-5	4 <sub>30</sub> ↗	187,3474	0,0036 ‡
3.	12,2	20,014	<b>3,3204</b>	2,248	4,4	-6,4E-5	4 <sub>31</sub> ↘	187,3539	0,0050 ‡
4.	12,9	20,049	<b>3,3205</b>	2,248	5,9	1,9E-5	6 <sub>30</sub> ↗	187,3488	0,0036 ‡
5.	13,6	20,005	<b>3,3205</b>	2,248	3,3	-5,7E-6	3 <sub>30</sub> ⇔	187,3451	0,0030 ‡
6.	14,1	19,997	<b>3,3205</b>	2,248	3,5	-2,3E-5	3 <sub>30</sub> ⇔	187,3458	0,0030 ‡
7.	14,9	20,007	<b>3,3207</b>	2,248	5,1	5,4E-5	5 <sub>31</sub> ↗	187,3379	0,0026 ‡
8.	30,2	23,358	<b>3,3116</b>	2,248	4,3	-1,4E-5	4 <sub>29</sub> ↑	187,6849	0,0072 ‡
9.	30,7	23,350	<b>3,3117</b>	2,248	4,1	3,9E-5	4 <sub>31</sub> ↗	187,6755	0,0039 ‡
10.	31,3	23,337	<b>3,3115</b>	2,248	5,2	-2,9E-5	5 <sub>31</sub> ⇔	187,6861	0,0040 ‡
11.	31,9	23,338	<b>3,3115</b>	2,248	3,5	6,1E-8	3 <sub>30</sub> ↗	187,6830	0,0040 ‡
12.	32,5	23,345	<b>3,3116</b>	2,248	3,3	4,8E-5	3 <sub>30</sub> ↗	187,6791	0,0022 ‡
13.	33,1	23,327	<b>3,3116</b>	2,248	3,3	-4,4E-5	3 <sub>31</sub> ⇔	187,6808	0,0026 ‡
14.	33,7	23,327	<b>3,3115</b>	2,248	6,9	-2,0E-5	7 <sub>32</sub> ↓	187,6819	0,0020 ‡
15.	47,6	26,696	<b>3,3023</b>	2,248	3,2	-6,1E-6	3 <sub>29</sub> ⇔	188,0275	0,0039 ‡
16.	48,2	26,680	<b>3,3024</b>	2,248	5,3	-1,0E-4	5 <sub>31</sub> →	188,0251	0,0053 ‡
17.	48,8	26,683	<b>3,3025</b>	2,248	3,2	1,3E-5	3 <sub>31</sub> ↗	188,0214	0,0049 ‡
18.	49,4	26,686	<b>3,3025</b>	2,248	3,3	-2,0E-5	3 <sub>30</sub> ↗	188,0237	0,0049 ‡
19.	50,0	26,680	<b>3,3026</b>	2,248	6,2	-2,2E-5	6 <sub>30</sub> ↗	188,0209	0,0057 ‡
20.	50,7	26,680	<b>3,3025</b>	2,248	4,3	-1,0E-5	4 <sub>30</sub> →	188,0243	0,0059 ‡
21.	51,3	26,687	<b>3,3024</b>	2,248	5,9	-2,4E-5	6 <sub>30</sub> ↗	188,0269	0,0049 ‡
22.	66,6	30,018	<b>3,2935</b>	2,248	6,1	3,2E-5	6 <sub>30</sub> ⇔	188,3590	0,0043 ‡
23.	67,2	30,014	<b>3,2934</b>	2,248	5,3	3,5E-5	5 <sub>29</sub> ⇔	188,3603	0,0033 ‡
24.	67,9	30,010	<b>3,2935</b>	2,248	4,2	1,7E-6	4 <sub>31</sub> ↗	188,3591	0,0050 ‡

25.	68,5	30,021	<b>3,2934</b>	2,248	3,2	-3,6E-5	3 <sub>30</sub> ⇔	188,3636	0,0037 ‡
26.	69,1	30,026	<b>3,2933</b>	2,248	4,4	-7,5E-5	4 <sub>29</sub> ↑	188,3665	0,0039 ‡
27.	69,7	30,041	<b>3,2933</b>	2,248	3,5	-2,5E-5	3 <sub>30</sub> ↑	188,3655	0,0039 ‡
28.	70,3	30,024	<b>3,2935</b>	2,248	3,2	-10,0E-6	3 <sub>31</sub> ↗	188,3600	0,0041 ‡

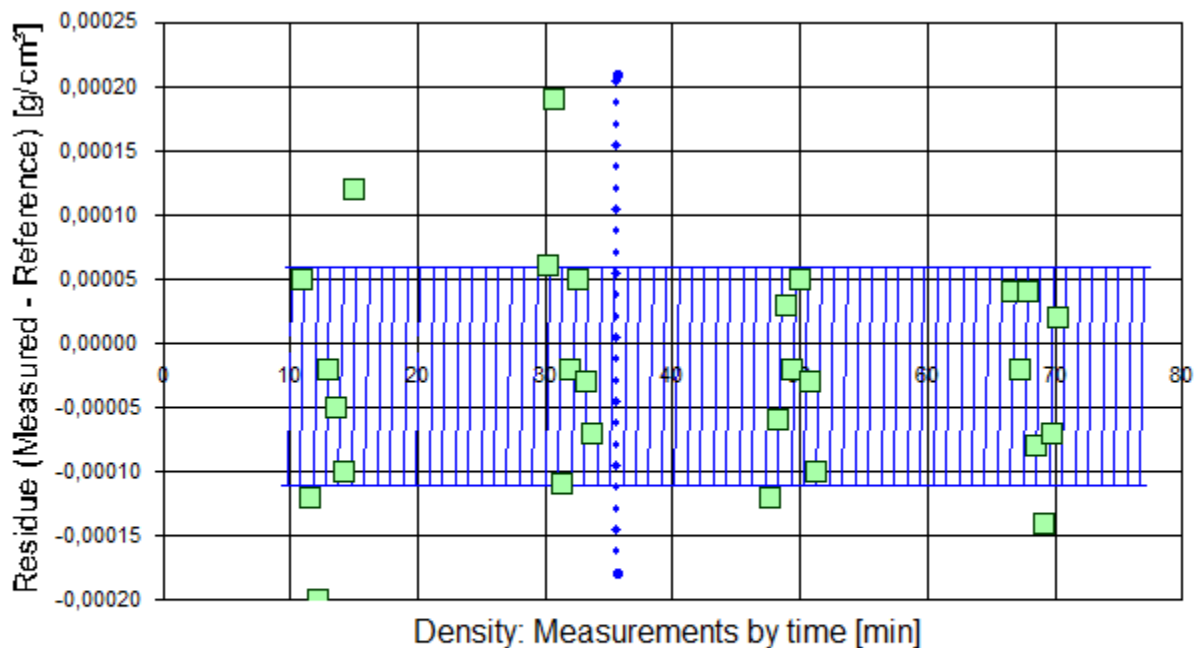
**Tabellensymbole:** *t* Zeitpunkt [min], *θ* Temperatur [°C], *ρ* Dichte [g/cm<sup>3</sup>], *H* Positionshöhe der Messkörperunterkannte über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], *ω* Beobachtungsdauer der aufgezeichneten Auftriebsmessung [s], *Δρ<sub>ω</sub>* Dichteänderung in der Beobachtungszeit [g/cm<sup>3</sup>], *N* Anzahl Auftriebsmesswerte ggf. mit Wägewertezahl und Trend anzeigenden Symbolen, *F<sub>A</sub>* Gewicht des Messkörpers in der Probe (Roh-wert der Auftriebskraft) [mN], *F<sub>korrr.</sub>* 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<sub>korrr.</sub>* 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

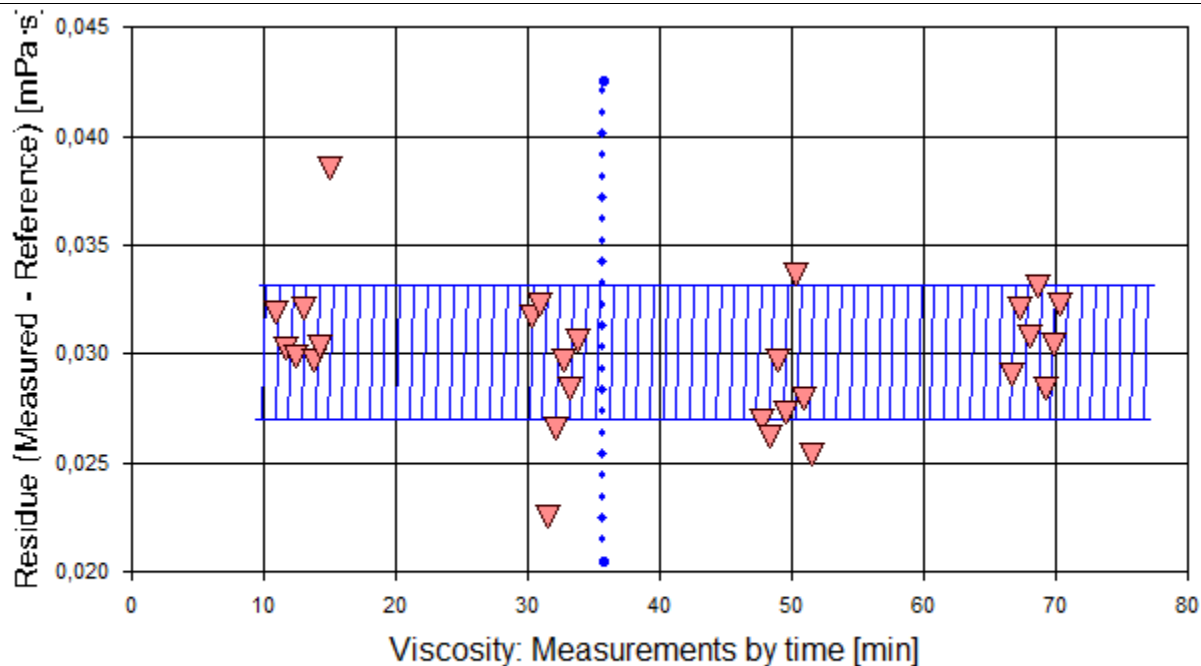
Beurteilung von Viskositäts- und Dichtemessungen anhand der Residuen: Bei Proben, deren Namen wie bei Diiodmethane nur einem Referenzeintrag in der Datenbank zugeordnet ist, können die Differenzen zwischen Mess- und berechneten Sollwerten zur Dichte von Diiodmethane und dem ähnlich viskosen Fluid 0,0027 bei der Interpretation helfen. 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 8. Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'



- Das Chart N°9, "rho-Residuen", zeigt temperaturkompensierte Abweichungen der einzelnen Dichtemesswerte 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.

→ Diagramm 9. Referenzabweichung der Viskositätsmesswerte - 'eta-Residuen'



Reference values for 'Diiodmethan' acc. to  $f(T[^\circ\text{C}])=3.836 \cdot \exp(-15.859 \cdot T/1000)$   
 Mean and Standarddev. of Residuals: 0,0301  $\pm$  0,0031 mPa·s, relative: +1,2% at a spread of 0,12%

- Das Chart N°10, "eta-Residuen", zeigt temperaturkompensierte Abweichungen der einzelnen Viskositätsmesswerte 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.

### • 5.1 Vergleich mit Diiodmethane bei 25°C

	Referenz	Messung	$\Delta$ absolut	$\Delta$ relativ	$\Delta / u$
$\rho$	3,3071	3,3070	-0,0001 g/cm <sup>3</sup>	30 ppm	<b>0,8</b>
$-\Delta\rho/\Delta T$	0,0027	0,0027	$\pm 0,0000$ g/cm <sup>3</sup> ·K <sup>-1</sup>	---	@

Referenzdatenbank liefert für  $\rho$  mit **Diiodmethan**, 3,30706 g/cm<sup>3</sup>, einen ähnlichen, präzisen, Vergleichswert. Der Unterschied zum Messwert beträgt absolut 0,0001 g/cm<sup>3</sup>.

### • 5.2. Referenzwerte zu Dichte und Viskosität

---	DICHTE -- REFERENZEN	(g/cm <sup>3</sup> )	-----	ABWEICHUNG	----	REF. ID
1.	Diiodmethan <sup>1</sup>	3,30706	---	---	---	ID1406.8
2.	Diiodmethane <sup>1</sup>	3,30706	---	---	---	ID1409.0
3.	Diiodmethane (S3) <sup>1</sup>	3,30620	-300 ppm	---	---	ID1410.5
4.	Thalliumformiat <sup>1</sup>	3,49	+5,6%	---	---	ID1327.1
5.	Tetrabromethan <sup>2</sup>	3,0087 (20°C)	-9,0%	---	---	ID1326.8
6.	Bromoform <sup>1</sup>	2,8761	-13%	---	---	ID5.3
7.	Tribrompropan <sup>2</sup>	2,41	-27%	---	---	ID1325.6

---	VISKOSITÄT	(mPa·s)	-----	ABWEICHUNG	----	REF. ID
1.	Diiodmethan <sup>1</sup>	2,5804	-1,2%	---	---	ID1178.1
2.	HP 51645 (schwarz) <sup>1</sup>	2,702	+3,4%	---	---	ID1121.1
3.	1-Butanol <sup>1</sup>	2,489	-4,7%	---	---	ID96.4
4.	Hexafluorbenzol <sup>1</sup>	2,789	+6,8%	---	---	ID128.5
5.	Diaceton alkohol <sup>1</sup>	2,798	+7,2%	---	---	ID155.8
6.	Isophoron <sup>1</sup>	2,347	-10%	---	---	ID215.4
7.	Pentachlorethan <sup>1</sup>	2,254	-14%	---	---	ID25.8

<sup>1</sup>Wert für 25,0°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

**Messkörper:** Name *BayStil\_13.0/PA*, IDN° 7043, Spaltweite 1,495 mm.

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

**Messkörperdaten:** Messzylindermasse  $32,5795 \pm 0,0001$  g, ~volumen  $4,060751 \pm 0,00015$  cm<sup>3</sup>, ~durchmesser  $13,011 \pm 0,001$  mm, ~länge  $43,002 \pm 0,001$  mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient  $48,735 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ . Messzylindersuspension: Querschnitt  $0,021$  mm<sup>2</sup>, Umfang  $0,515$  mm, Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (*drift- und fehlerfreie Dichtemessung*).

**Behälter/Röhre:** Durchmesser  $16,0005 \pm 0,005$  mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient  $9,2 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ .

**Bezugstemperatur** für Abmessungen und Ausdehnungskoeffizienten  $25^\circ\text{C}$ .

**Kinetische Energie-** Korrektur (Faktor Zeta):  $\zeta = 1,35$ .

**Individuelle Werte:** Eine Korrekturkraft ( $F_\theta$ ) wird nicht verwendet. Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage:  $76,0$  mm, max. Bewegungstrecke in der Phase:  $33,0$  mm.

**Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu  $1,0\%$  bestimmt; die Messunsicherheit der Dichte ( $\pm 0,00012$  g/cm<sup>3</sup>) 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 Quadratesumme der Einzelunsicherheiten berechnet; diese sind summarisch zu jeder Einzelmessung angegeben in der Spalte  $\sigma_\eta$  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. IMPro finished as projected.

## Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZA224) wurde im Messablauf und bereits  $341,1$  Stunden vor dieser Messung justiert.

**IMETER ID23903733: Technische Daten:** Auflösung des Wägesystems  $0,1$  mg, Messunsicherheit (Linearität)  $0,2$  mg, Dichte der Justiermasse  $\rho_{\text{cal}}$   $8,000$  g/cm<sup>3</sup>, Luftdichte  $\rho_{\text{air}}$  vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung  $g$   $9,80769$  m/s<sup>2</sup>. Pt100-Temperaturmessung: Auflösung  $0,001$ [K], Messunsicherheit  $\pm 0,0051$ [K],  $R^\circ$   $100,0018$ [Ohm], AutoCal  $30$ [min] (BN°2,  $-25/150^\circ\text{C}$ , 4S, FS15, Offset:  $-0,0226$ ). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt  $0,01$  K, die Unsicherheit  $0,03$  K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.1.10, LizenzN° \*3037-4759\*, Windows 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

### Justierung der Wägezelle während der Messung:

at  $10,3$  min, Adjustment  $-0,0001$  g

Die während der Messung automatisch ausgeführten Wägezellen-Justierungen sind mit relativem End-Zeitpunkt und korrigierter Abweichung oberhalb dokumentiert (die kompletten Kalibrier- und Justierprotokolle sind in der Datei 'imeterData34.cal' gesondert gespeichert).

### Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	$\phi$ [%]	$T_a$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$p_a$ [kPa]	$\rho_{\text{air}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
9,0	47,53	25,439	95,569	1,10853
29,9	46,94	25,68	95,605	1,10805
47,2	46,18	25,85	95,625	1,10769
66,3	46,71	25,990	95,658	1,10742

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