

# ID N° 14622 - DiVA-Method: Rheological Measurement

## Rheologische Systemprüfung 50 Raten mit Wasser

Standardaufbau mit verspiegeltem Temperiergefäß, vollummantelt, Glasdeckel 1mm<sup>2</sup> Öffnung. Kalibrierprüfung.

Sample/Ref.: **Wasser** • ideal Newtonian (nearly perfect)

Results at 25,00°C

Viscosity:  $\eta_{(100,0s^{-1})} = 0,895 \pm 0,032 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $\nu = 0,898 \pm 0,032 \text{ mm}^2/\text{s}$

2,8 x 50 shear rates  $\text{dec.}^{-\text{exp}(830 \rightarrow 0,96)} \cdot \text{s}^{-1}$ , resolves  $K = 0,9039 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{0,9979}$  and  $n = 0,9979$

Density:  $\rho = 0,99701 \pm 0,000083 \text{ g/cm}^3$

## 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 ( $\eta$ ). Durch Variationen der Relativgeschwindigkeit, liefert die Messung *rheologische Eigenschaften* - die Viskosität in Abhängigkeit vom Schergradienten ( $\dot{\gamma}$ ). Dem hier durchmessenen Bereich  $0,961 \text{ s}^{-1}$  bis  $829,52 \text{ s}^{-1}$  kommt technisch die Bedeutung von *Oberflächenverlauf* bis etwa *kräftigem Pumpen, Rakeln* zu. -- Auf den Messkörper wirken stets durch die *Dichte* des Probenfluids bedingte Auftriebskräfte. Die Dichte  $\rho$  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 Rotationsrheometer-Techniken bietet M5 DiVA überhaupt Kohärenz, Integrität und Haltbarkeit, eine deterministische MessTechnik ohne *×Oberflächeneffekte*, *×Wirbelbildung*, *×Zentrifugalkräfte*, *×Lagerreibung* oder *×unklare 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](https://imeter.de/?view=article&id=58)**

### • 2. ÜBERSICHT

Die Viskosität wurde 139-mal gemessen, die Dichte 150-mal. Messdauer zwei Stunden; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum ziemlich grob isotherm bei 25,0°C. .

### • 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

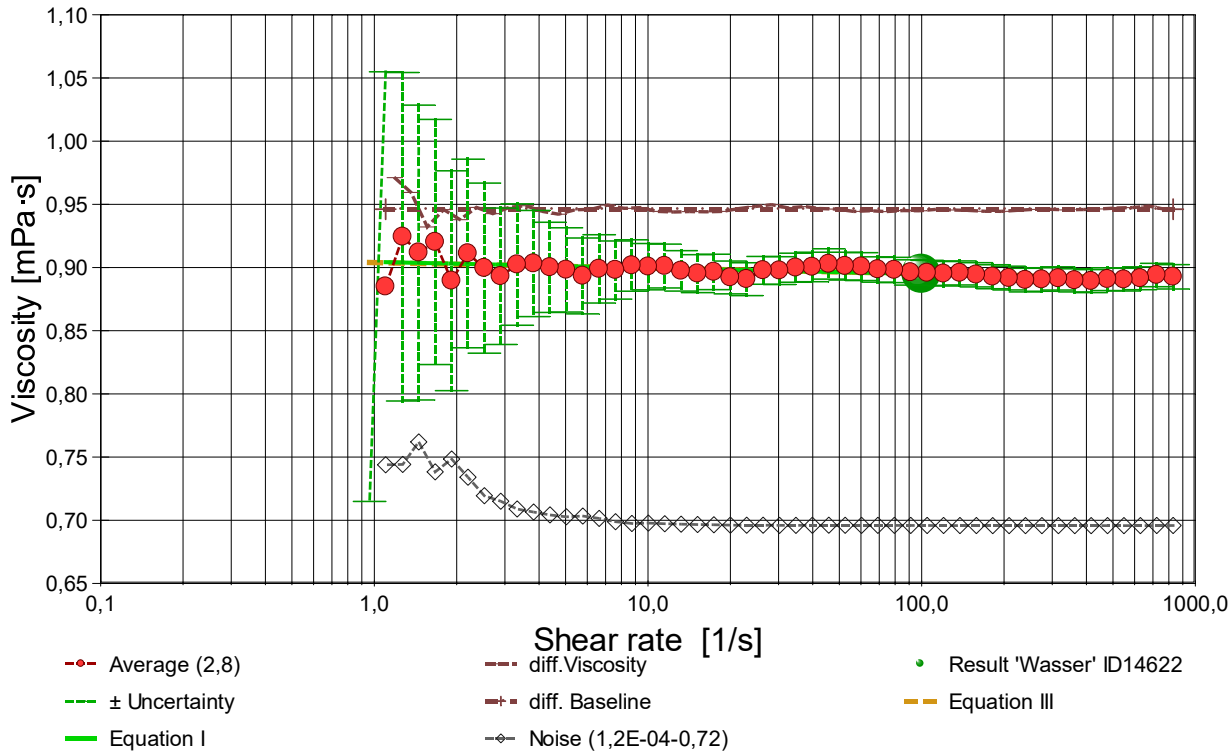
Temperatur **Wasser-Probe** in Rheometrie-Messung:  $25,051 \pm 0,025 \text{ °C}$ , Zeitbereich: 3,5 bis 146,3 Minuten. Die 139 Viskositätsmesswerte wurden mit 50 unterschiedlichen Scherraten ( $\dot{\gamma}$ ) ermittelt und analysieren den Bereich zwischen  $0,961$  bis  $829,52 \text{ s}^{-1}$  wobei die Viskosität ( $\eta$ ) Werte zwischen  $0,87$  bis  $0,943 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  erreicht. Die Ergebnisangabe der Messung  $0,8949 \pm 0,032 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  für  $\dot{\gamma} = 100,0 \text{ s}^{-1}$  wurde aus einer Regressionsgleichung zu den Messwerten berechnet:

$$\eta_{25,1^\circ\text{C}} [\text{mPa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma} [1/\text{s}]) = 0,90444 \cdot \dot{\gamma}^{(-0,0022979)}$$

Gleichung I,  $r^2 = 0,3$ ,  $\sigma \pm 0,0069\%$

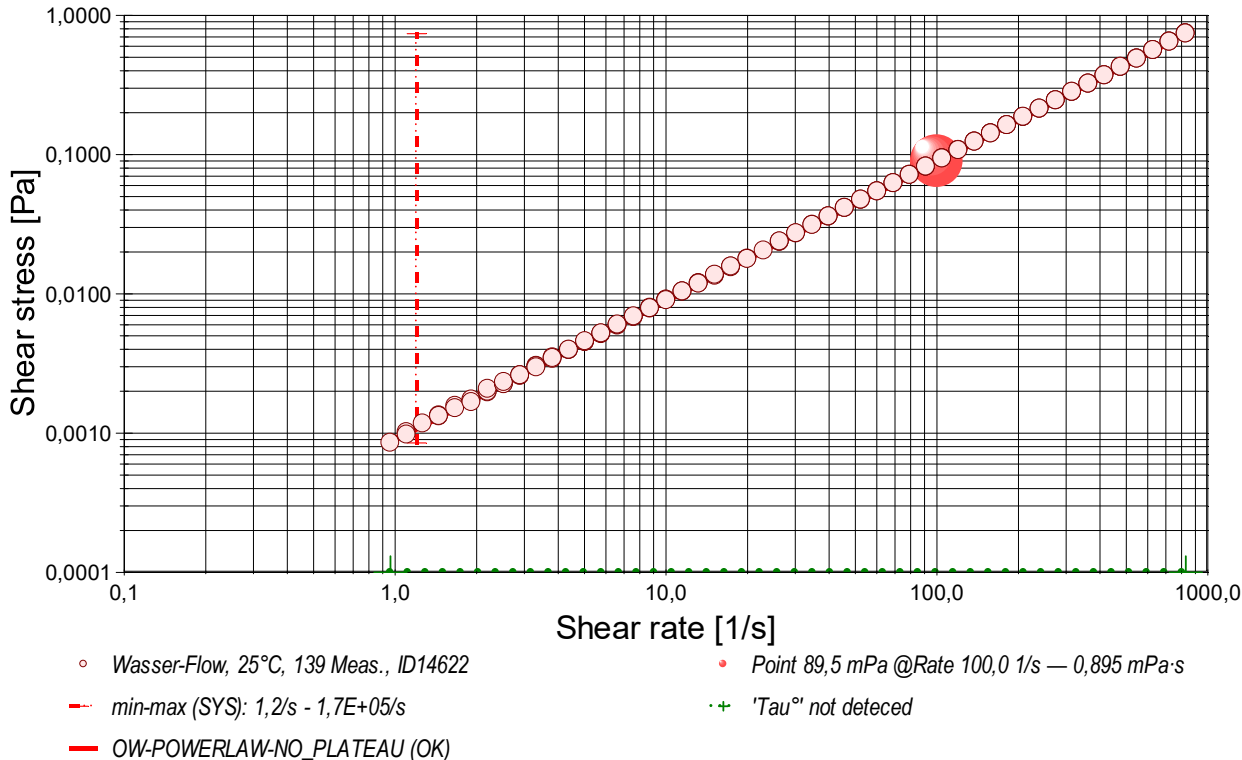
- Die Regressionsgleichung kombiniert die Menge der Messwerte. (sie hat 'zufällig' die gleiche Form, wie das empirische Ostwald/de Waale - Potenzgesetz, vgl. Gleichung III) Zur Qualitätsbeurteilung, wie gut die Messwerte durch die Regressionsgleichung abgebildet werden, wird der Standardfehler als Gauß'sche Unsicherheit d.h. als *RMSPE (Root Mean Square Percentage Error)* bestimmt, der Wurzel aus dem mittleren quadratischen relativen Fehler. Diese Messunsicherheit wird als relative Standardabweichung " $\sigma \pm U\%$ " der Regressionsgleichung ausgewiesen.

- *Diagramm 1. Viskosität in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit - 'Viskositätskurve-Lin-Log'*



- Das Diagramm 2, "Viskositätskurve-Lin-Log", zeigt die Viskositätswerte  $\eta$  als rote, kugelförmige Markierungen. Senkrechte, grün gezeichnete Linien markieren zugehörige Werte der Messunsicherheit ( $\pm 2\sigma$ , Tabelle III). Die Ausgangsdaten stammen von einer Messwert-Mittelung über gleiche Scherraten in den drei durchlaufenen Zyklen. (vgl. *Zeit-Visko-Chart*). Der numerische Differenzenquotient der 50 Scherraten (diff.Viscosity) ist als relative Kurve mit zugehöriger Basislinie mit  $d\eta/d\ln(\dot{\gamma}) = 0$  eingezeichnet. Der Verlauf der Viskositätsänderung bietet mitunter exakt lokalisierbare rheologische Qualitäten: ein Kurvenverlauf über der Nullbezugslinie ("diff.Baseline") bedeutet Dilatanz, unter Null liegt Strukturviskosität vor, eine Differenziallage, auf oder dicht an der Null-Linie, drückt newtonische Proportionalität aus. Mit raute-förmigen Marken wird 'Noise' (als strukturell-dissipatives Merkmal der Schergradienten Fluktuation) angezeigt. Die zwei Regressionsgraphen nach Gleichung I und Gleichung III zeigen im Diagramm die mathematischen Näherungen an die Messwerte.

- Diagramm 2. Verhältnis von Schubspannung und Schergeschwindigkeit - 'Fließkurve (log)'



- Die dynamische Viskosität ist definiert als das Verhältnis von Schubspannung zu Schergeschwindigkeit ( $\eta = \tau / \dot{\gamma}$ ) und ist für newtonsche Fluide zu allen Verhältnisse von  $\tau$  und  $\dot{\gamma}$  konstant. - Das Diagramm 3, "Fließkurve (log)", zeigt die Lage der einzelnen Messwerte in den Koordinaten von Schergeschwindigkeit und Schubspannung. Der Verlauf markiert die sog. Fließkurve. Zu den Werten ist die Regressionsfunktion (Gleichung II) gemäß Potenz-Fließgesetz nach W. Ostwald und de Waele. eingezeichnet.

Die rheologischen Verhältnisse in **Wasser** bei 25°C beschreibt die Gleichung II insgesamt exzellent:

$$\tau \text{ [Pa]} = 9,039 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{\gamma}^{0,9979} \quad \text{Gleichung II, } r^2 = 0,9999901, \sigma \pm 0,91\%$$

Konsistenz ( $K = 0,9039 \text{ mPa}$ ) und Fließindex ( $n = 0,9979$ ) charakterisieren das Fließverhalten der Wasser-Probe; die Kennzahlen ergeben sich aus dem klassischen Potenzgesetz. Die Ableitung von Gl.II nach der Schergeschwindigkeit ( $\dot{\gamma} \rightarrow \ddot{\gamma}$ ) ergibt die Gleichung III zur Beschreibung der Viskosität als Funktion der Deformation:

$$\eta \text{ [mPa·s]} = 0,9039 \cdot \dot{\gamma}^{-0,0021} \quad \text{Gleichung III, } r^2 = \sim 0, \text{VK}=1,0\%, \sigma \pm 9,1\text{E-}06\%$$

Daraus eine Kurzdiagnose zur Wasser-Probe: • **Newtonsche Idealdynamik**.

• Das System zeigt vernachlässigbare Fließgrenzen; die rheologische Dynamik wird primär durch viskose Dissipation

bestimmt.

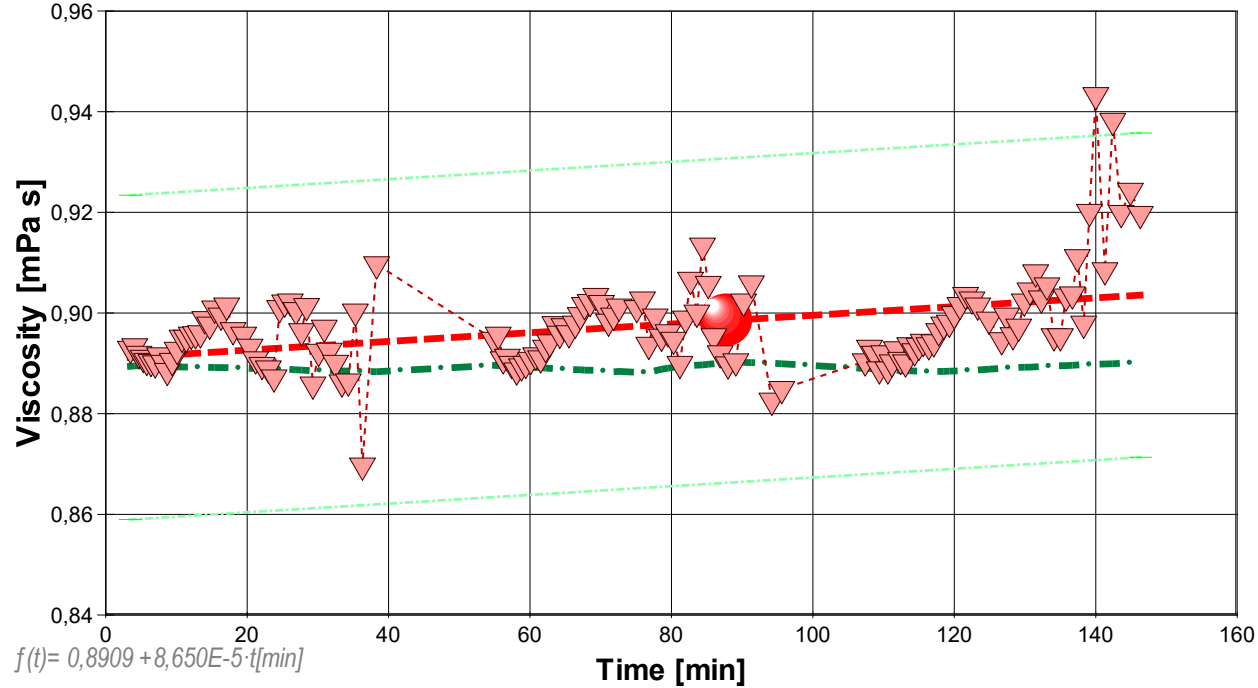
• Das System verhält sich idealviskos; eine strukturelle Fließgrenze ist messtechnisch nicht nachweisbar (Newton-Limit).

• Der Verlauf des  $\tau/\dot{\gamma}$ -Differenzials im Viskositätsdiagramm ermöglicht die Beurteilung spezifischer Flußmodifikatoren anhand des Verlaufs der *differenziellen Viskosität* ( $\dot{\gamma}$ ).

'M5 DiVA - DifferentialViscosity-Axio-rheometry. M5 DiVA means real-flow-Rheometry.

- <Bitte beachten: die automatisch erzeugten Texte und Gleichungen sind grundsätzlich mit Vorsicht zu betrachten. So könnte hier zu klären sein, ob tatsächlich ein newton'sches Verhalten anzunehmen ist. Verfahren und aufbereitete Ergebnisse erfordern Expertise und fachmenschliche Besprechung.>

- Diagramm 4. Der zeitliche Verlauf der Viskositätswerte - 'eta-Zeit'



- ▽ - IDN°14622, 139 Measurements, 2,8 cycles, dec.    ± 3,6%    - - - ref. 'Wasser'  
 - - - Wasser, lin. equation f(t)    - - - 87,8[min]: 0,8951 mPa·s

- Im Diagramm 4, "eta-Zeit", sind die einzelnen Messwerte als Dreiecke in zeitlicher Sequenz abgebildet. - Die Darstellung zeigt die Viskositätswerte entsprechend der Chronologie der angewendeten Scherraten. 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° IDN°14622	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.	3,5	25,034	0,8929	24,99	12,7969	0,7407	179,6	829,51	236
2.	4,1	25,030	0,8934	21,78	11,1574	0,6458	156,5	722,84	205
3.	4,7	25,030	0,8919	18,98	9,7054	0,5618	136,4	629,88	179
4.	5,3	25,032	0,8911	16,53	8,4462	0,4889	118,8	548,61	156
5.	5,8	25,035	0,8905	14,39	7,3500	0,4254	103,5	477,74	136
6.	6,4	25,037	0,8903	12,54	6,4027	0,3706	90,14	416,28	119
7.	7,0	25,040	0,8900	10,93	5,5771	0,3228	78,54	362,69	103
8.	7,6	25,038	0,8916	9,519	4,8667	0,2817	68,42	315,96	90,0
9.	8,2	25,040	0,8901	8,287	4,2301	0,2448	59,56	275,06	78,4
10.	8,7	25,041	0,8885	7,220	3,6783	0,2129	51,89	239,63	68,5
11.	9,4	25,037	0,8905	6,290	3,2119	0,1859	45,21	208,78	59,5
12.	10,1	25,039	0,8927	5,479	2,8046	0,1623	39,38	181,85	51,7
13.	10,8	25,041	0,8951	4,775	2,4510	0,1419	34,32	158,49	44,9
14.	11,4	25,041	0,8951	4,159	2,1348	0,1236	29,89	138,04	39,1
15.	12,1	25,042	0,8957	3,623	1,8609	0,1077	26,04	120,26	34,1
16.	12,7	25,044	0,8958	3,155	1,6205	0,09380	22,67	104,71	29,7
17.	13,4	25,044	0,8960	2,749	1,4125	0,08176	19,76	91,244	25,9
18.	14,0	25,045	0,8988	2,395	1,2344	0,07145	17,21	79,497	22,5
19.	14,7	25,044	0,8977	2,085	1,0734	0,06213	14,99	69,211	19,6
20.	15,4	25,046	0,901	1,817	0,9388	0,0543	13,1	60,32	17
21.	16,3	25,046	0,899	1,583	0,8165	0,0473	11,4	52,54	15
22.	17,1	25,047	0,902	1,379	0,7131	0,0413	9,91	45,78	13
23.	18,0	25,050	0,897	1,201	0,6177	0,0358	8,63	39,88	11
24.	19,5	25,053	0,896	0,9116	0,4682	0,0271	6,55	30,26	8,6
25.	20,4	25,054	0,893	0,7939	0,4067	0,0235	5,71	26,35	7,5
26.	21,2	25,056	0,891	0,6916	0,3533	0,0204	4,97	22,95	6,5
27.	22,1	25,056	0,890	0,6026	0,3075	0,0178	4,33	20,00	5,7
28.	23,0	25,059	0,889	0,5247	0,2675	0,0155	3,77	17,41	5,0
29.	23,8	25,060	0,887	0,4572	0,2326	0,0135	3,29	15,18	4,3
30.	24,6	25,062	0,901	0,3984	0,2058	0,0119	2,86	13,22	3,7
31.	25,3	25,062	0,902	0,3470	0,1795	0,0104	2,49	11,52	3,2
32.	26,1	25,064	0,902	0,3023	0,1564	0,00905	2,17	10,03	2,8

33.	26,9	25,069	0,901	0,2633	0,1360	0,00787	1,89	8,739	2,5
34.	27,7	25,071	0,896	0,2293	0,1179	0,00682	1,65	7,612	2,2
35.	28,4	25,074	0,901	0,1998	0,1033	0,00598	1,44	6,631	1,9
36.	29,3	25,075	0,886	0,1741	0,0884	0,00512	1,25	5,778	1,7
37.	30,1	25,076	0,892	0,1516	0,0776	0,00449	1,09	5,032	1,4
38.	30,9	25,073	0,897	0,1321	0,0680	0,00393	0,950	4,385	1,2
39.	31,6	25,075	0,892	0,1150	0,0589	0,00341	0,827	3,818	1,1
40.	32,5	25,076	0,890	0,1002	0,0511	0,00296	0,720	3,326	0,95
41.	33,4	25,079	0,886	0,08728	0,0444	0,00257	0,627	2,897	0,83
42.	34,3	25,080	0,886	0,07604	0,0387	0,00224	0,547	2,524	0,72
43.	35,3	25,081	0,900	0,06624	0,0342	0,00198	0,476	2,199	0,62
44.	36,3	25,084	0,870	0,05772	0,0288	0,00167	0,415	1,916	0,56
[45.	37,2	25,086	0,928	0,05028	0,0267	0,00155	0,361	1,669	0,46]*
46.	38,3	25,087	0,910	0,04379	0,0228	0,00132	0,315	1,453	0,41
[47.	39,4	25,090	0,952	0,03814	0,0208	0,00121	0,274	1,266	0,34]*
[48.	40,7	25,092	0,87	0,03324	0,0165*	9,6E-04	0,24	1,10	0,3]*
[49.	42,2	25,096	0,86	0,02895	0,0142*	8,2E-04	0,21	0,961	0,3]*
50.	54,9	25,025	0,8947	24,99	12,8228	0,7422	179,6	829,51	235
51.	55,5	25,027	0,8957	21,78	11,1858	0,6474	156,5	722,83	205
52.	56,2	25,029	0,8908	18,98	9,6937	0,5611	136,4	629,88	179
53.	56,8	25,031	0,8913	16,53	8,4483	0,4890	118,8	548,61	156
54.	57,4	25,033	0,8899	14,39	7,3448	0,4251	103,5	477,74	136
55.	58,1	25,036	0,8886	12,54	6,3912	0,3699	90,14	416,28	119
56.	58,8	25,037	0,8894	10,93	5,5733	0,3226	78,54	362,69	104
57.	59,4	25,040	0,8899	9,519	4,8575	0,2812	68,42	315,96	90,1
58.	60,1	25,042	0,8907	8,287	4,2330	0,2450	59,56	275,07	78,4
59.	60,8	25,045	0,8916	7,220	3,6914	0,2137	51,89	239,63	68,2
60.	61,5	25,048	0,8910	6,290	3,2137	0,1860	45,21	208,77	59,5
61.	62,2	25,051	0,8931	5,479	2,8061	0,1624	39,38	181,85	51,7
62.	62,8	25,054	0,8942	4,775	2,4486	0,1417	34,32	158,49	45,0
63.	63,5	25,057	0,8978	4,159	2,1412	0,1239	29,89	138,04	39,0
64.	64,2	25,060	0,8959	3,623	1,8616	0,1077	26,04	120,26	34,1
65.	64,8	25,062	0,8974	3,155	1,6233	0,09396	22,67	104,71	29,6
66.	65,5	25,064	0,8960	2,749	1,4124	0,08175	19,76	91,245	25,9
67.	66,4	25,067	0,8979	2,395	1,2332	0,07138	17,21	79,498	22,5
68.	67,1	25,068	0,8996	2,085	1,0757	0,06226	14,99	69,211	19,5
69.	67,7	25,072	0,902	1,817	0,9396	0,0544	13,1	60,32	17
70.	68,5	25,073	0,902	1,583	0,8190	0,0474	11,4	52,54	15
71.	69,3	25,079	0,903	1,379	0,7146	0,0414	9,91	45,78	13
72.	70,1	25,078	0,902	1,201	0,6214	0,0360	8,63	39,88	11
73.	71,1	25,086	0,898	1,046	0,5390	0,0312	7,52	34,73	9,8
74.	71,8	25,088	0,900	0,9116	0,4702	0,0272	6,55	30,26	8,5
75.	72,6	25,084	0,901	0,7939	0,4103	0,0237	5,71	26,35	7,4
76.	75,1	25,093	0,901	0,5247	0,2711	0,0157	3,77	17,41	4,9
77.	75,9	25,095	0,903	0,4572	0,2367	0,0137	3,29	15,18	4,3
78.	76,8	25,092	0,894	0,3984	0,2042	0,0118	2,86	13,22	3,8
79.	77,7	25,077	0,899	0,3470	0,1789	0,0104	2,49	11,52	3,3
80.	78,6	25,063	0,895	0,3023	0,1552	0,00898	2,17	10,03	2,8
81.	79,5	25,052	0,896	0,2633	0,1353	0,00783	1,89	8,739	2,5
82.	80,3	25,045	0,895	0,2293	0,1177	0,00681	1,65	7,611	2,2
83.	81,2	25,038	0,890	0,1998	0,1020	0,00590	1,44	6,631	1,9
84.	82,0	25,031	0,899	0,1741	0,0897	0,00519	1,25	5,778	1,6
85.	82,7	25,027	0,907	0,1516	0,0788	0,00456	1,09	5,032	1,4
86.	83,6	25,023	0,900	0,1321	0,0682	0,00395	0,950	4,385	1,2
87.	84,4	25,020	0,913	0,1150	0,0602	0,00349	0,827	3,818	1,1
88.	85,2	25,014	0,906	0,1002	0,0520	0,00301	0,720	3,326	0,93
89.	86,0	25,009	0,895	0,08729	0,0448	0,00259	0,627	2,897	0,82
90.	86,9	25,004	0,892	0,07604	0,0389	0,00225	0,547	2,524	0,72
91.	88,0	25,000	0,890	0,06624	0,0338	0,00196	0,476	2,199	0,63
92.	89,1	24,996	0,890	0,05772	0,0295	0,00171	0,415	1,916	0,55
93.	90,2	24,996	0,902	0,05028	0,0260	0,00151	0,361	1,669	0,47
94.	91,3	24,998	0,91	0,04379	0,0227*	0,0013	0,31	1,45	0,4
[95.	92,4	24,999	0,95	0,03814	0,0209*	0,0012	0,27	1,27	0,3]*
96.	94,2	25,004	0,88	0,03324	0,0168*	9,7E-04	0,24	1,10	0,3
97.	95,6	25,009	0,88	0,02895	0,0147*	8,5E-04	0,21	0,961	0,3
98.	107,4	25,056	0,8904	24,99	12,7600	0,7386	179,6	829,52	236
99.	108,0	25,057	0,8931	21,78	11,1540	0,6456	156,5	722,84	205
100.	108,7	25,060	0,8919	18,98	9,7065	0,5618	136,4	629,88	179
101.	109,4	25,063	0,8888	16,53	8,4245	0,4876	118,8	548,61	157
102.	110,0	25,066	0,8920	14,39	7,3627	0,4262	103,5	477,75	136
103.	110,6	25,067	0,8888	12,54	6,3921	0,3700	90,14	416,28	119
104.	111,2	25,071	0,8902	10,93	5,5781	0,3229	78,54	362,69	103
105.	111,8	25,072	0,8928	9,519	4,8736	0,2821	68,42	315,96	89,8
106.	112,4	25,078	0,8907	8,287	4,2331	0,2450	59,56	275,07	78,4
107.	113,1	25,077	0,8902	7,220	3,6854	0,2133	51,89	239,64	68,3
108.	113,7	25,078	0,8936	6,290	3,2233	0,1866	45,21	208,78	59,3
109.	114,4	25,080	0,8924	5,479	2,8037	0,1623	39,38	181,85	51,7
110.	115,0	25,085	0,8935	4,775	2,4465	0,1416	34,32	158,49	45,0
111.	115,6	25,087	0,8943	4,159	2,1329	0,1235	29,89	138,04	39,2
112.	116,4	25,086	0,8936	3,623	1,8568	0,1075	26,04	120,26	34,2
113.	117,1	25,086	0,8942	3,155	1,6176	0,09363	22,67	104,71	29,7
114.	117,8	25,084	0,8964	2,749	1,4131	0,08179	19,76	91,245	25,8
115.	118,5	25,084	0,8977	2,395	1,2329	0,07136	17,21	79,498	22,5
116.	119,3	25,081	0,8981	2,085	1,0739	0,06216	14,99	69,211	19,6
117.	120,0	25,080	0,900	1,817	0,9378	0,0543	13,1	60,32	17
118.	120,8	25,077	0,902	1,583	0,8185	0,0474	11,4	52,54	15
119.	121,6	25,076	0,904	1,379	0,7147	0,0414	9,91	45,78	13
120.	122,5	25,073	0,903	1,201	0,6219	0,0360	8,63	39,88	11

121.	123,3	25,071	0,902	1,046	0,5410	0,0313	7,52	34,73	9,8
122.	124,9	25,062	0,899	0,7939	0,4092	0,0237	5,71	26,35	7,4
123.	126,7	25,054	0,895	0,6026	0,3091	0,0179	4,33	20,00	5,7
124.	127,4	25,050	0,900	0,5247	0,2706	0,0157	3,77	17,41	4,9
125.	128,3	25,047	0,896	0,4572	0,2348	0,0136	3,29	15,18	4,3
126.	129,1	25,045	0,897	0,3984	0,2050	0,0119	2,86	13,22	3,7
127.	129,9	25,043	0,902	0,3470	0,1795	0,0104	2,49	11,52	3,2
128.	130,7	25,042	0,904	0,3023	0,1568	0,00907	2,17	10,03	2,8
129.	131,5	25,039	0,908	0,2633	0,1371	0,00794	1,89	8,738	2,4
130.	132,3	25,036	0,903	0,2293	0,1187	0,00687	1,65	7,612	2,1
131.	133,1	25,033	0,906	0,1998	0,1037	0,00600	1,44	6,631	1,9
132.	134,1	25,031	0,895	0,1741	0,0894	0,00517	1,25	5,778	1,6
133.	135,0	25,028	0,895	0,1516	0,0778	0,00451	1,09	5,032	1,4
134.	135,8	25,028	0,903	0,1321	0,0684	0,00396	0,950	4,385	1,2
135.	136,7	25,024	0,904	0,1150	0,0596	0,00345	0,827	3,818	1,1
136.	137,4	25,021	0,911	0,1002	0,0524	0,00303	0,720	3,326	0,93
137.	138,3	25,019	0,898	0,08729	0,0449	0,00260	0,627	2,897	0,82
138.	139,1	25,017	0,920	0,07604	0,0401	0,00232	0,547	2,524	0,70
139.	140,0	25,014	0,943	0,06624	0,0358	0,00207	0,476	2,199	0,59
140.	141,3	25,011	0,908	0,05772	0,0301	0,00174	0,415	1,916	0,54
141.	142,4	25,009	0,938	0,05028	0,0270	0,00157	0,361	1,669	0,45
142.	143,6	25,005	0,92	0,04379	0,0231×	0,0013	0,31	1,45	0,4
143.	144,9	25,002	0,92	0,03814	0,0202×	0,0012	0,27	1,27	0,3
144.	146,3	25,000	0,92	0,03324	0,0175×	0,0010	0,24	1,10	0,3
[145.	147,7	24,999	0,96	0,02895	0,0159×	9,2E-04	0,21	0,961	0,3]*

\*[Angaben der Messung N° 45, 47, 48, 49, 95, 145 wurden durch den Prüfer von den Resultaten ausgenommen.]

**Tabellensymbole:**  $t$  Zeitpunkt [min],  $\vartheta$  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],  $\dot{\gamma}$  Schergeschwindigkeit [s<sup>-1</sup>],  $Re$  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 ( $F_\zeta$ ), die viskose Reibung der Messzylinder-Aufhängung im Medium ( $F_{h\eta}$ ), die rekursiv bestimmt wird, sowie ein konstanter Beitrag  $F_\theta$ , der die *Meniskus-Kraft* ausgleicht - d.i. die sehr kleine dynamische Zusatzkraft durch die Benetzungsdynamik der Phasengrenze zwischen Suspension (Messkörperaufhängung) und Probenoberfläche. Die reibungsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich aus  $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_\zeta - F_{h\eta} - F_\theta$ . Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt, ( $F_\theta$  wird in den Konfigurationsangaben aufgeführt). Das Zeichen "×" kennzeichnet solche  $F_z$ -Werte, die eine (zu) große Standardabweichung aufweisen ( $\sigma > 1\%$ ) und evtl. fehlerbehaftet sind. Die Schubspannung  $\tau$  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;  $v_m = v_z \cdot r_a^2 / (r_a^2 - r_i^2)$ , mit  $r_a$  Röhrenradius und  $r_i$  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  $d = 2(r_a - r_i)$  berechnet wird. Die Scherrate, Schergeschwindigkeit oder Deformation  $\dot{\gamma}$ , die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

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

N°	$F_w$	$\sigma_{Fw}$	$\sigma_{Fw\ rel}$ -- Alle Werteinträge in [mN] --	$F_p$	$F_{hp}$	$F_\zeta$	$F_{h\eta}$	$N/n$ Datenauswahl
1.	427,4512	0,02890	68 ppm	412,9625	0,004015	1,69	7,94E-04	3/9
2.	425,4048	0,02703	64 ppm	412,9616	0,003505	1,28	6,04E-04	4/10
3.	423,6449	0,01125	27 ppm	412,9626	0,004050	0,973	6,08E-04	4/12
4.	422,1514	0,004479	11 ppm	412,9640	0,004753	0,738	6,21E-04	3/15
5.	420,8771	0,005410	13 ppm	412,9643	0,004684	0,560	5,32E-04	3/16
6.	419,7977	0,008755	21 ppm	412,9665	0,004162	0,425	4,12E-04	8/20
7.	418,8692	0,009402	22 ppm	412,9661	0,004116	0,323	3,55E-04	10/23
8.	418,0810	0,009790	23 ppm	412,9663	0,004291	0,245	3,23E-04	12/28
9.	417,3843	0,009486	23 ppm	412,9655	0,004270	0,186	2,79E-04	15/33
10.	416,7849	0,01016	24 ppm	412,9626	0,004271	0,141	2,43E-04	17/37
11.	416,2874	0,008335	20 ppm	412,9655	0,004282	0,107	2,13E-04	20/44
12.	415,8499	0,008104	19 ppm	412,9612	0,004285	0,0811	1,86E-04	24/51
13.	415,4783	0,007288	18 ppm	412,9628	0,004318	0,0616	1,64E-04	28/59
14.	415,1469	0,006965	17 ppm	412,9625	0,004312	0,0467	1,42E-04	27/57
15.	414,8600	0,005019	12 ppm	412,9606	0,004303	0,0355	1,24E-04	30/64
16.	414,6117	0,005390	13 ppm	412,9613	0,004267	0,0269	1,07E-04	35/73
17.	414,3965	0,005012	12 ppm	412,9606	0,004262	0,0204	9,30E-05	37/78
18.	414,2154	0,004451	11 ppm	412,9626	0,004253	0,0155	8,12E-05	39/81
19.	414,0512	0,004040	9,8 ppm	412,9631	0,004251	0,0118	7,05E-05	40/83
20.	413,9127	0,00361	8,7 ppm	412,9621	0,00429	0,00893	6,23E-05	40/84
21.	413,7888	0,00350	8,5 ppm	412,9626	0,00425	0,00677	5,37E-05	41/85
22.	413,6845	0,00383	9,3 ppm	412,9632	0,00405	0,00514	4,46E-05	41/85
23.	413,5906	0,00294	7,1 ppm	412,9655	0,00367	0,00390	3,51E-05	41/86
24.	413,4381	0,00159	3,8 ppm	412,9636	0,00303	0,00225	2,19E-05	41/86
25.	413,3776	0,00109	2,6 ppm	412,9649	0,00279	0,00170	1,75E-05	41/86
26.	413,3232	0,00152	3,7 ppm	412,9641	0,00255	0,00129	1,39E-05	41/86
27.	413,2777	0,00145	3,5 ppm	412,9645	0,00236	9,81E-04	1,12E-05	42/87
28.	413,2380	0,00126	3,1 ppm	412,9649	0,00219	7,44E-04	9,07E-06	42/87
29.	413,2032	0,00105	2,5 ppm	412,9649	0,00203	5,65E-04	7,31E-06	41/86
30.	413,1731	0,00105	2,5 ppm	412,9616	0,00191	4,29E-04	6,08E-06	41/86
31.	413,1473	9,73E-04	2,4 ppm	412,9622	0,00180	3,25E-04	4,99E-06	41/86
32.	413,1233	8,10E-04	2,0 ppm	412,9612	0,00170	2,47E-04	4,12E-06	41/86
33.	413,1033	8,42E-04	2,0 ppm	412,9617	0,00162	1,87E-04	3,40E-06	41/86
34.	413,0842	9,68E-04	2,3 ppm	412,9606	0,00154	1,42E-04	2,81E-06	41/86
35.	413,0716	9,37E-04	2,3 ppm	412,9626	0,00148	1,08E-04	2,36E-06	41/86
36.	413,0584	8,77E-04	2,1 ppm	412,9642	0,00142	8,19E-05	1,94E-06	41/86
37.	413,0473	7,42E-04	1,8 ppm	412,9640	0,00137	6,21E-05	1,64E-06	41/85
38.	413,0376	6,27E-04	1,5 ppm	412,9638	0,00133	4,72E-05	1,40E-06	41/86
39.	413,0293	6,80E-04	1,6 ppm	412,9646	0,00129	3,58E-05	1,17E-06	41/86
40.	413,0196	6,63E-04	1,6 ppm	412,9626	0,00129	2,71E-05	1,02E-06	42/87

41.	413,0169	7,59E-04	1,8 ppm	412,9667	0,00129	2,06E-05	8,84E-07	42/88
42.	413,0109	8,50E-04	2,1 ppm	412,9664	0,00129	1,56E-05	7,71E-07	43/90
43.	413,0033	8,27E-04	2,0 ppm	412,9633	0,00129	1,19E-05	6,82E-07	44/92
44.	413,0008	9,10E-04	2,2 ppm	412,9662	0,00129	9,00E-06	5,74E-07	44/92
[45.	412,9954	7,71E-04	1,9 ppm	412,9629	0,00129	6,83E-06	5,33E-07	45/93]*
46.	412,9921	8,72E-04	2,1 ppm	412,9635	0,00129	5,18E-06	4,55E-07	45/93
[47.	412,9900	7,59E-04	1,8 ppm	412,9634	0,00129	3,93E-06	4,15E-07	45/94]*
[48.	412,9879	7,9E-04	1,9 ppm	412,9655	0,0013	2,99E-06	3,30E-07	45/94]*
[49.	412,9841	7,5E-04	1,8 ppm	412,9641	0,0013	2,26E-06	2,84E-07	46/95]*
50.	427,4763	0,05273	0,12‰	412,9614	0,003706	1,69	7,35E-04	3/8
51.	425,4314	0,02057	48 ppm	412,9597	0,003544	1,28	6,13E-04	4/10
52.	423,6370	0,01084	26 ppm	412,9665	0,004107	0,973	6,15E-04	4/12
53.	422,1514	0,005196	12 ppm	412,9619	0,004795	0,738	6,26E-04	3/15
54.	420,8719	0,006519	15 ppm	412,9643	0,004722	0,560	5,36E-04	3/17
55.	419,7844	0,009074	22 ppm	412,9649	0,004157	0,425	4,11E-04	8/20
56.	418,8626	0,009703	23 ppm	412,9634	0,004242	0,323	3,65E-04	10/24
57.	418,0683	0,009467	23 ppm	412,9628	0,004247	0,245	3,19E-04	12/28
58.	417,3858	0,008819	21 ppm	412,9642	0,004271	0,186	2,79E-04	15/33
59.	416,7980	0,008623	21 ppm	412,9627	0,004272	0,141	2,44E-04	17/38
60.	416,2871	0,008056	19 ppm	412,9635	0,004286	0,107	2,13E-04	20/44
61.	415,8525	0,007125	17 ppm	412,9622	0,004263	0,0811	1,85E-04	24/51
62.	415,4732	0,006936	17 ppm	412,9600	0,004290	0,0616	1,62E-04	28/59
63.	415,1507	0,001410	3,4 ppm	412,9606	0,005112	0,0467	1,69E-04	4/56
64.	414,8616	0,005981	14 ppm	412,9616	0,004288	0,0355	1,23E-04	31/65
65.	414,6118	0,005448	13 ppm	412,9587	0,004283	0,0269	1,07E-04	35/73
66.	414,3984	0,005124	12 ppm	412,9626	0,004253	0,0204	9,29E-05	38/79
67.	414,2140	0,004440	11 ppm	412,9624	0,004258	0,0155	8,12E-05	38/80
68.	414,0528	0,004308	10 ppm	412,9624	0,004248	0,0118	7,06E-05	40/83
69.	413,9140	0,00386	9,3 ppm	412,9626	0,00425	0,00893	6,17E-05	40/83
70.	413,7891	0,00340	8,2 ppm	412,9604	0,00427	0,00677	5,40E-05	41/85
71.	413,6852	0,00378	9,1 ppm	412,9624	0,00405	0,00514	4,47E-05	41/86
72.	413,5905	0,00310	7,5 ppm	412,9617	0,00367	0,00390	3,53E-05	42/87
73.	413,5088	0,00207	5,0 ppm	412,9630	0,00331	0,00296	2,76E-05	41/85
74.	413,4390	0,00148	3,6 ppm	412,9625	0,00304	0,00225	2,21E-05	41/86
75.	413,3793	0,00109	2,6 ppm	412,9630	0,00278	0,00170	1,76E-05	41/86
76.	413,2394	0,00111	2,7 ppm	412,9627	0,00219	7,44E-04	9,19E-06	42/87
77.	413,2045	0,00103	2,5 ppm	412,9622	0,00204	5,65E-04	7,46E-06	42/87
78.	413,1744	9,40E-04	2,3 ppm	412,9646	0,00191	4,29E-04	6,02E-06	41/86
79.	413,1491	9,67E-04	2,3 ppm	412,9646	0,00180	3,25E-04	4,97E-06	41/86
80.	413,1241	8,07E-04	2,0 ppm	412,9633	0,00170	2,47E-04	4,08E-06	41/86
81.	413,1066	8,08E-04	2,0 ppm	412,9656	0,00162	1,87E-04	3,38E-06	41/86
82.	413,0869	8,08E-04	2,0 ppm	412,9636	0,00154	1,42E-04	2,80E-06	41/86
83.	413,0712	0,00103	2,5 ppm	412,9635	0,00148	1,08E-04	2,33E-06	41/86
84.	413,0597	8,16E-04	2,0 ppm	412,9642	0,00142	8,19E-05	1,97E-06	41/86
85.	413,0492	9,46E-04	2,3 ppm	412,9646	0,00137	6,21E-05	1,67E-06	41/86
86.	413,0358	7,52E-04	1,8 ppm	412,9618	0,00133	4,72E-05	1,40E-06	41/86
87.	413,0316	7,12E-04	1,7 ppm	412,9655	0,00129	3,58E-05	1,20E-06	41/85
88.	413,0205	6,53E-04	1,6 ppm	412,9626	0,00129	2,71E-05	1,04E-06	41/85
89.	413,0144	6,21E-04	1,5 ppm	412,9638	0,00129	2,06E-05	8,93E-07	43/89
90.	413,0081	0,00120	2,9 ppm	412,9634	0,00129	1,56E-05	7,76E-07	43/90
91.	413,0036	8,31E-04	2,0 ppm	412,9640	0,00129	1,19E-05	6,73E-07	44/91
92.	413,0013	8,84E-04	2,1 ppm	412,9660	0,00129	9,00E-06	5,87E-07	44/92
93.	412,9948	9,46E-04	2,3 ppm	412,9630	0,00129	6,83E-06	5,18E-07	45/93
94.	412,9922	9,9E-04	2,4 ppm	412,9637	0,0013	5,18E-06	4,53E-07	45/93
[95.	412,9899	8,4E-04	2,0 ppm	412,9632	0,0013	3,93E-06	4,16E-07	45/94]*
96.	412,9899	9,6E-04	2,3 ppm	412,9673	0,0013	2,99E-06	3,35E-07	45/94
97.	412,9841	8,7E-04	2,1 ppm	412,9636	0,0013	2,26E-06	2,93E-07	45/94
98.	427,4181	0,05779	0,14‰	412,9660	0,003669	1,69	7,24E-04	3/8
99.	425,4044	0,02488	58 ppm	412,9646	0,003567	1,28	6,15E-04	4/10
100.	423,6507	0,009454	22 ppm	412,9675	0,004167	0,973	6,25E-04	4/12
101.	422,1326	0,009916	23 ppm	412,9662	0,004025	0,738	5,24E-04	6/15
102.	420,8918	0,006920	16 ppm	412,9662	0,004639	0,560	5,28E-04	3/16
103.	419,7850	0,009642	23 ppm	412,9646	0,004142	0,425	4,09E-04	8/20
104.	418,8711	0,01004	24 ppm	412,9672	0,004279	0,323	3,69E-04	10/24
105.	418,0891	0,009286	22 ppm	412,9675	0,004277	0,245	3,22E-04	12/28
106.	417,3866	0,01104	26 ppm	412,9649	0,004284	0,186	2,80E-04	15/33
107.	416,7969	0,009358	22 ppm	412,9675	0,004252	0,141	2,42E-04	17/37
108.	416,2996	0,008134	20 ppm	412,9663	0,004279	0,107	2,13E-04	20/44
109.	415,8539	0,007599	18 ppm	412,9660	0,004255	0,0811	1,84E-04	24/51
110.	415,4775	0,006842	16 ppm	412,9664	0,004300	0,0616	1,63E-04	27/58
111.	415,1492	0,006438	16 ppm	412,9665	0,004242	0,0467	1,40E-04	27/57
112.	414,8617	0,005415	13 ppm	412,9665	0,004304	0,0355	1,24E-04	31/65
113.	414,6153	0,005555	13 ppm	412,9678	0,004275	0,0269	1,07E-04	35/73
114.	414,4028	0,005343	13 ppm	412,9663	0,004261	0,0204	9,31E-05	38/79
115.	414,2155	0,004765	12 ppm	412,9642	0,004264	0,0155	8,13E-05	39/81
116.	414,0534	0,004284	10 ppm	412,9649	0,004245	0,0117	7,05E-05	40/83
117.	413,9144	0,00375	9,1 ppm	412,9649	0,00429	0,00893	6,22E-05	40/84
118.	413,7919	0,00370	8,9 ppm	412,9638	0,00424	0,00677	5,37E-05	41/85
119.	413,6859	0,00369	8,9 ppm	412,9630	0,00406	0,00514	4,48E-05	41/86
120.	413,5928	0,00297	7,2 ppm	412,9636	0,00368	0,00390	3,54E-05	41/86
121.	413,5113	0,00231	5,6 ppm	412,9636	0,00332	0,00296	2,77E-05	41/85
122.	413,3796	0,00107	2,6 ppm	412,9644	0,00278	0,00170	1,76E-05	41/86
123.	413,2801	0,00115	2,8 ppm	412,9652	0,00236	9,81E-04	1,13E-05	41/86
124.	413,2408	0,00119	2,9 ppm	412,9645	0,00219	7,44E-04	9,18E-06	41/86
125.	413,2070	0,00113	2,7 ppm	412,9665	0,00204	5,65E-04	7,42E-06	41/86
126.	413,1751	0,00101	2,4 ppm	412,9645	0,00190	4,29E-04	6,03E-06	41/85
127.	413,1495	0,00110	2,7 ppm	412,9644	0,00180	3,25E-04	5,00E-06	41/86
128.	413,1272	9,79E-04	2,4 ppm	412,9648	0,00171	2,47E-04	4,13E-06	41/86

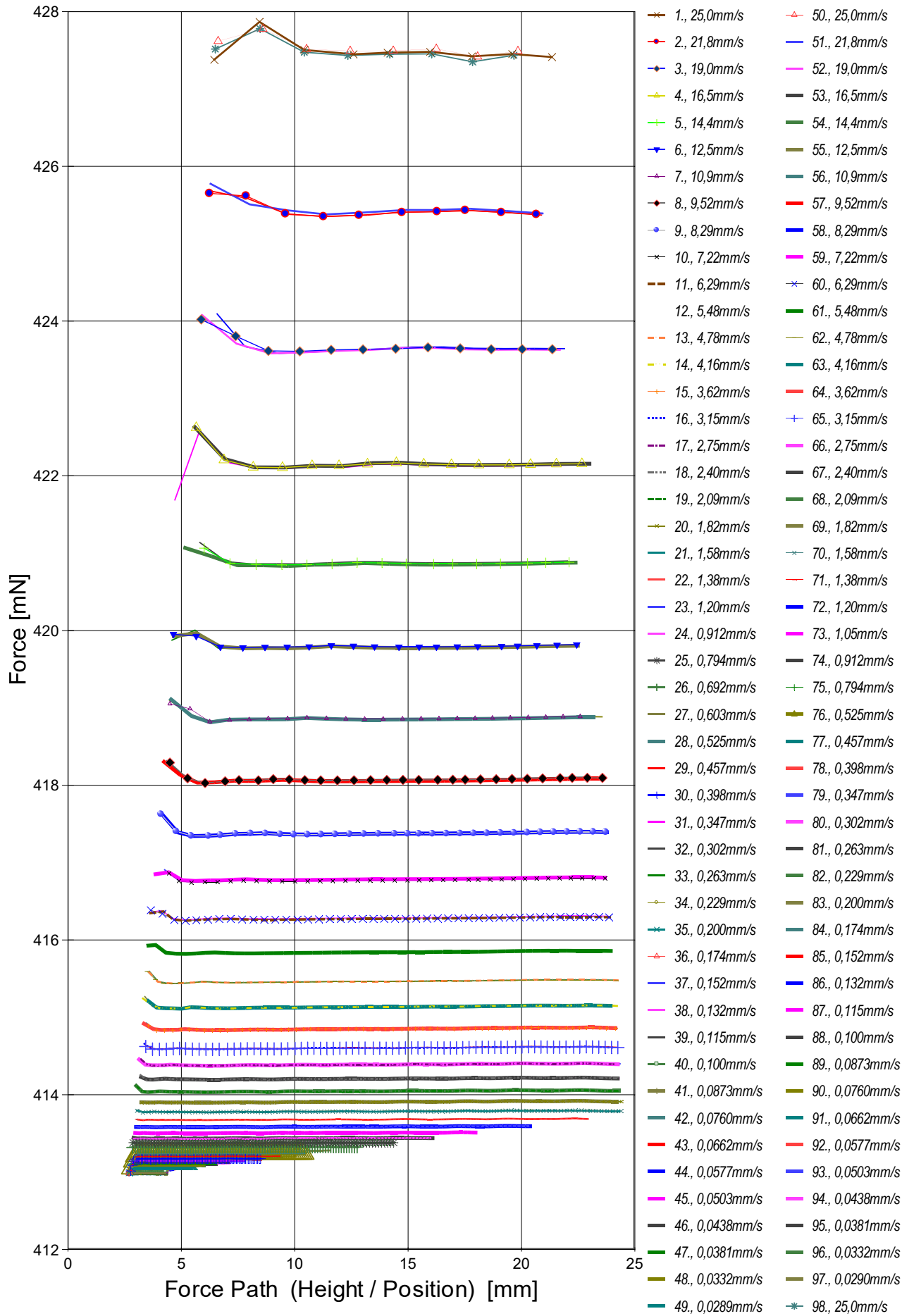
129.	413,1073	7,27E-04	1,8 ppm	412,9646	0,00161	1,87E-04	3,42E-06	41/85
130.	413,0890	7,20E-04	1,7 ppm	412,9646	0,00154	1,42E-04	2,83E-06	41/86
131.	413,0750	8,55E-04	2,1 ppm	412,9655	0,00148	1,08E-04	2,38E-06	41/86
132.	413,0597	0,00101	2,4 ppm	412,9646	0,00142	8,19E-05	1,96E-06	41/85
133.	413,0482	7,75E-04	1,9 ppm	412,9646	0,00137	6,21E-05	1,65E-06	41/85
134.	413,0393	5,89E-04	1,4 ppm	412,9650	0,00133	4,72E-05	1,40E-06	41/85
135.	413,0298	7,98E-04	1,9 ppm	412,9644	0,00129	3,58E-05	1,19E-06	41/86
136.	413,0215	9,12E-04	2,2 ppm	412,9633	0,00129	2,71E-05	1,04E-06	41/86
137.	413,0168	7,33E-04	1,8 ppm	412,9660	0,00129	2,06E-05	8,95E-07	43/89
138.	413,0092	7,94E-04	1,9 ppm	412,9633	0,00129	1,56E-05	8,00E-07	43/90
139.	413,0058	9,10E-04	2,2 ppm	412,9642	0,00129	1,19E-05	7,13E-07	44/91
140.	412,9998	9,39E-04	2,3 ppm	412,9639	0,00129	9,00E-06	5,99E-07	44/91
141.	412,9970	7,24E-04	1,8 ppm	412,9642	0,00129	6,83E-06	5,39E-07	45/93
142.	412,9915	9,2E-04	2,2 ppm	412,9626	0,0013	5,18E-06	4,60E-07	45/93
143.	412,9935	8,9E-04	2,2 ppm	412,9675	0,0013	3,93E-06	4,03E-07	45/94
144.	412,9905	9,7E-04	2,3 ppm	412,9671	0,0013	2,99E-06	3,49E-07	45/94
[145.	412,9886	8,0E-04	1,9 ppm	412,9669	0,0013	2,26E-06	3,17E-07	45/94]*

\*[Angaben der Messung N° 45, 47, 48, 49, 95, 145 wurden durch den Prüfer von den Resultaten ausgenommen.]

**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],  $F_z$  Term für den Druckabfall durch die Bildung des Strömungsprofils (*Kinetische Energie-Korrektion*) [mN],  $F_{h\eta}$  Kraftwertmittelwert infolge der Flüssigkeitsreibung an der Suspension [mN],  $N/n$  Abstastung: 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 5, Force\_Path, unterhalb, zeigt eine größere Wertemenge an, als für die Berechnung verwendet wird). Neben den statischen Korrekturen ist mit  $F_z$  die kinetischen Energie-Korrektur angegeben, die analog zu (Glas-) Kapillarviskosimetern mit dem Faktor  $\zeta$  der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht:  $F_z = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r_i^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

-> Diagramm 5. Die 'Kraft-Weg-Rohdaten' - 'Force\_Path'



- Diagramm 5, "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. Sofern sich kein ausreichend stationärer Verlauf zum Kurvenende hin ausbildet, können entsprechende Störungen - oder Probeneigenschaften - als Symptom verschiedener Ursachen gedeutet werden: ein Temperaturgefälle liegt vor, die Probe ist vertikal inhomogen, Mehrphasigkeit, Resonanz, Turbulenz (Re), die Probe scherverdünnend, scherverfestig (bewegzeitabhängig) im Ringspalt. Alle Kurven-Störungen betreffen die Angaben zu Noise und Messunsicherheit  $\Sigma\sigma$ . Das Gesamtvolumen im Ringspalt von 1,75 cm<sup>3</sup> wird über die Bewegungstrecke von 10,9 mm komplett ausgetauscht.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

N°	'Noise'	HStart	L <sub>cl</sub>	D <sub>RSP</sub>	ΔD <sub>RSP</sub>	Ø <sub>zyl.</sub>	L <sub>zyl.</sub>	Σσ	Σσ <sub>rel.</sub>
	[μPa/mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[μm]	[mm]	[mm]	[mPa·s]	

1.	6,59E-04	6,448	14,895	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
2.	9,42E-04	6,245	14,417	0,8512	-0,00220	14,2991	43,0800	0,0093	1,0%
3.	2,60E-04	5,876	15,486	0,8512	-0,00220	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
4.	6,92E-05	5,657	17,008	0,8512	-0,00235	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
5.	1,24E-04	6,005	16,092	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
6.	2,80E-04	4,652	17,785	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
7.	3,31E-04	4,494	18,096	0,8512	-0,00294	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
8.	3,56E-04	4,494	19,077	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
9.	3,45E-04	4,106	19,616	0,8512	-0,00294	14,2991	43,0800	0,0093	1,0%
10.	4,51E-04	4,460	19,227	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,0094	1,1%
11.	4,30E-04	3,633	20,273	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,0094	1,1%
12.	4,50E-04	3,595	20,393	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,0095	1,1%
13.	5,57E-04	3,578	20,662	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,0096	1,1%
14.	7,19E-04	3,308	20,991	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,0098	1,1%
15.	8,68E-04	3,549	20,592	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,0096	1,1%
16.	0,00134	3,375	20,707	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,0099	1,1%
17.	0,00178	3,224	20,951	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,01	1,1%
18.	0,00198	3,200	21,066	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,01	1,1%
19.	0,00246	3,010	21,265	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,01	1,1%
20.	0,00261	3,247	21,169	0,8512	-0,00338	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
21.	0,00277	3,046	21,265	0,8512	-0,00338	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
22.	0,00344	3,086	19,832	0,8512	-0,00345	14,2991	43,0800	0,012	1,3%
23.	0,00317	3,002	17,300	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
24.	0,00245	2,891	13,086	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
25.	0,00431	2,869	11,498	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
26.	0,00374	2,847	9,908	0,8512	-0,00411	14,2991	43,0800	0,013	1,5%
27.	0,00480	2,831	8,719	0,8512	-0,00411	14,2991	43,0800	0,013	1,5%
28.	0,00847	2,807	7,600	0,8512	-0,00433	14,2991	43,0800	0,014	1,6%
29.	0,00848	2,769	6,550	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,015	1,7%
30.	0,0117	2,759	5,737	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,016	1,8%
31.	0,0203	2,752	4,996	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,017	1,9%
32.	0,0208	2,741	4,354	0,8512	-0,00470	14,2991	43,0800	0,018	2,0%
33.	0,0249	2,732	3,798	0,8512	-0,00507	14,2991	43,0801	0,021	2,3%
34.	0,0431	2,713	3,300	0,8512	-0,00521	14,2991	43,0801	0,024	2,7%
35.	0,0531	2,705	2,867	0,8512	-0,00544	14,2991	43,0801	0,027	3,0%
36.	0,0884	2,698	2,498	0,8512	-0,00551	14,2991	43,0801	0,03	3,4%
37.	0,0637	2,695	2,174	0,8512	-0,00558	14,2991	43,0801	0,032	3,6%
38.	0,0763	2,688	1,891	0,8512	-0,00536	14,2991	43,0801	0,035	3,9%
39.	0,0859	2,679	1,649	0,8512	-0,00551	14,2991	43,0801	0,041	4,6%
40.	0,125	2,684	1,624	0,8512	-0,00558	14,2991	43,0801	0,047	5,3%
41.	0,225	2,684	1,630	0,8512	-0,00580	14,2991	43,0801	0,055	6,2%
42.	0,277	2,687	1,634	0,8512	-0,00588	14,2991	43,0801	0,065	7,3%
43.	0,319	2,672	1,655	0,8512	-0,00595	14,2991	43,0801	0,074	8,2%
44.	0,690	2,671	1,653	0,8512	-0,00617	14,2991	43,0801	0,087	10%
[45.	0,445	2,672	1,648	0,8512	-0,00632	14,2991	43,0801	0,095	10%]*
46.	0,561	2,674	1,642	0,8512	-0,00639	14,2991	43,0801	0,11	12%
[47.	0,682	2,676	1,647	0,8512	-0,00661	14,2991	43,0801	0,12	13%]*
[48.	0,864	2,677	1,643	0,8512	-0,00676	14,2991	43,0801	0,14	16%]*
[49.	0,842	2,676	1,652	0,8512	-0,00705	14,2991	43,0801	0,16	19%]*
50.	0,00141	6,622	13,221	0,8512	-0,00184	14,2991	43,0800	0,0098	1,1%
51.	6,90E-04	6,288	14,635	0,8512	-0,00198	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
52.	2,49E-04	5,914	15,770	0,8512	-0,00213	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
53.	7,36E-05	5,591	17,405	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
54.	1,13E-04	5,171	17,215	0,8512	-0,00242	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
55.	2,92E-04	4,664	17,822	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
56.	3,53E-04	4,549	18,631	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
57.	3,55E-04	4,237	19,125	0,8512	-0,00294	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
58.	3,29E-04	4,156	19,616	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
59.	3,74E-04	3,861	19,819	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,0093	1,0%
60.	3,91E-04	3,652	20,210	0,8512	-0,00353	14,2991	43,0800	0,0094	1,1%
61.	3,87E-04	3,551	20,388	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0094	1,1%
62.	5,04E-04	3,483	20,700	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,0096	1,1%
63.	7,37E-05	3,537	20,396	0,8512	-0,00419	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
64.	9,98E-04	3,350	20,791	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,0098	1,1%
65.	0,00138	3,428	20,821	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,0099	1,1%
66.	0,00169	3,139	21,110	0,8512	-0,00470	14,2991	43,0800	0,01	1,1%
67.	0,00199	3,227	21,018	0,8512	-0,00492	14,2991	43,0801	0,01	1,1%
68.	0,00243	3,010	21,274	0,8512	-0,00499	14,2991	43,0801	0,01	1,1%
69.	0,00267	3,234	20,973	0,8512	-0,00529	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
70.	0,00307	3,050	21,348	0,8512	-0,00536	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
71.	0,00372	3,054	19,784	0,8512	-0,00580	14,2991	43,0801	0,012	1,3%
72.	0,00277	3,003	17,375	0,8512	-0,00573	14,2991	43,0801	0,012	1,3%
73.	0,00239	2,967	15,006	0,8512	-0,00632	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
74.	0,00292	2,894	13,183	0,8512	-0,00646	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
75.	0,00377	2,868	11,447	0,8512	-0,00617	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
76.	0,00622	2,806	7,598	0,8512	-0,00683	14,2991	43,0801	0,014	1,6%
77.	0,00819	2,769	6,614	0,8512	-0,00698	14,2991	43,0801	0,015	1,7%
78.	0,0121	2,759	5,708	0,8512	-0,00676	14,2991	43,0801	0,016	1,8%
79.	0,0175	2,748	4,981	0,8512	-0,00566	14,2991	43,0801	0,017	1,9%
80.	0,0244	2,738	4,339	0,8512	-0,00463	14,2991	43,0800	0,018	2,0%
81.	0,0170	2,727	3,777	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,02	2,2%
82.	0,0247	2,709	3,295	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,023	2,6%
83.	0,0819	2,704	2,867	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,028	3,1%
84.	0,0828	2,699	2,506	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	0,029	3,2%
85.	0,108	2,695	2,190	0,8512	-0,00198	14,2991	43,0800	0,035	3,9%
86.	0,105	2,689	1,907	0,8512	-0,00169	14,2991	43,0800	0,037	4,1%
87.	0,102	2,680	1,646	0,8512	-0,00147	14,2991	43,0800	0,042	4,6%
88.	0,163	2,681	1,623	0,8512	-0,00103	14,2991	43,0800	0,046	5,1%

89.	0,171	2,685	1,633	0,8512	-6,61E-04	14,2991	43,0800	0,052	5,8%
90.	0,275	2,688	1,634	0,8512	-2,94E-04	14,2991	43,0800	0,073	8,2%
91.	0,361	2,671	1,642	0,8512	0	14,2991	43,0800	0,074	8,3%
92.	0,372	2,672	1,643	0,8512	2,94E-04	14,2991	43,0800	0,086	9,7%
93.	0,497	2,672	1,649	0,8512	2,94E-04	14,2991	43,0800	0,1	11%
94.	0,846	2,674	1,646	0,8512	1,47E-04	14,2991	43,0800	0,12	13%
[95.	0,689	2,676	1,647	0,8512	7,34E-05	14,2991	43,0800	0,13	14%]*
96.	0,941	2,677	1,644	0,8512	-2,94E-04	14,2991	43,0800	0,15	17%
97.	0,525	2,676	1,638	0,8512	-6,61E-04	14,2991	43,0800	0,17	19%
98.	0,00122	6,497	13,171	0,8512	-0,00411	14,2991	43,0800	0,0099	1,1%
99.	9,58E-04	6,179	14,700	0,8512	-0,00419	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
100.	2,26E-04	6,579	15,315	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
101.	3,06E-04	4,715	17,289	0,8512	-0,00463	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
102.	1,31E-04	5,818	16,208	0,8512	-0,00485	14,2991	43,0801	0,009	1,0%
103.	3,11E-04	4,589	17,835	0,8512	-0,00492	14,2991	43,0801	0,0091	1,0%
104.	3,42E-04	4,483	19,069	0,8512	-0,00521	14,2991	43,0801	0,0092	1,0%
105.	3,63E-04	4,361	19,096	0,8512	-0,00529	14,2991	43,0801	0,0092	1,0%
106.	4,38E-04	4,181	19,583	0,8512	-0,00573	14,2991	43,0801	0,0094	1,1%
107.	4,20E-04	4,265	19,335	0,8512	-0,00566	14,2991	43,0801	0,0094	1,1%
108.	3,93E-04	3,620	20,198	0,8512	-0,00573	14,2991	43,0801	0,0094	1,1%
109.	4,35E-04	3,480	20,388	0,8512	-0,00588	14,2991	43,0801	0,0095	1,1%
110.	4,99E-04	3,588	20,480	0,8512	-0,00624	14,2991	43,0801	0,0095	1,1%
111.	5,94E-04	3,392	20,691	0,8512	-0,00639	14,2991	43,0801	0,0097	1,1%
112.	9,19E-04	3,462	20,762	0,8512	-0,00632	14,2991	43,0801	0,0097	1,1%
113.	0,00137	3,425	20,764	0,8512	-0,00632	14,2991	43,0801	0,0099	1,1%
114.	0,00156	3,155	21,187	0,8512	-0,00617	14,2991	43,0801	0,01	1,1%
115.	0,00219	3,205	21,094	0,8512	-0,00617	14,2991	43,0801	0,01	1,1%
116.	0,00208	3,006	21,249	0,8512	-0,00595	14,2991	43,0801	0,01	1,1%
117.	0,00273	3,243	21,171	0,8512	-0,00588	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
118.	0,00270	3,041	21,276	0,8512	-0,00566	14,2991	43,0801	0,011	1,2%
119.	0,00282	3,039	19,887	0,8512	-0,00558	14,2991	43,0801	0,012	1,3%
120.	0,00334	3,013	17,360	0,8512	-0,00536	14,2991	43,0801	0,012	1,3%
121.	0,00291	2,993	14,967	0,8512	-0,00521	14,2991	43,0801	0,012	1,3%
122.	0,00351	2,869	11,461	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
123.	0,00351	2,828	8,706	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,013	1,5%
124.	0,00841	2,806	7,581	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,014	1,6%
125.	0,0119	2,774	6,615	0,8512	-0,00345	14,2991	43,0800	0,015	1,7%
126.	0,0147	2,757	5,707	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,016	1,8%
127.	0,0123	2,748	5,024	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,018	2,0%
128.	0,0207	2,737	4,367	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,019	2,1%
129.	0,0141	2,730	3,785	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,02	2,2%
130.	0,0333	2,709	3,310	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,022	2,4%
131.	0,0517	2,707	2,890	0,8512	-0,00242	14,2991	43,0800	0,026	2,9%
132.	0,0777	2,699	2,495	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	0,031	3,5%
133.	0,0572	2,694	2,173	0,8512	-0,00206	14,2991	43,0800	0,033	3,7%
134.	0,0958	2,687	1,893	0,8512	-0,00206	14,2991	43,0800	0,035	3,9%
135.	0,164	2,680	1,652	0,8512	-0,00176	14,2991	43,0800	0,043	4,8%
136.	0,143	2,682	1,638	0,8512	-0,00154	14,2991	43,0800	0,051	5,6%
137.	0,235	2,685	1,636	0,8512	-0,00140	14,2991	43,0800	0,055	6,1%
138.	0,222	2,687	1,629	0,8512	-0,00125	14,2991	43,0800	0,064	7,0%
139.	0,574	2,671	1,646	0,8512	-0,00103	14,2991	43,0800	0,076	8,1%
140.	0,665	2,688	1,633	0,8512	-8,08E-04	14,2991	43,0800	0,088	9,7%
141.	0,430	2,673	1,649	0,8512	-6,61E-04	14,2991	43,0800	0,094	10%
142.	0,762	2,675	1,645	0,8512	-3,67E-04	14,2991	43,0800	0,12	13%
143.	0,528	2,676	1,645	0,8512	-1,47E-04	14,2991	43,0800	0,13	14%
144.	0,955	2,677	1,644	0,8512	0	14,2991	43,0800	0,15	16%
[145.	0,932	2,676	1,638	0,8512	7,34E-05	14,2991	43,0800	0,17	18%]*

\*[Beiträge der Messung N° 45, 47, 48, 49, 95, 145 wurden durch den Prüfer von den Ergebnissen ausgenommen.]

**Tabellensymbole:** **Noise** Mittelwert von Auslenkungen und höherfrequenten Lastschwankungen 'Schergradienten Fluktuation' im Kurvenzug der Messkraft bestimmt. Der Wert ist über die Geschwindigkeit und Messkörper-mantelfläche normiert [ $\mu\text{Pa}/\text{mm}$ ],  $H_{\text{Start}}$  Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm],  $L_{\text{cp}}$  Länge der Suspension, deren Flüssigkeitsreibung und Auftrieb zur Korrektur der Kraft angewendet wird [mm],  $D_{\text{RSP}}$  Weite des Ringspalts zwischen Zylindermesskörper und Röhre bei der Temperatur [mm],  $\Delta D_{\text{RSP}}$  Änderung der Spaltweite durch Abweichung von der Bezugstemperatur 25°C [ $\mu\text{m}$ ],  $\theta_{\text{zyl}}$  Durchmesser des Messzylinders [mm],  $L_{\text{zyl}}$  Länge des Messzylinders [mm],  $\Sigma\sigma$  Absolute Summe der Unsicherheitsbeiträge, die dem jeweiligen Viskositätswert beigeordnet wird [ $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ] und  $\Sigma\sigma_{\text{rel}}$  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 Bewegung dar ( $\Delta F/\Delta s$ ); Steigungen im Verlauf der Stationärkraft werden ebenfalls in 'Noise' aufsummiert und bilanziert. Als oszillierende Mikrobeschleunigungen mit Extremwerten bei bestimmten Scherraten (und Proben) kann der Resonanzeffekt auf Inhomogenitäten in der Probe hindeuten. 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

150 Messwerte; Zeitbereich 3 bis 148 min, Temperatur  $\Delta T = 0,098 \text{ K}$  ( $\vartheta = 25,051 \pm 0,026^\circ\text{C}$ )

**Angabewert** bei 88 min:  $\rho_{25^\circ\text{C}} = 0,99701 \pm 0,000083 \text{ g/cm}^3$  bzw.  $\pm 83 \text{ ppm}$  (298,15 K, 96,97 kPa)

Streueung:  $\pm 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$  absolute bzw. 26 ppm relative Standardabweichung

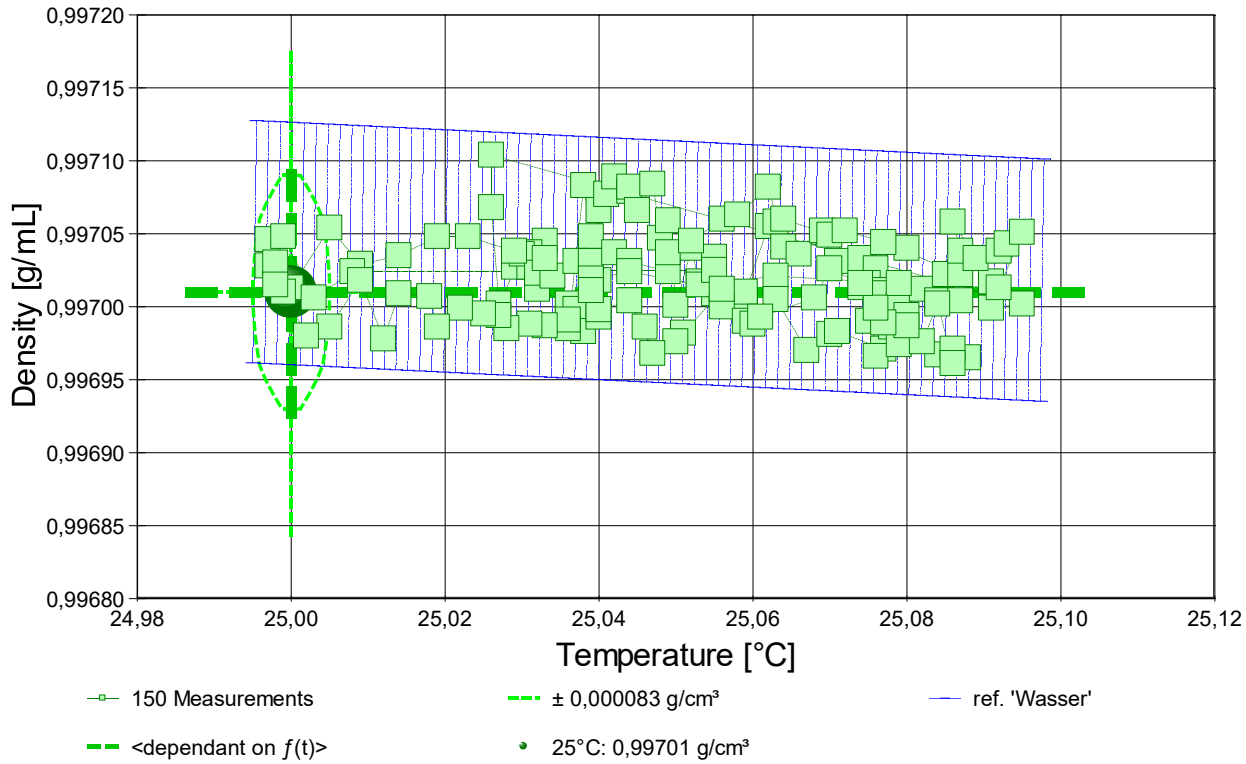
Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Zeitabhängigkeit durch Regression zwischen Minute 3 und 148:

$\rho(t[\text{min}]) = 0,997045 - 3,521\text{E-}7 \cdot t$  mit  $r^2 = 0,27, s^2 = 6,51\text{E-}10$

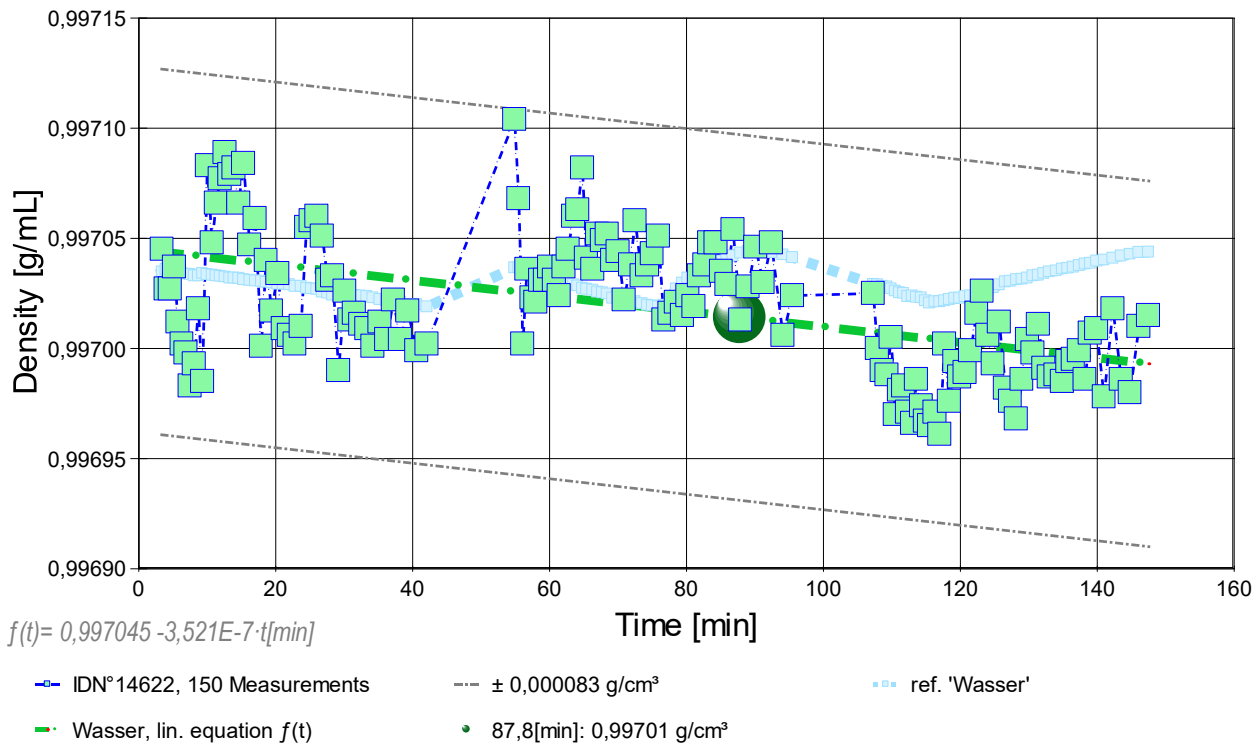
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei  $r^2 = 0,27$  eine schlechte 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 6. Temperaturabhängigkeit der Dichte - 'rho-Temp.'



- Das Diagramm 6, "rho-Temp.", zeigt die 150 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 7. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - 'rho-Zeit'



- Im Diagramm 7, "rho-Zeit", sind die einzelnen Messwerte als Quadrate in zeitlicher Sequenz abgebildet. Die Darstellung zeigt die Dichtewerte entsprechend der chronologischen Abfolge der Visko-Scherraten

Tabelle 4: Daten der Dichtemessung

N°	t	θ	ρ	H	ω	Δρ <sub>ω</sub>	N	F <sub>A</sub>	F <sub>korr.</sub>
IDN°14622	[min]	[°C]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[mm]	[s]	[g/cm <sup>3</sup> ]	Werte & Trend	[mN]	[mN], TSymb.
1.	3,4	25,033	<b>0,99704</b>	2,648	4,4	-1,8E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9625	0,0128 ‡
2.	4,0	25,029	<b>0,99703</b>	2,648	3,4	-3,6E-06	3 <sub>16</sub> ↑	412,9616	0,0108 ‡
3.	4,6	25,031	<b>0,99703</b>	2,648	4,4	-1,2E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9626	0,0118 ‡
4.	5,2	25,031	<b>0,99704</b>	2,648	4,6	-3,3E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9640	0,0138 ‡
5.	5,7	25,032	<b>0,99701</b>	2,648	3,4	-3,0E-05	3 <sub>17</sub> ←	412,9643	0,0126 ‡
6.	6,3	25,036	<b>0,99700</b>	2,648	3,4	-1,7E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9665	0,0143 ‡
7.	6,9	25,037	<b>0,99700</b>	2,648	4,4	-2,1E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9661	0,0137 ‡
8.	7,5	25,038	<b>0,99698</b>	2,648	3,6	-7,1E-06	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9663	0,0130 ‡
9.	8,1	25,040	<b>0,99699</b>	2,648	4,6	-1,9E-05	4 <sub>17</sub> ↑	412,9655	0,0128 ‡
10.	8,7	25,040	<b>0,99702</b>	2,648	3,5	-3,0E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9626	0,0113 ‡

11.	9,3	25,036	<b>0,99699</b>	2,648	3,5	-2,1E-05	3 <sub>17</sub> ↑	412,9655	0,0123 ‡
12.	10,0	25,038	<b>0,99708</b>	2,648	3,4	-8,8E-06	3 <sub>16</sub> ∨	412,9612	0,0138 ‡
13.	10,7	25,039	<b>0,99705</b>	2,648	4,4	-3,5E-05	4 <sub>17</sub> →	412,9628	0,0133 ‡
14.	11,3	25,040	<b>0,99707</b>	2,648	3,4	-1,2E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9625	0,0141 ‡
15.	11,9	25,041	<b>0,99708</b>	2,648	6,5	-1,1E-05	6 <sub>17</sub> ↓	412,9606	0,0129 ‡
16.	12,6	25,042	<b>0,99709</b>	2,648	6,4	-1,2E-05	6 <sub>17</sub> ↗	412,9613	0,0143 ‡
17.	13,3	25,044	<b>0,99708</b>	2,648	4,6	-1,9E-05	4 <sub>17</sub> ↑	412,9606	0,0130 ‡
18.	13,9	25,044	<b>0,99708</b>	2,648	3,4	-2,0E-05	3 <sub>16</sub> ↑	412,9626	0,0151 ‡
19.	14,6	25,045	<b>0,99707</b>	2,648	4,4	-8,2E-06	4 <sub>17</sub> ↗	412,9631	0,0146 ‡
20.	15,3	25,047	<b>0,99708</b>	2,648	3,4	-2,9E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9621	0,0147 ‡
21.	16,2	25,048	<b>0,99705</b>	2,648	6,4	-1,5E-05	6 <sub>16</sub> ↓	412,9626	0,0131 ‡
22.	17,0	25,049	<b>0,99706</b>	2,648	3,4	-3,3E-05	3 <sub>17</sub> ∨	412,9632	0,0144 ‡
23.	17,9	25,050	<b>0,99700</b>	2,648	4,5	-4,3E-05	4 <sub>16</sub> ↓	412,9655	0,0133 ‡
24.	18,6	25,052	<b>0,99704</b>	2,648	5,5	-4,0E-05	5 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0146 ‡
25.	19,4	25,053	<b>0,99702</b>	2,648	5,3	-4,7E-05	5 <sub>17</sub> ↓	412,9636	0,0123 ‡
26.	20,3	25,055	<b>0,99703</b>	2,648	4,4	-2,8E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9649	0,0146 ‡
27.	21,1	25,055	<b>0,99701</b>	2,648	6,5	-3,0E-05	6 <sub>17</sub> ⇔	412,9641	0,0123 ‡
28.	22,0	25,056	<b>0,99701</b>	2,648	5,5	-3,6E-05	5 <sub>16</sub> ⇔	412,9645	0,0125 ‡
29.	22,8	25,059	<b>0,99700</b>	2,648	7,3	-3,1E-05	7 <sub>16</sub> ↗	412,9649	0,0127 ‡
30.	23,7	25,059	<b>0,99701</b>	2,648	5,5	-2,8E-05	5 <sub>16</sub> ⇔	412,9649	0,0133 ‡
31.	24,5	25,062	<b>0,99705</b>	2,648	3,4	1,4E-06	3 <sub>17</sub> ↑	412,9616	0,0126 ‡
32.	25,2	25,063	<b>0,99706</b>	2,648	3,4	-1,5E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9622	0,0134 ‡
33.	26,0	25,064	<b>0,99706</b>	2,648	3,4	-1,2E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9612	0,0125 ‡
34.	26,8	25,069	<b>0,99705</b>	2,648	4,4	1,3E-05	4 <sub>17</sub> →	412,9617	0,0125 ‡
35.	27,6	25,071	<b>0,99703</b>	2,648	5,3	-1,2E-05	5 <sub>17</sub> ↑	412,9606	0,0102 ‡
36.	28,3	25,074	<b>0,99703</b>	2,648	3,5	-2,3E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9626	0,0123 ‡
37.	29,2	25,075	<b>0,99699</b>	2,648	6,3	-2,0E-05	6 <sub>17</sub> ↗	412,9642	0,0113 ‡
38.	30,1	25,076	<b>0,99703</b>	2,648	3,3	-3,1E-05	3 <sub>16</sub> ⇔	412,9640	0,0133 ‡
39.	30,8	25,074	<b>0,99701</b>	2,648	4,4	-1,3E-05	4 <sub>17</sub> →	412,9638	0,0123 ‡
40.	31,5	25,075	<b>0,99702</b>	2,648	4,4	-2,3E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0133 ‡
41.	32,4	25,076	<b>0,99701</b>	2,648	3,5	5,1E-06	3 <sub>17</sub> ↓	412,9626	0,0110 ‡
42.	33,3	25,077	<b>0,99701</b>	2,648	3,5	-1,2E-05	3 <sub>17</sub> ←	412,9667	0,0150 ‡
43.	34,2	25,079	<b>0,99700</b>	2,648	4,6	-4,9E-05	4 <sub>17</sub> ←	412,9664	0,0143 ‡
44.	35,2	25,082	<b>0,99701</b>	2,648	5,4	-4,7E-06	5 <sub>17</sub> ⇔	412,9633	0,0118 ‡
45.	36,2	25,084	<b>0,99700</b>	2,648	3,7	-3,2E-05	3 <sub>17</sub> ∨	412,9662	0,0143 ‡
46.	37,2	25,085	<b>0,99702</b>	2,648	3,5	-2,7E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9629	0,0120 ‡
47.	38,2	25,087	<b>0,99700</b>	2,648	3,5	-1,5E-05	3 <sub>17</sub> ←	412,9635	0,0115 ‡
48.	39,3	25,091	<b>0,99702</b>	2,648	3,4	1,2E-05	3 <sub>16</sub> ∨	412,9634	0,0122 ‡
49.	40,6	25,091	<b>0,99700</b>	2,648	3,6	-1,6E-05	3 <sub>16</sub> ↑	412,9655	0,0133 ‡
50.	42,1	25,095	<b>0,99700</b>	2,648	4,4	-6,2E-06	4 <sub>17</sub> ←	412,9641	0,0120 ‡
51.	54,9	25,026	<b>0,99710</b>	2,648	3,4	-2,9E-05	3 <sub>17</sub> ←	412,9614	0,0152 ‡
52.	55,5	25,026	<b>0,99707</b>	2,648	3,5	5,8E-06	3 <sub>17</sub> ↑	412,9597	0,0113 ‡
53.	56,1	25,027	<b>0,99700</b>	2,648	6,5	-3,7E-05	6 <sub>17</sub> ↓	412,9665	0,0143 ‡
54.	56,7	25,030	<b>0,99704</b>	2,648	4,6	-1,7E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9619	0,0117 ‡
55.	57,4	25,032	<b>0,99702</b>	2,648	3,6	6,3E-07	3 <sub>17</sub> ↗	412,9643	0,0133 ‡
56.	58,0	25,034	<b>0,99702</b>	2,648	3,7	-7,6E-06	3 <sub>17</sub> ←	412,9649	0,0138 ‡
57.	58,7	25,037	<b>0,99703</b>	2,648	3,7	-2,0E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9634	0,0129 ‡
58.	59,4	25,039	<b>0,99703</b>	2,648	3,4	-1,5E-06	3 <sub>17</sub> ←	412,9628	0,0123 ‡
59.	60,0	25,042	<b>0,99704</b>	2,648	3,5	-2,0E-05	3 <sub>17</sub> ↗	412,9642	0,0141 ‡
60.	60,7	25,044	<b>0,99703</b>	2,648	4,6	-2,7E-05	4 <sub>17</sub> →	412,9627	0,0122 ‡
61.	61,4	25,049	<b>0,99702</b>	2,648	6,4	-1,8E-05	6 <sub>17</sub> →	412,9635	0,0126 ‡
62.	62,1	25,049	<b>0,99704</b>	2,648	3,4	-3,4E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9622	0,0121 ‡
63.	62,7	25,052	<b>0,99705</b>	2,648	3,6	-2,6E-05	3 <sub>17</sub> ←	412,9600	0,0104 ‡
64.	63,5	25,056	<b>0,99706</b>	2,648	3,4	-2,4E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9606	0,0119 ‡
65.	64,1	25,058	<b>0,99706</b>	2,648	4,4	-2,0E-05	4 <sub>17</sub> ↑	412,9616	0,0131 ‡
66.	64,8	25,062	<b>0,99708</b>	2,648	3,4	-2,6E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9587	0,0113 ‡
67.	65,4	25,064	<b>0,99704</b>	2,648	4,6	-4,2E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9626	0,0128 ‡
68.	66,3	25,066	<b>0,99704</b>	2,648	6,5	-2,2E-05	6 <sub>17</sub> →	412,9624	0,0123 ‡
69.	67,0	25,069	<b>0,99705</b>	2,648	3,4	-1,2E-05	3 <sub>17</sub> ↗	412,9624	0,0133 ‡
70.	67,7	25,070	<b>0,99705</b>	2,648	3,4	-2,2E-05	3 <sub>16</sub> ↓	412,9626	0,0133 ‡
71.	68,4	25,072	<b>0,99705</b>	2,648	4,6	-2,4E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9604	0,0113 ‡
72.	69,2	25,080	<b>0,99704</b>	2,648	4,4	-3,4E-06	4 <sub>17</sub> ↗	412,9624	0,0126 ‡
73.	70,0	25,077	<b>0,99704</b>	2,648	4,5	-1,0E-05	4 <sub>16</sub> ⇔	412,9617	0,0121 ‡
74.	70,9	25,087	<b>0,99702</b>	2,648	10,9	-9,9E-06	11 <sub>16</sub> ∨	412,9630	0,0121 ‡
75.	71,8	25,087	<b>0,99704</b>	2,648	3,4	-3,4E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9625	0,0126 ‡
76.	72,5	25,086	<b>0,99706</b>	2,648	4,4	-9,9E-06	4 <sub>17</sub> ↗	412,9630	0,0143 ‡
77.	73,5	25,089	<b>0,99703</b>	2,648	3,5	-1,9E-05	3 <sub>17</sub> ←	412,9664	0,0162 ‡
78.	74,3	25,092	<b>0,99704</b>	2,648	3,5	-1,8E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0146 ‡
79.	75,0	25,093	<b>0,99704</b>	2,648	6,1	-1,8E-05	6 <sub>16</sub> →	412,9627	0,0131 ‡
80.	75,9	25,095	<b>0,99705</b>	2,648	3,5	-8,5E-06	3 <sub>17</sub> →	412,9622	0,0131 ‡
81.	76,7	25,092	<b>0,99701</b>	2,648	4,5	-1,8E-05	4 <sub>16</sub> ↓	412,9646	0,0132 ‡
82.	77,6	25,079	<b>0,99702</b>	2,648	4,4	-2,1E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0133 ‡
83.	78,5	25,063	<b>0,99702</b>	2,648	5,2	7,0E-06	5 <sub>16</sub> ⇔	412,9633	0,0123 ‡
84.	79,4	25,053	<b>0,99702</b>	2,648	3,5	-5,7E-06	3 <sub>17</sub> ←	412,9656	0,0143 ‡
85.	80,2	25,044	<b>0,99702</b>	2,648	4,4	-9,7E-06	4 <sub>17</sub> ↓	412,9636	0,0127 ‡
86.	81,1	25,039	<b>0,99702</b>	2,648	4,3	-1,1E-05	4 <sub>16</sub> →	412,9635	0,0123 ‡
87.	81,9	25,033	<b>0,99703</b>	2,648	4,6	-6,1E-06	4 <sub>17</sub> ↗	412,9642	0,0138 ‡
88.	82,7	25,029	<b>0,99704</b>	2,648	3,4	7,5E-06	3 <sub>16</sub> ↓	412,9646	0,0144 ‡
89.	83,4	25,023	<b>0,99705</b>	2,648	6,2	-2,0E-05	6 <sub>17</sub> →	412,9618	0,0123 ‡
90.	84,3	25,019	<b>0,99705</b>	2,648	3,6	-1,2E-05	3 <sub>17</sub> ↑	412,9655	0,0160 ‡
91.	85,1	25,014	<b>0,99704</b>	2,648	3,4	-3,3E-06	3 <sub>17</sub> ↑	412,9626	0,0123 ‡
92.	85,9	25,009	<b>0,99703</b>	2,648	3,4	-2,0E-05	3 <sub>17</sub> ∨	412,9638	0,0131 ‡
93.	86,8	25,005	<b>0,99705</b>	2,648	4,6	-6,4E-06	4 <sub>17</sub> ↗	412,9634	0,0142 ‡
94.	87,9	25,000	<b>0,99701</b>	2,648	4,6	-1,6E-05	4 <sub>16</sub> ↗	412,9640	0,0123 ‡
95.	89,0	24,997	<b>0,99703</b>	2,648	5,6	-1,9E-05	5 <sub>17</sub> ⇔	412,9660	0,0152 ‡
96.	90,1	24,997	<b>0,99705</b>	2,648	4,3	-1,5E-05	4 <sub>16</sub> ←	412,9630	0,0133 ‡
97.	91,2	24,998	<b>0,99703</b>	2,648	4,3	-2,3E-05	4 <sub>16</sub> ↗	412,9637	0,0130 ‡
98.	92,4	24,999	<b>0,99705</b>	2,648	3,4	-3,5E-05	3 <sub>16</sub> ∨	412,9632	0,0136 ‡

99.	94,1	25,003	<b>0,99701</b>	2,648	3,7	-5,1E-06	3 <sub>17</sub> →	412,9673	0,0152 ‡
100.	95,5	25,008	<b>0,99702</b>	2,648	4,3	-1,5E-05	4 <sub>16</sub> ↓	412,9636	0,0126 ‡
101.	107,3	25,055	<b>0,99703</b>	2,648	3,4	8,0E-06	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9660	0,0152 ‡
102.	107,9	25,056	<b>0,99700</b>	2,648	4,6	-1,3E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0123 ‡
103.	108,6	25,059	<b>0,99699</b>	2,648	6,4	-2,2E-05	6 <sub>17</sub> ↓	412,9675	0,0146 ‡
104.	109,3	25,060	<b>0,99699</b>	2,648	3,7	-1,2E-05	3 <sub>17</sub> →	412,9662	0,0133 ‡
105.	109,9	25,063	<b>0,99700</b>	2,648	4,4	-1,9E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9662	0,0143 ‡
106.	110,5	25,067	<b>0,99697</b>	2,648	3,4	5,8E-06	3 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0105 ‡
107.	111,1	25,070	<b>0,99698</b>	2,648	6,2	-2,7E-05	6 <sub>17</sub> ↗	412,9672	0,0139 ‡
108.	111,7	25,071	<b>0,99698</b>	2,648	3,5	-1,7E-05	3 <sub>17</sub> ↑	412,9675	0,0143 ‡
109.	112,3	25,077	<b>0,99697</b>	2,648	3,4	-4,2E-06	3 <sub>17</sub> ↘	412,9649	0,0109 ‡
110.	113,0	25,076	<b>0,99697</b>	2,648	3,4	1,7E-08	3 <sub>17</sub> ↓	412,9675	0,0133 ‡
111.	113,6	25,078	<b>0,99699</b>	2,648	3,4	3,0E-06	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9663	0,0133 ‡
112.	114,3	25,079	<b>0,99697</b>	2,648	4,6	-8,9E-06	4 <sub>17</sub> ↘	412,9660	0,0123 ‡
113.	114,9	25,084	<b>0,99697</b>	2,648	3,4	-1,9E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9664	0,0123 ‡
114.	115,5	25,088	<b>0,99697</b>	2,648	4,6	-2,1E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9665	0,0123 ‡
115.	116,3	25,086	<b>0,99697</b>	2,648	3,4	-1,5E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9665	0,0126 ‡
116.	117,0	25,086	<b>0,99696</b>	2,648	4,6	-2,5E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9678	0,0133 ‡
117.	117,7	25,084	<b>0,99700</b>	2,648	3,8	-2,1E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9663	0,0143 ‡
118.	118,4	25,082	<b>0,99698</b>	2,648	3,5	-2,1E-05	3 <sub>17</sub> ↘	412,9642	0,0105 ‡
119.	119,2	25,080	<b>0,99699</b>	2,648	3,4	-9,3E-06	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9649	0,0123 ‡
120.	119,9	25,080	<b>0,99699</b>	2,648	4,6	-2,8E-05	4 <sub>16</sub> ⇔	412,9649	0,0119 ‡
121.	120,7	25,077	<b>0,99699</b>	2,648	3,4	-1,2E-06	3 <sub>17</sub> ↘	412,9638	0,0109 ‡
122.	121,5	25,076	<b>0,99700</b>	2,648	3,5	-2,7E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9630	0,0107 ‡
123.	122,4	25,074	<b>0,99702</b>	2,648	3,4	-4,6E-06	3 <sub>17</sub> ↓	412,9636	0,0123 ‡
124.	123,2	25,070	<b>0,99703</b>	2,648	3,5	-3,0E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9636	0,0129 ‡
125.	124,0	25,068	<b>0,99701</b>	2,648	3,4	-1,4E-05	3 <sub>17</sub> ↗	412,9651	0,0133 ‡
126.	124,8	25,061	<b>0,99699</b>	2,648	3,5	-9,4E-06	3 <sub>17</sub> ↗	412,9644	0,0117 ‡
127.	125,7	25,056	<b>0,99701</b>	2,648	3,4	-2,8E-06	3 <sub>17</sub> ↘	412,9640	0,0124 ‡
128.	126,6	25,051	<b>0,99698</b>	2,648	3,4	-7,5E-06	3 <sub>17</sub> ↗	412,9652	0,0119 ‡
129.	127,3	25,050	<b>0,99698</b>	2,648	3,5	-2,5E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9645	0,0107 ‡
130.	128,2	25,047	<b>0,99697</b>	2,648	4,5	6,4E-06	4 <sub>16</sub> ↓	412,9665	0,0123 ‡
131.	129,0	25,046	<b>0,99699</b>	2,648	3,5	-2,5E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9645	0,0113 ‡
132.	129,8	25,044	<b>0,99700</b>	2,648	3,4	-6,1E-06	3 <sub>16</sub> →	412,9644	0,0123 ‡
133.	130,6	25,040	<b>0,99700</b>	2,648	3,7	-1,1E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9648	0,0123 ‡
134.	131,4	25,039	<b>0,99701</b>	2,648	4,5	-2,3E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0129 ‡
135.	132,2	25,036	<b>0,99699</b>	2,648	4,4	-3,5E-05	4 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0117 ‡
136.	133,0	25,033	<b>0,99699</b>	2,648	4,6	-1,6E-05	4 <sub>17</sub> ↑	412,9655	0,0124 ‡
137.	134,0	25,031	<b>0,99699</b>	2,648	3,4	-1,4E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0115 ‡
138.	134,9	25,028	<b>0,99699</b>	2,648	3,7	-1,3E-05	3 <sub>17</sub> ↓	412,9646	0,0113 ‡
139.	135,7	25,027	<b>0,99699</b>	2,648	3,5	-4,2E-06	3 <sub>17</sub> ↘	412,9650	0,0123 ‡
140.	136,5	25,025	<b>0,99700</b>	2,648	7,5	-3,5E-05	7 <sub>17</sub> ⇔	412,9644	0,0117 ‡
141.	137,4	25,022	<b>0,99700</b>	2,648	3,4	-4,7E-06	3 <sub>17</sub> ↘	412,9633	0,0108 ‡
142.	138,2	25,019	<b>0,99699</b>	2,648	3,4	-3,2E-05	3 <sub>17</sub> ⇔	412,9660	0,0128 ‡
143.	139,0	25,018	<b>0,99701</b>	2,648	3,5	-1,8E-05	3 <sub>17</sub> ↘	412,9633	0,0113 ‡
144.	139,9	25,014	<b>0,99701</b>	2,648	4,6	-2,8E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9642	0,0123 ‡
145.	141,0	25,012	<b>0,99698</b>	2,648	15,0	-6,2E-06	15 <sub>17</sub> ↘	412,9639	0,0101 ‡
146.	142,3	25,009	<b>0,99702</b>	2,648	5,6	-2,6E-05	5 <sub>17</sub> →	412,9642	0,0128 ‡
147.	143,5	25,005	<b>0,99699</b>	2,648	7,4	-2,5E-05	7 <sub>17</sub> ↑	412,9626	0,0093 ‡
148.	144,8	25,002	<b>0,99698</b>	2,648	3,4	-2,2E-05	3 <sub>17</sub> ↑	412,9675	0,0139 ‡
149.	146,1	24,999	<b>0,99701</b>	2,648	6,3	6,6E-06	6 <sub>17</sub> →	412,9671	0,0152 ‡
150.	147,5	24,998	<b>0,99702</b>	2,648	4,4	-2,4E-05	4 <sub>17</sub> ⇔	412,9669	0,0153 ‡

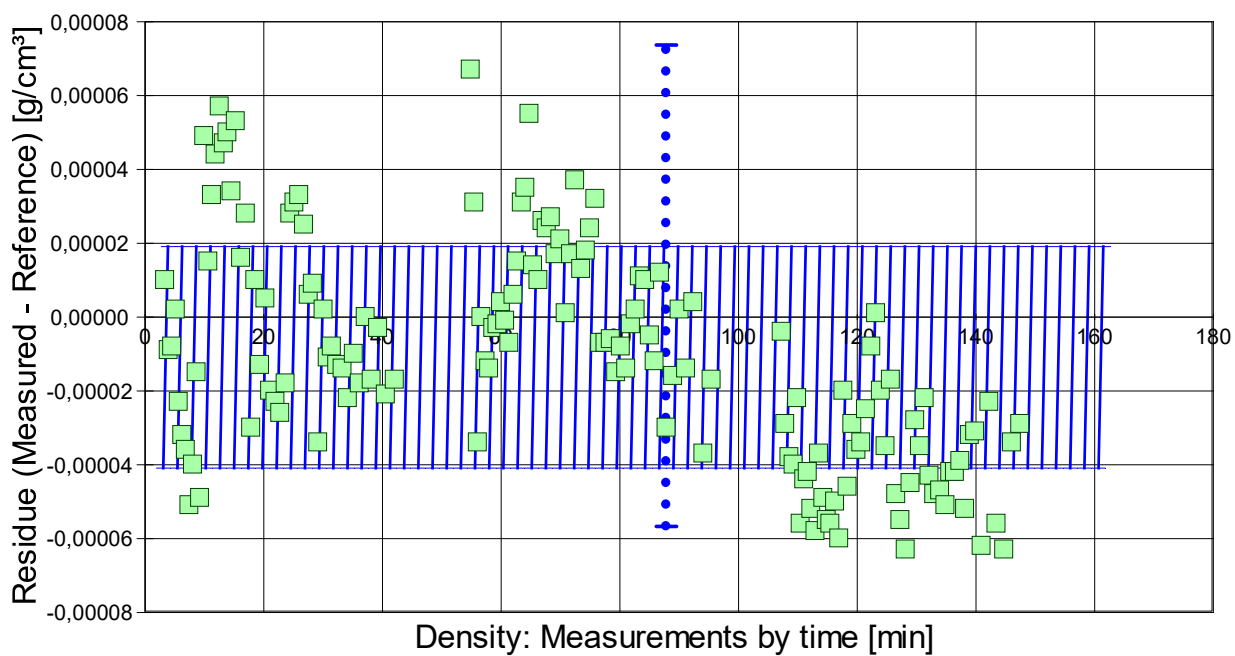
**Tabellensymbole:** *t* Zeitpunkt [min], *ϑ* Temperatur [°C], *ρ* Dichte [g/cm<sup>3</sup>], *H* Positionshöhe der Messkörperunterkante über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], *ω* Beobachtungsdauer der aufgezeichneten Auftriebsmessung [s], *Δρ<sub>ω</sub>* Dichteänderung in der Beobachtungszeit [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>korr.</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>korr.</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: 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.

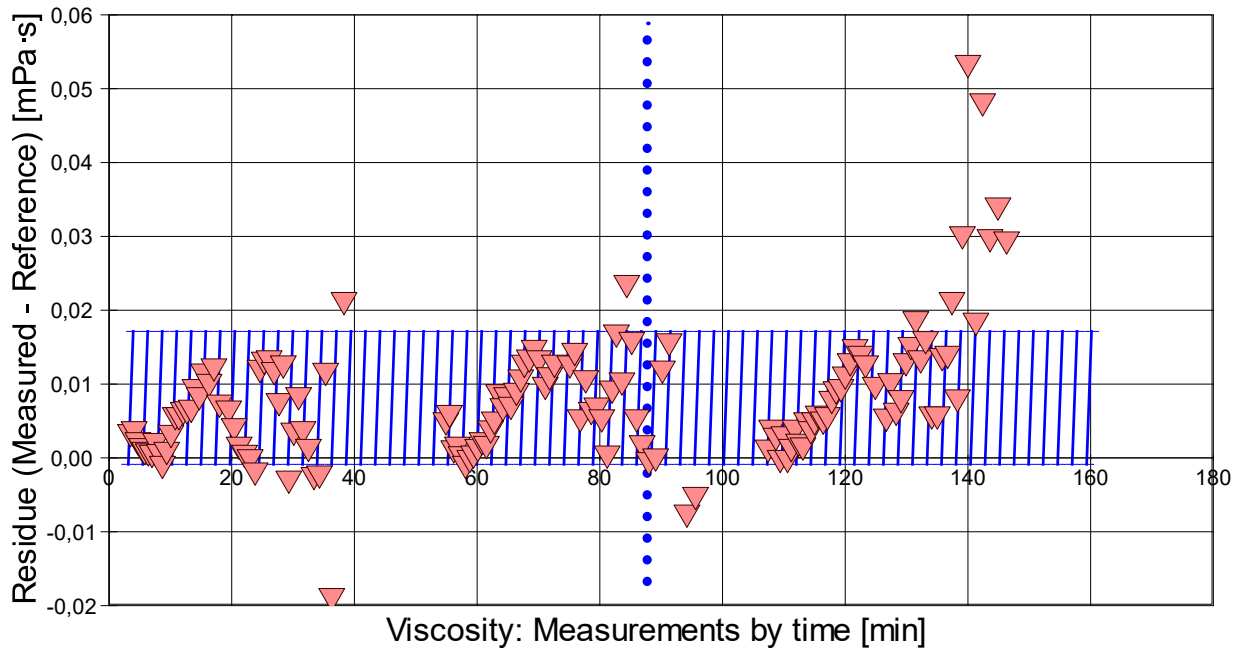
- **VORSICHT** Die Bedeutung des automatischen Vergleichs mit jeweiligen Referenzwerten ist völlig von der Richtigkeit und Präzision der hinterlegten Stoffdaten abhängig. - *Diagramm 7. Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'*



Reference values for 'Wasser' acc. to  $f(T[^\circ\text{C}]) = (99983.952 + 1695.2577 \cdot T - 0.79905127 \cdot T^2 - 4.6241757 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + 1.0584601 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 - 2.8103006 \cdot 10^{-8} \cdot T^5) / (1e5 + 1688.7236 \cdot T)$   
 Mean and Standarddev. of Residuals:  $-1,09 \cdot 10^{-5} \pm 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ , relative:  $-11 \text{ ppm}$  at a spread of  $30 \text{ ppm}$

- Das Chart N°8, "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 8. Referenzabweichung der Viskositätsmesswerte - 'eta-Residuen'



Reference values for 'Wasser' acc. to  $f(T[^\circ\text{C}]) = 37.1941 \cdot \text{EXP}(1.35960 \cdot 10^{11} / (273.15 + T)^4 - 1.44585 \cdot 10^9 / (273.15 + T)^3 + 6.04736 \cdot 10^6 / (273.15 + T)^2 - 1.02607 \cdot 10^4 / (273.15 + T))$   
 Mean and Standarddev. of Residuals:  $0,00813 \pm 0,00090 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ , relative:  $+0,91\%$  at a spread of  $1,0\%$

- Das Chart N°9, "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 Ergebnisvergleich mit der Referenz Wasser bei 25°C

	Referenz	Messung	$\Delta$ absolut	$\Delta$ relativ	$\Delta / u$
$\rho$	0,99704	0,99701	-0,00003 g/cm <sup>3</sup>	30 ppm	@
$\eta$	0,890	0,895	+0,005 mPa·s	0,6%	@

- 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  $\eta$  steht für die Messgröße; die Zahl zu " $\Delta u$ " 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.

## • 6. ANGABEN ZUR KONFIGURATION

a). **Messkörper:** Name *MK\_ESA1a*, b). IdentN° 7022, c). Spaltweite 0,851 mm.

d). **Mess- und Auswertungsverfahren:** Axio-Rheometrie. e). Konfigurationstyp DiVA-A (I++).

f). **Messkörperdaten:** Messzylindermasse 48,1349 ± 0,0003 g, ~volumen 6,054 ± 0,0005 cm<sup>3</sup>, ~durchmesser 14,2991 ± 0,001 mm, ~länge 43,08 ± 0,001 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 53,2·10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>. g). **Messzylindersuspension:** Querschnitt 0,0201 mm<sup>2</sup>, Umfang 0,502 mm, h). Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (*drift- und fehlerfreie Dichtemessung*).

i). **Behälter/Röhre:** Durchmesser 16,0015 ± 0,0005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 20·10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>.

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

k). **Kinetische Energie:** Faktor Zeta:  $\zeta = 1,37$ .

**Individuelle Werte:** l). Offset-Korrektur:  $F_{\theta} = 0,0071$  mN.<sup>m</sup>) Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: 68,4 mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: 25,4 mm.

n). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 3,6% bestimmt; die o). Messunsicherheit der Dichte ± 0,000083 g/cm<sup>3</sup> stammt von oben genannten Unsicherheitsangaben zu Messkörpervolumen und -masse sowie von den gegebenen Spezifikationen zur Kraft- und 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  $\sigma_n$  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-A1", type 5/0. IMPro break by user in command line N°579.

(the digital twin of process IDN°14622 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

## Prüfmittel

Das Wägesystem (WZA224) wurde im Messablauf und bereits zuletzt während dieser Messung justiert.

**IMETER ID23903733: Technische Daten:** Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse  $\rho_{cal}$  8,000 g/cm<sup>3</sup>, Luftdichte  $\rho_{air}$  vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung  $g$  9,80769 m/s<sup>2</sup>. Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001[K], Messunsicherheit ± 0,01[K], R° 100,0018[Ohm], AutoCal 60[*min*] (BN° 3, -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 7.0.52, LizenzN° \*3037-4759\*, W. 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

### Justierung der Wägezelle während der Messung:

at 54,4 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 'imeterData32.cal' gesondert gespeichert).

### Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	$\phi$ [%]	$T_a$ [°C]	$p_a$ [kPa]	$\rho_{air}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
2,9	55,57	24,51	96,52	1,12242
53,3	54,39	24,67	96,52	1,12183
106,8	54,62	24,84	96,578	1,12181

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,  $\rho_{air}$  die Luftdichte; Die Luftdichte wird dabei aus den Druck-, Temperatur- und Luftfeuchtwerten berechnet.

## Kommentar/Bewertung/Interpretation:

**Dokumentation eines nicht ganz perfekten Systemtest mit der Standardflüssigkeit. Ein ordentliches Rheometer sollte etwa so ein Rheogramm mit Wasser liefern können; es könnte besser sein. In deutlich anderen Fällen, müsste man in allen Fällen skeptisch sein. -- Im Kraft-Weg-Diagramm (Force-Path) zeigen Messkurven bei höchster Scherung tendenziell Fluktuationen, die bei 235 Re erste Andeutungen von Turbulenz bedeuten können.**

**Um kleine Schergeschwindigkeiten besser differenzierbar zu messen, könnte ein größer dimensioniertes Zylindersystem verwendet werden.**

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