

ID N° 14956 - DiVA-Method: Rheological Measurement

SDS-Solution 10.4g/L (rheo random)

Is there a Memory?

- Measuring cell completely filled with 12.7g Solution (Water+SDS 99+%). [Repetition N°1]

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

Results at **25,04°C**

Viscosity: $\eta_{(100s^{-1})} = 0,95920 \pm 0,00088 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 0,9606 \pm 0,0013 \text{ mm}^2/\text{s}$

95 randomized shear rates (0,0924 ↔ 537)·s⁻¹, attained $\tau^0 = 0,1734 \text{ mPa}$, $K = 0,973 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{1,00}$ and $n = 0,9979$

Density: $\rho = 0,99853 \pm 0,000083 \text{ g/cm}^3$

Report

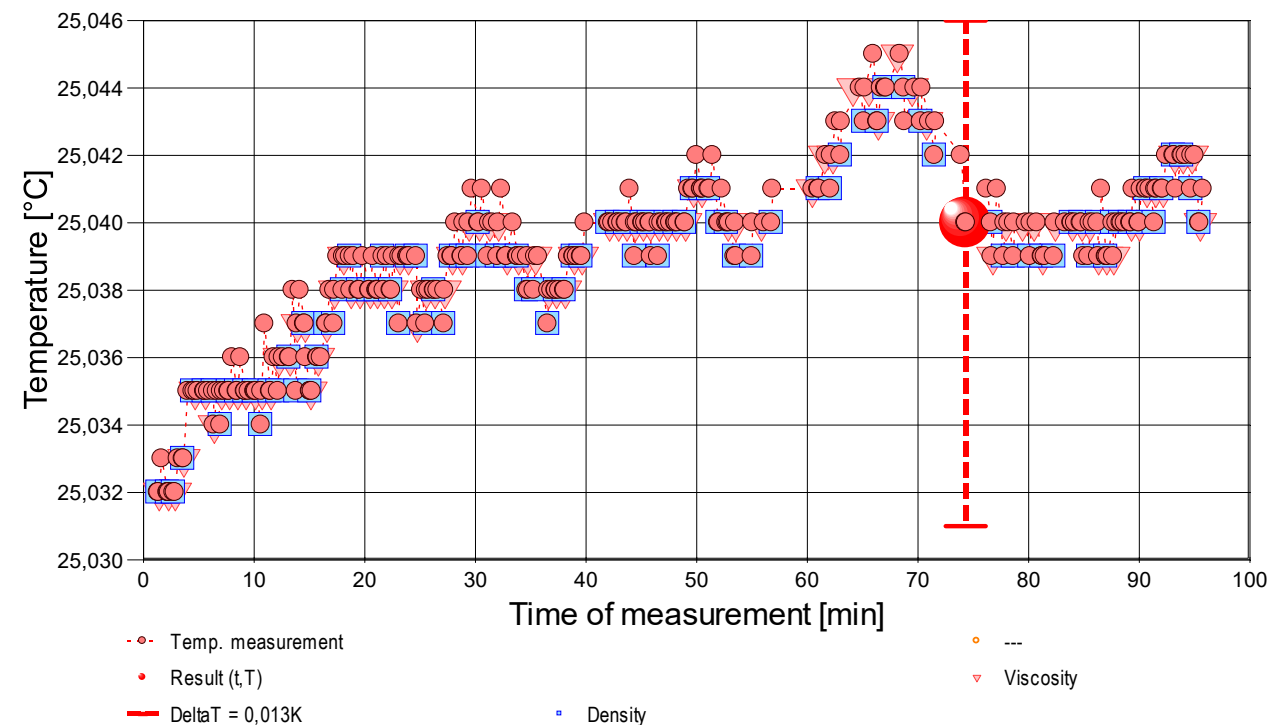
Autogener Prüfbericht mit Erklärungen. Diese sind formatiert wie dieser Text. Nachfolgend eine Erklärung zum Prinzip der Messung:

• 1. MESSPRINZIP

Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen an einem 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 exakt ringförmigen Spalt. Die lineare Strömung entlang der Messkörperoberfläche überträgt dadurch eine Kraft. Das ist die Schubspannung, die von der Viskosität erzeugt wird. - Eine genaue Bewegungsgeschwindigkeit fördert ein exakt proportionales Probenvolumen durch den Ringspalt. Das Strömungsprofil ist definiert, Strömung, Kraft, Geschwindigkeit und geometrische Verhältnisse folgen Navier-Stokes sowie einer analogen Form des Hagen-Poiseuille'schen Gesetzes und erlauben unter Berücksichtigung von Aufhängungs- und Auftriebseffekten und der Strömungskinetik eine ungewöhnlich genaue Bestimmung der absoluten Viskosität Newtonscher Fluide. Für nicht so normale Flüssigkeiten wird *Viskosität 'scheinbare Viskosität'* genannt. Über die Variation der Bewegungsgeschwindigkeit ist die Rheometerfunktion angesprochen - d.h. die Messung der 'Viskosität' in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit. Dem hier durchmessenen Bereich 0,0924 bis 537,43 /s kommt technisch die Bedeutung von *Oberflächenverlauf* bis etwa *Pumpen, starkem Rühren* zu. -- Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte ρ (spezifische Masse, Massekonzentration) gibt die Stoffmenge an, die in einem bestimmten Volumen vorliegt. Sie ist ebenfalls eine temperatur- und druckabhängige Stoffkonstante. Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit wurde hier simultan (sequenziell) mittels Auftriebswägung am ruhenden Zylinder-Messkörper bestimmt: Diese *hydrostatische Wägung* basiert darauf, dass "ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper (Messkörper) um den Betrag leichter erscheint, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt." Damit aus der Auftriebskraft des Messkörpers die Dichte exakt berechnet werden kann, ist die Bestimmtheit des Messkörpervolumens unter vorliegenden Umständen entscheidend - entsprechendes gilt hinsichtlich der geometrischen Verhältnisse und der Geschwindigkeit für die Viskositätsmessung - IMETER M5 DiVA-Ergebnisse sind metrologisch rückführbar und kohärent mit Ergebnissen aus Referenzverfahren (Glaskapillarviskosimeter, Hydrometer, Pyknometer). Referenz M5 DiVA 'https://imeter.de/?view=article&id=73'

• 2. ÜBERSICHT

Die Viskosität wurde 95-mal gemessen, die Dichte 100-mal. Messdauer zwei Stunden; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum ungefähr isotherm bei 25,04°C. - Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 't/T-Protokoll'



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

• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

Probentemperatur in Rheometrie-Messung: 25,039 ± 0,003 °C, Zeitbereich: 1,4 bis 95,5 Minuten.

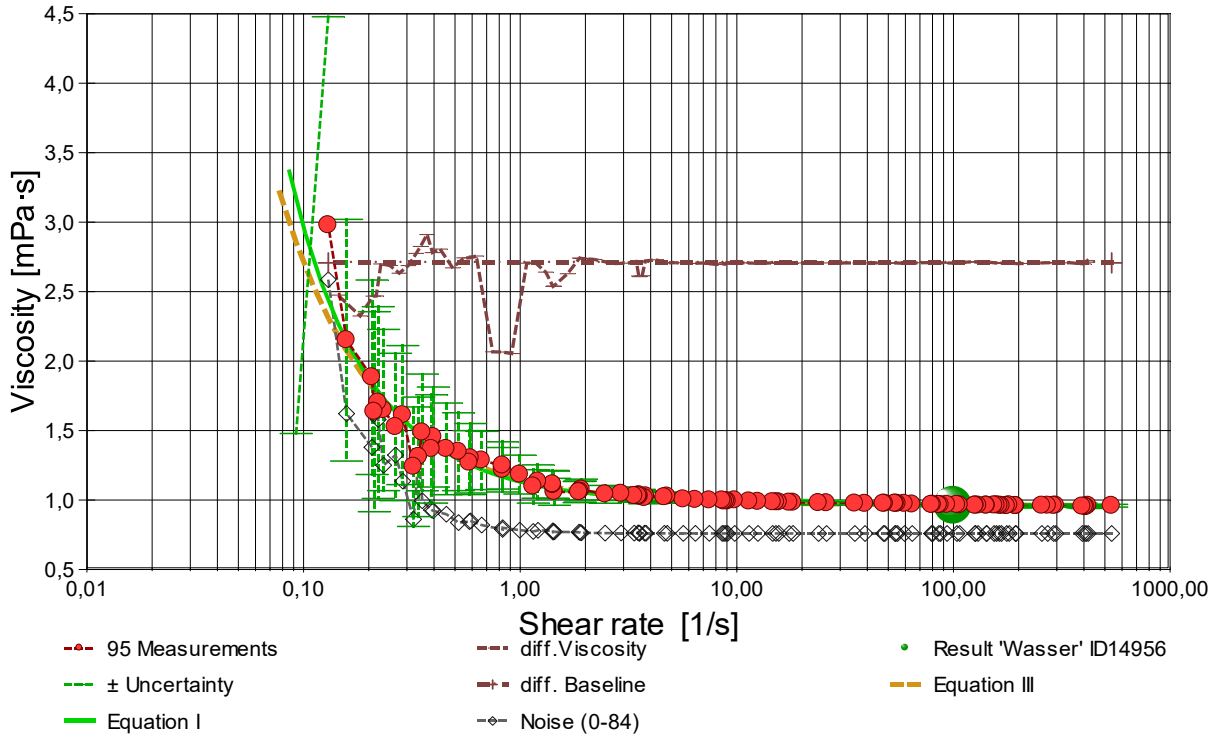
Die 95 *Viskositätsmesswerte* wurden mit ebenso vielen *randomisierten* Schergeschwindigkeiten ($\dot{\gamma}$) ermittelt und analysieren den Bereich zwischen 0,0924 bis 537,43 s⁻¹ wobei die Viskosität (η) Werte zwischen 0,949 bis 2,98 mPa·s erreicht. Die Ergebnisangabe der Messung 0,9592 ± 0,088 mPa·s für $\dot{\gamma} = 100 \text{ s}^{-1}$ wurde aus einer Regressionsgleichung zu den Messwerten bestimmt:

$$\eta_{25,0^{\circ}\text{C}} [\text{mPa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma} [1/\text{s}]) = 1,1313 \cdot \dot{\gamma}^{(-0,14878 + 0,072868 \cdot \ln(\dot{\gamma}) - 0,016264 \cdot \ln(\dot{\gamma})^2 + 0,0012522 \cdot \ln(\dot{\gamma})^3)}$$

Gleichung I, $r^2 = 0,963$, $\sigma \pm 0,040\%$

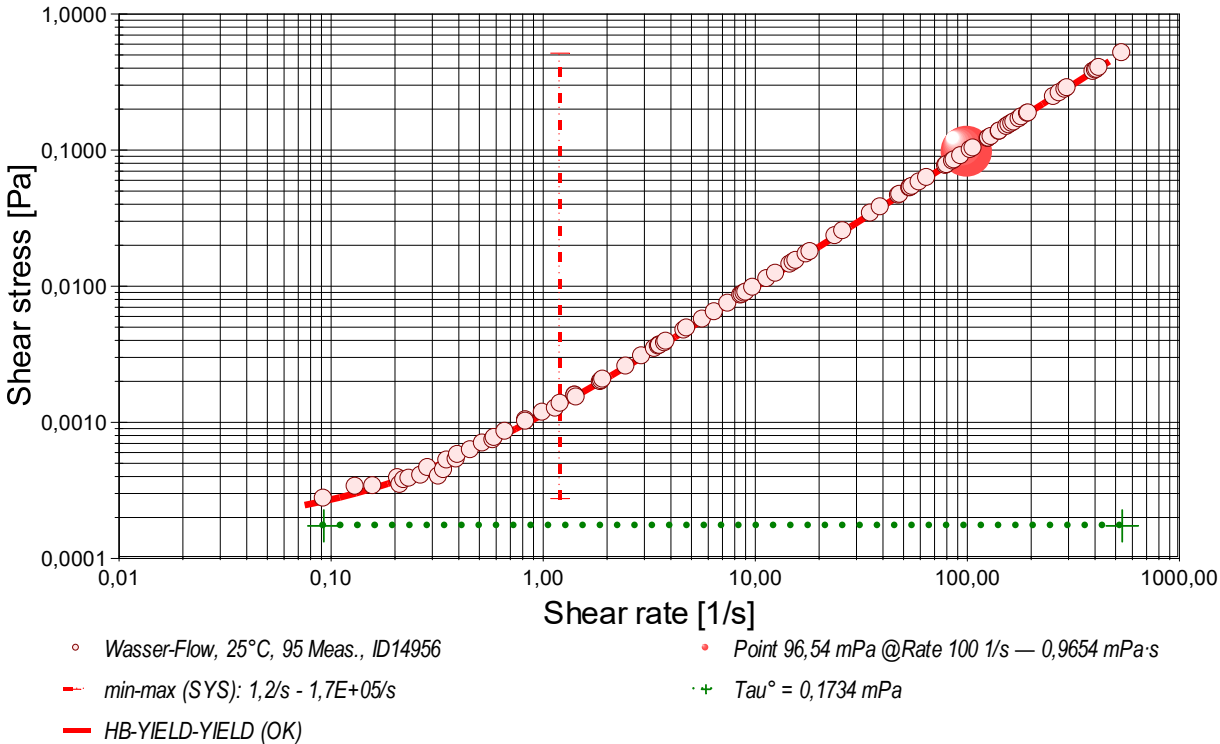
- Die Regressionsgleichung kombiniert die Menge der Messwerte. Zur Qualitätsbeurteilung, wie gut die Messwerte durch die Regressionsgleichung abgebildet werden, wird der Standardfehler als Gauß'sche Unsicherheit d.h. als *RMSPE (Root Mean Square Percentage Error)* bestimmt, der Wurzel aus dem mittleren 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 η als rote, kugelförmige Markierungen. Senkrechte, grün gezeichnete Linien markieren zugehörige Werte der Messunsicherheit ($\pm \sigma$, Tabelle III). Der numerische Differenzenquotient der 95 Scherraten (diff.Viscosity) ist als relative Kurve mit der Basislinie bei $d\eta/d\ln(\dot{\gamma}) = 0$ eingezeichnet. Der Verlauf zeigt lokal 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 rauteförmigen 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 τ 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 Herschel & Buckley (HB) eingezeichnet.

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

$$\tau [\text{Pa}] = 0,0001734 + 9,730 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{\gamma}^{(0,9979)} \quad \text{Gleichung II, } r^2 = 0,999948, \sigma \pm 3,5\%$$

Fließgrenze ($\tau^0 = 0,1734 \text{ mPa}$), Konsistenz ($K = 0,973 \text{ mPa}$) und Fließindex ($n = 0,9979$) charakterisieren das Fließverhalten der Wasser-Probe; die Kennzahlen ergeben sich aus dem geläufigen 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 Schergeschwindigkeit:

$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = 0,1734 \cdot \dot{\gamma}^{(-1)} + 0,973 \cdot \dot{\gamma}^{(-0,002100)}$$
 Gleichung III, VK=30% σ_{abs} 0,055 mPa·s

Der Flow-Index n klassifiziert die Wasser-Probe: • **Newton'sche Idealdynamik** .

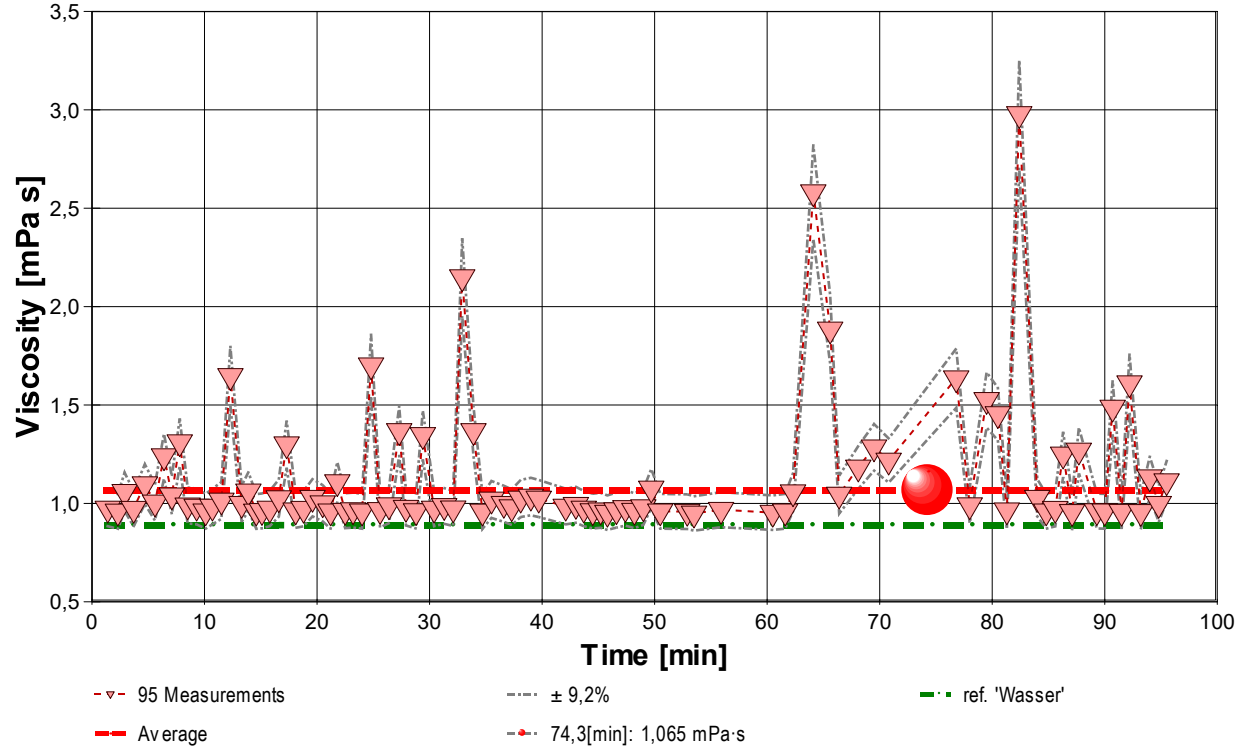
- Intermediäres Verhalten: Yield-Stress und Konsistenzfaktor stehen in einem kompetitiven Gleichgewicht (Bingham-Charakteristik).
- Der Yield Stress ist konsistent mit der strukturellen Viskosität der Probe.
- Der Verlauf des $\tau/\dot{\gamma}$ -Differenzials im Viskositätsdiagramm ermöglicht die Beurteilung spezifischer Flußmodifikatoren anhand des Verlaufs der *differenziellen Viskosität* ($\dot{\gamma}$).

- Die Begriffe 'Yield Stress', 'Fließgrenzspannung', 'Fließgrenze' sind synonym, um eine *Rigidität* am quasi ruhenden Fluid zu quantifizieren. Der ausgewiesene Wert von τ^0 0,0001734 Pa ist sehr gering und unterhalb bisher üblicher Anzeigemöglichkeiten.

'M5 DiVA - DifferentialViscosity-Axio-rheometry. M5 DiVA: the linear- 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-f(t)'



- Im Diagramm 4, "eta-f(t)", 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°	t	θ	η	v _z	F _z	τ	v _{max}	γ̇	Re
IDN°14956	[min]	[°C]	[mPa·s]	[mm/s]	[mN]	[Pa]	[mm/s]	[s ⁻¹]	[Zahl]
1.	1,4	25,032	0,9739	1,454	0,8120	0,04700	10,45	48,257	12,6
2.	2,3	25,032	0,9590	12,63	6,9436	0,4019	90,75	419,07	111
3.	2,9	25,032	1,06	0,04331	0,0263	0,00152	0,311	1,438	0,35
4.	3,7	25,033	0,9733	1,662	0,9278	0,05370	11,95	55,178	14,4
5.	4,7	25,035	1,10	0,03458	0,0218	0,00126	0,249	1,148	0,27
6.	5,6	25,035	1,01	0,1706	0,0983	0,00569	1,23	5,663	1,4
7.	6,4	25,034	1,2	0,009702	0,0069×	4,0E-04	0,070	0,322	0,07
8.	7,1	25,035	1,04	0,07432	0,0444	0,00257	0,534	2,467	0,60
9.	7,8	25,035	1,3	0,01026	0,0077×	4,5E-04	0,074	0,340	0,07
10.	8,5	25,035	0,990	0,2628	0,1492	0,00864	1,89	8,723	2,2
11.	9,3	25,035	0,984	0,4567	0,2577	0,0149	3,28	15,16	3,9
12.	10,1	25,035	0,9604	8,946	4,9264	0,2851	64,29	296,91	78,6
13.	10,7	25,035	0,984	0,4706	0,2655	0,0154	3,38	15,62	4,0
14.	11,5	25,035	1,02	0,1130	0,0658	0,00381	0,813	3,752	0,94
15.	12,3	25,036	1,6	0,007051	0,0067×	3,9E-04	0,051	0,234	0,04
16.	13,3	25,036	0,998	0,2249	0,1287	0,00745	1,62	7,465	1,9
17.	13,9	25,037	1,06	0,05700	0,0347	0,00201	0,410	1,892	0,45
18.	14,6	25,037	0,9589	16,19	8,9031	0,5153	116,4	537,43	142
19.	15,1	25,035	0,9622	5,452	3,0082	0,1741	39,19	180,96	47,8
20.	15,8	25,036	0,9741	1,619	0,9045	0,05236	11,64	53,749	14,0
21.	16,6	25,037	1,03	0,1148	0,0676	0,00391	0,825	3,810	0,94
22.	17,3	25,038	1,3	0,01779	0,0133×	7,7E-04	0,13	0,590	0,1
23.	18,1	25,039	0,965	3,128	1,7313	0,100	22,5	103,8	27
24.	18,8	25,038	0,9727	1,794	1,0004	0,05790	12,89	59,527	15,6
25.	19,6	25,038	1,03	0,1057	0,0624	0,00361	0,760	3,508	0,87
26.	20,5	25,038	1,00	0,1941	0,1114	0,00645	1,39	6,441	1,6

27.	21,2	25,038	0,9598	8,211	4,5189	0,2616	59,01	272,53	72,2
28.	21,8	25,038	1,11	0,04272	0,0271	0,00157	0,307	1,418	0,33
29.	22,5	25,038	0,9627	4,760	2,6276	0,1521	34,21	157,98	41,7
30.	23,2	25,039	0,966	2,816	1,5600	0,0903	20,2	93,47	25
31.	24,0	25,039	0,9598	7,713	4,2455	0,2457	55,44	256,02	67,8
32.	24,8	25,037	1,7	0,006662	0,0065x	3,8E-04	0,048	0,221	0,03
33.	25,6	25,038	0,967	2,420	1,3416	0,0777	17,4	80,32	21
34.	26,4	25,038	0,991	0,2731	0,1551	0,00898	1,96	9,064	2,3
35.	27,3	25,038	1,4	0,01374	0,0108x	6,2E-04	0,099	0,456	0,08
36.	27,9	25,039	0,978	0,7188	0,4033	0,0233	5,17	23,86	6,2
37.	28,8	25,039	0,9615	4,641	2,5589	0,1481	33,36	154,04	40,7
38.	29,4	25,040	1,3	0,01564	0,0121x	7,0E-04	0,11	0,519	0,10
39.	30,4	25,040	0,9739	1,631	0,9108	0,05272	11,72	54,130	14,1
40.	31,3	25,040	0,987	0,3771	0,2135	0,0124	2,71	12,52	3,2
41.	32,1	25,040	0,975	1,057	0,5909	0,0342	7,60	35,08	9,1
42.	32,9	25,039	2,2	0,004760	0,0059x	3,4E-04	0,034	0,158	0,02
43.	33,9	25,039	1,4	0,01176	0,0092x	5,3E-04	0,085	0,390	0,07
44.	34,7	25,039	0,9588	8,739	4,8047	0,2781	62,81	290,05	76,9
45.	35,5	25,039	1,02	0,1395	0,0816	0,00473	1,00	4,631	1,2
46.	36,6	25,038	0,998	0,2583	0,1477	0,00855	1,86	8,572	2,2
47.	37,3	25,038	0,981	0,5481	0,3084	0,0178	3,94	18,19	4,7
48.	38,1	25,038	1,03	0,1438	0,0846	0,00490	1,03	4,774	1,2
49.	39,0	25,039	1,03	0,1069	0,0634	0,00367	0,768	3,548	0,87
50.	39,7	25,039	1,02	0,1071	0,0630	0,00364	0,770	3,556	0,88
51.	42,1	25,040	0,984	0,4412	0,2491	0,0144	3,17	14,64	3,8
52.	43,0	25,040	0,993	0,2683	0,1527	0,00884	1,93	8,905	2,3
53.	43,7	25,040	0,9741	1,434	0,8009	0,04636	10,31	47,590	12,4
54.	44,5	25,040	0,9613	3,811	2,1008	0,1216	27,39	126,48	33,4
55.	45,2	25,040	0,965	2,627	1,4534	0,0841	18,9	87,18	23
56.	45,8	25,040	0,9527	12,17	6,6515	0,3850	87,50	404,09	108
57.	46,6	25,040	0,966	2,389	1,3229	0,0766	17,2	79,31	21
58.	47,4	25,040	0,977	0,7825	0,4384	0,0254	5,62	25,97	6,8
59.	48,2	25,040	0,9630	3,220	1,7780	0,1029	23,14	106,86	28,2
60.	49,0	25,040	0,981	0,5261	0,2961	0,0171	3,78	17,46	4,5
61.	49,7	25,041	1,08	0,05775	0,0356	0,00206	0,415	1,917	0,45
62.	50,5	25,041	0,9604	4,293	2,3643	0,1368	30,85	142,49	37,7
63.	52,9	25,040	0,9584	5,020	2,7589	0,1597	36,08	166,61	44,2
64.	53,5	25,040	0,9491	12,35	6,7218	0,3891	88,77	409,93	110
65.	55,9	25,040	0,968	1,945	1,0798	0,0625	14,0	64,54	17
66.	60,5	25,041	0,9533	11,86	6,4839	0,3753	85,25	393,68	105
67.	61,6	25,042	0,9600	4,905	2,7002	0,1563	35,25	162,80	43,1
68.	62,3	25,042	1,06	0,05634	0,0342	0,00198	0,405	1,870	0,45
69.	64,1	25,044	2,6	0,003930	0,0058x	3,4E-04	0,028	0,130	0,01
70.	65,6	25,044	1,9	0,006232	0,0067x	3,9E-04	0,045	0,207	0,03
71.	66,4	25,043	1,05	0,08812	0,0528	0,00306	0,633	2,925	0,71
72.	68,1	25,045	1,18	0,03000	0,0204	0,00118	0,216	0,9958	0,21
73.	69,5	25,044	1,3	0,02000	0,0147x	8,5E-04	0,14	0,664	0,1
74.	70,8	25,043	1,2	0,02500	0,0175x	0,0010	0,18	0,830	0,2
[75.	72,9	25,042	3,7	0,002500	0,0054x	3,1E-04	0,018	0,0830	0,006]*
[76.	75,3	25,041	3,2	0,002801	0,0052x	3,0E-04	0,020	0,0930	0,007]*
77.	76,8	25,039	1,6	0,006387	0,0060x	3,5E-04	0,046	0,212	0,03
78.	78,0	25,040	0,991	0,3434	0,1951	0,0113	2,47	11,40	2,9
79.	79,5	25,040	1,5	0,008007	0,0070x	4,1E-04	0,058	0,266	0,04
80.	80,5	25,040	1,5	0,01195	0,0100x	5,8E-04	0,086	0,397	0,07
81.	81,3	25,039	0,965	2,579	1,4270	0,0826	18,5	85,59	23
82.	82,4	25,040	3,0	0,002783	0,0048x	2,8E-04	0,020	0,0924	0,008
83.	84,0	25,040	1,03	0,1013	0,0598	0,00346	0,728	3,363	0,83
84.	84,8	25,040	0,9597	3,792	2,0866	0,1208	27,25	125,85	33,3
85.	85,6	25,040	0,9730	1,177	0,6565	0,03800	8,456	39,050	10,2
86.	86,3	25,039	1,2	0,02499	0,0179x	0,0010	0,18	0,829	0,2
87.	87,1	25,039	0,9568	5,862	3,2161	0,1862	42,13	194,55	51,7
88.	87,7	25,039	1,3	0,01753	0,0128x	7,4E-04	0,13	0,582	0,1
89.	89,3	25,040	0,9607	3,914	2,1562	0,1248	28,13	129,91	34,4
90.	90,0	25,040	0,9602	4,278	2,3552	0,1363	30,74	141,98	37,6
91.	90,7	25,041	1,5	0,01063	0,0091x	5,2E-04	0,076	0,353	0,06
92.	91,5	25,041	0,9580	5,823	3,1991	0,1852	41,85	193,28	51,3
93.	92,2	25,041	1,6	0,008640	0,0080x	4,6E-04	0,062	0,287	0,05
94.	93,2	25,042	0,9569	5,311	2,9140	0,1687	38,17	176,27	46,8
95.	94,0	25,042	1,13	0,03641	0,0237	0,00137	0,262	1,208	0,27
96.	94,8	25,042	0,998	0,2946	0,1686	0,00976	2,12	9,779	2,5
97.	95,5	25,040	1,11	0,04265	0,0272	0,00158	0,307	1,416	0,32

*[Angaben der Messung N° 75, 76 wurden durch den Prüfer von den Ergebnissen ausgenommen.]

Tabellensymbole: t Zeitpunkt [min], ϑ Temperatur [°C], η Messwert Viskosität [mPa·s], v_z Beweg- bzw. Relativgeschwindigkeit zwischen Messkörper und Röhre [mm/s], F_z viskositätsbedingte Kraft am Messkörper [mN], τ Schubspannung [Pa], v_{max} maximale Strömungsgeschwindigkeit [mm/s], $\dot{\gamma}$ 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_b) und Aufhängung (F_{hp}), der geschwindigkeitsproportionale Druckverlust durch die kinetische Energie und die Reibung in der Einlaufzone des Ringspalt (F_r), die viskose Reibung der Messzylinder-Aufhängung im Medium (F_{hm}), die rekursiv bestimmt wird, sowie ein konstanter Beitrag F_{θ} , der die *Meniskus-Kraft* ausgleicht - d.h. die sehr kleine dynamische Zusatzkraft durch die Benetzungsdynamik der Phasengrenze zwischen Suspension (Messkörperaufhängung) und Probenoberfläche. Die reibungsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich aus $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_r - F_{hm} - F_{\theta}$. Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt, (F_{θ} wird in den Konfigurationsangaben aufgeführt). Das Zeichen "x" kennzeichnet solche F_z -Werte, die eine (zu) große Standardabweichung aufweisen ($\sigma > 1\%$) und evtl. fehlerbehaftet sind. Die Schubspannung τ entspricht der rein durch die Viskosität des Mediums je Quadratmeter der Zylindermantelfläche ausgeübten Kraft. v_{max} ist die Maximalgeschwindigkeit eines Newton'schen Fluids im Ringspalt relativ zum Messzylinder. Sie ergibt sich aus der Bewegungsgeschwindigkeit und dem geometrischen Aufbau. Die mittlere Geschwindigkeit (nicht in der Tabelle ausgegeben; $v_m = v_z \cdot ra^2 / (ra^2 - ri^2)$), 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 $\dot{\gamma}$, die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

Tabelle 2, Detailedaten zur Viskositätsmessung I.

N°	F_w	σ_{Fw}	$\sigma_{Fw\ rel}$ -- Alle Werteinträge in [ppm] --	F_p	F_{hp}	F_ζ	F_{hh}	N/n Datenauswahl
1.	413,6781	0,002416	5,8 ppm	412,8641	0,003976	0,00572	4,98E-05	39/82
2.	420,2330	0,01116	27 ppm	412,8620	0,004771	0,431	5,11E-04	19/42
3.	412,8882	4,44E-04	1,1 ppm	412,8626	9,01E-04	5,08E-06	3,66E-07	36/76
4.	413,7967	0,002623	6,3 ppm	412,8655	0,004428	0,00748	6,34E-05	40/83
5.	412,8824	3,59E-04	0,87 ppm	412,8613	8,81E-04	3,24E-06	2,96E-07	40/83
6.	412,9600	5,97E-04	1,4 ppm	412,8626	0,00118	7,88E-05	1,79E-06	40/83
7.	412,8712	4,2E-04	1,0 ppm	412,8649	8,3E-04	2,55E-07	8,81E-08	37/78
8.	412,9057	7,39E-04	1,8 ppm	412,8621	9,69E-04	1,49E-05	6,64E-07	40/83
9.	412,8694	5,9E-04	1,4 ppm	412,8624	8,3E-04	2,85E-07	9,86E-08	40/83
10.	413,0088	8,17E-04	2,0 ppm	412,8606	0,00139	1,87E-04	3,19E-06	38/80
11.	413,1212	0,00100	2,4 ppm	412,8645	0,00180	5,65E-04	7,15E-06	40/83
12.	418,0009	0,009917	24 ppm	412,8623	0,004890	0,217	3,72E-04	21/45
13.	413,1260	9,08E-04	2,2 ppm	412,8616	0,00183	5,99E-04	7,51E-06	40/83
14.	412,9262	6,53E-04	1,6 ppm	412,8612	0,00105	3,46E-05	1,07E-06	40/83
15.	412,8692	4,0E-04	0,97 ppm	412,8631	8,3E-04	1,35E-07	8,51E-08	39/82
16.	412,9903	6,48E-04	1,6 ppm	412,8626	0,00130	1,37E-04	2,58E-06	40/83
17.	412,8964	5,10E-04	1,2 ppm	412,8625	9,30E-04	8,79E-06	4,98E-07	37/77
18.	422,4702	0,01583	37 ppm	412,8616	0,004953	0,710	6,81E-04	14/32
19.	415,9448	0,007039	17 ppm	412,8606	0,004894	0,0804	2,27E-04	24/51
20.	413,7685	0,002722	6,6 ppm	412,8610	0,004340	0,00710	6,06E-05	39/82
21.	412,9275	4,92E-04	1,2 ppm	412,8607	0,00106	3,57E-05	1,10E-06	39/82
22.	412,8742	5,7E-04	1,4 ppm	412,8616	8,4E-04	8,56E-07	1,73E-07	39/82
23.	414,6164	0,00937	23 ppm	412,8632	0,00497	0,0265	1,33E-04	38/80
24.	413,8674	0,003397	8,2 ppm	412,8628	0,004744	0,00871	7,33E-05	39/82
25.	412,9244	6,05E-04	1,5 ppm	412,8629	0,00104	3,02E-05	9,98E-07	40/83
26.	412,9711	6,12E-04	1,5 ppm	412,8606	0,00123	1,02E-04	2,11E-06	40/83
27.	417,5587	0,01060	25 ppm	412,8618	0,004952	0,182	3,45E-04	23/49
28.	412,8871	3,59E-04	0,87 ppm	412,8606	9,00E-04	4,94E-06	3,77E-07	36/76
29.	415,5463	0,008831	21 ppm	412,8620	0,004975	0,0613	2,02E-04	28/60
30.	414,4378	0,00874	21 ppm	412,8611	0,00499	0,0215	1,20E-04	36/76
31.	417,2636	0,009706	23 ppm	412,8615	0,004924	0,161	3,23E-04	24/52
32.	412,8674	6,8E-04	1,7 ppm	412,8615	8,3E-04	1,20E-07	8,31E-08	42/87
33.	414,2161	0,00841	20 ppm	412,8633	0,00499	0,0158	1,03E-04	37/78
34.	413,0142	7,58E-04	1,8 ppm	412,8600	0,00140	2,02E-04	3,36E-06	39/82
35.	412,8724	6,0E-04	1,5 ppm	412,8623	8,4E-04	5,11E-07	1,39E-07	40/83
36.	413,2624	0,00147	3,5 ppm	412,8599	0,00238	0,00140	1,48E-05	40/83
37.	415,4752	0,009345	22 ppm	412,8626	0,004965	0,0583	1,96E-04	35/73
38.	412,8730	5,8E-04	1,4 ppm	412,8616	8,4E-04	6,62E-07	1,57E-07	39/82
39.	413,7747	0,002484	6,0 ppm	412,8609	0,004392	0,00720	6,17E-05	40/83
40.	413,0729	0,00117	2,8 ppm	412,8604	0,00163	3,85E-04	5,36E-06	40/83
41.	413,4529	0,00174	4,2 ppm	412,8619	0,00312	0,00302	2,84E-05	40/83
42.	412,8656	4,0E-04	0,97 ppm	412,8604	8,3E-04	6,13E-08	7,50E-08	44/91
43.	412,8700	7,0E-04	1,7 ppm	412,8614	8,3E-04	3,74E-07	1,18E-07	36/76
44.	417,8692	0,01003	24 ppm	412,8623	0,004973	0,207	3,69E-04	21/46
45.	412,9446	5,99E-04	1,5 ppm	412,8638	0,00111	5,27E-05	1,40E-06	37/77
46.	413,0110	4,68E-04	1,1 ppm	412,8642	0,00138	1,81E-04	3,14E-06	40/83
47.	413,1721	0,00102	2,5 ppm	412,8647	0,00201	8,13E-04	9,56E-06	36/76
48.	412,9463	4,94E-04	1,2 ppm	412,8626	0,00112	5,60E-05	1,46E-06	40/83
49.	412,9271	5,11E-04	1,2 ppm	412,8645	0,00104	3,09E-05	1,02E-06	36/75
50.	412,9273	3,18E-04	0,77 ppm	412,8651	0,00104	3,11E-05	1,01E-06	40/83
51.	413,1096	0,00109	2,6 ppm	412,8616	0,00178	5,27E-04	6,82E-06	36/76
52.	413,0148	7,29E-04	1,8 ppm	412,8630	0,00139	1,95E-04	3,29E-06	40/83
53.	413,6663	0,002384	5,8 ppm	412,8635	0,003947	0,00556	4,88E-05	40/83
54.	414,9997	0,009745	23 ppm	412,8642	0,004980	0,0393	1,61E-04	31/66
55.	414,3305	0,00861	21 ppm	412,8630	0,00495	0,0187	1,11E-04	35/73
56.	419,9107	0,01342	32 ppm	412,8623	0,004896	0,401	5,03E-04	20/44
57.	414,1962	0,00822	20 ppm	412,8625	0,00495	0,0155	1,01E-04	35/73
58.	413,3009	0,00159	3,9 ppm	412,8631	0,00251	0,00166	1,70E-05	39/82
59.	414,6674	0,008162	20 ppm	412,8660	0,004960	0,0281	1,36E-04	31/66
60.	413,1583	0,00102	2,5 ppm	412,8632	0,00196	7,49E-04	8,97E-06	40/83
61.	412,8992	5,04E-04	1,2 ppm	412,8643	9,32E-04	9,03E-06	5,13E-07	36/76
62.	415,2707	0,01021	25 ppm	412,8612	0,004981	0,0499	1,82E-04	31/65
63.	415,6849	0,007245	17 ppm	412,8624	0,004960	0,0682	2,11E-04	26/56
64.	419,9928	0,01335	32 ppm	412,8624	0,004859	0,413	5,04E-04	19/42
65.	413,9459	0,00729	18 ppm	412,8606	0,00496	0,0102	8,27E-05	39/81
66.	419,7253	0,01258	30 ppm	412,8648	0,004831	0,381	4,84E-04	21/45
67.	415,6248	0,008921	21 ppm	412,8640	0,004949	0,0651	2,06E-04	33/70
68.	412,8970	4,75E-04	1,1 ppm	412,8635	9,29E-04	8,59E-06	4,90E-07	39/82
69.	412,8666	3,9E-04	0,95 ppm	412,8614	8,3E-04	4,18E-08	7,44E-08	44/92
70.	412,8692	5,2E-04	1,3 ppm	412,8630	8,3E-04	1,05E-07	8,60E-08	42/88
71.	412,9135	4,58E-04	1,1 ppm	412,8615	9,97E-04	2,10E-05	8,13E-07	40/83
72.	412,8830	4,98E-04	1,2 ppm	412,8633	8,71E-04	2,44E-06	2,74E-07	39/82
73.	412,8775	4,0E-04	0,97 ppm	412,8634	8,5E-04	1,08E-06	1,93E-07	36/75
74.	412,8794	3,6E-04	0,86 ppm	412,8626	8,6E-04	1,69E-06	2,32E-07	39/82
[75.]	412,8683	7,2E-04	1,7 ppm	412,8635	8,3E-04	1,69E-08	6,85E-08	45/94]*
[76.]	412,8664	3,8E-04	0,91 ppm	412,8619	8,3E-04	2,12E-08	6,62E-08	45/93]*
77.	412,8679	6,8E-04	1,6 ppm	412,8626	8,3E-04	1,10E-07	7,66E-08	41/86
78.	413,0576	0,00102	2,5 ppm	412,8635	0,00156	3,19E-04	4,69E-06	40/83
79.	412,8687	4,7E-04	1,1 ppm	412,8624	8,3E-04	1,74E-07	8,95E-08	41/86
80.	412,8748	5,1E-04	1,2 ppm	412,8655	8,3E-04	3,87E-07	1,28E-07	36/76
81.	414,3029	0,00890	21 ppm	412,8626	0,00497	0,0180	1,09E-04	35/74
82.	412,8653	4,6E-04	1,1 ppm	412,8612	8,3E-04	2,10E-08	6,08E-08	45/93

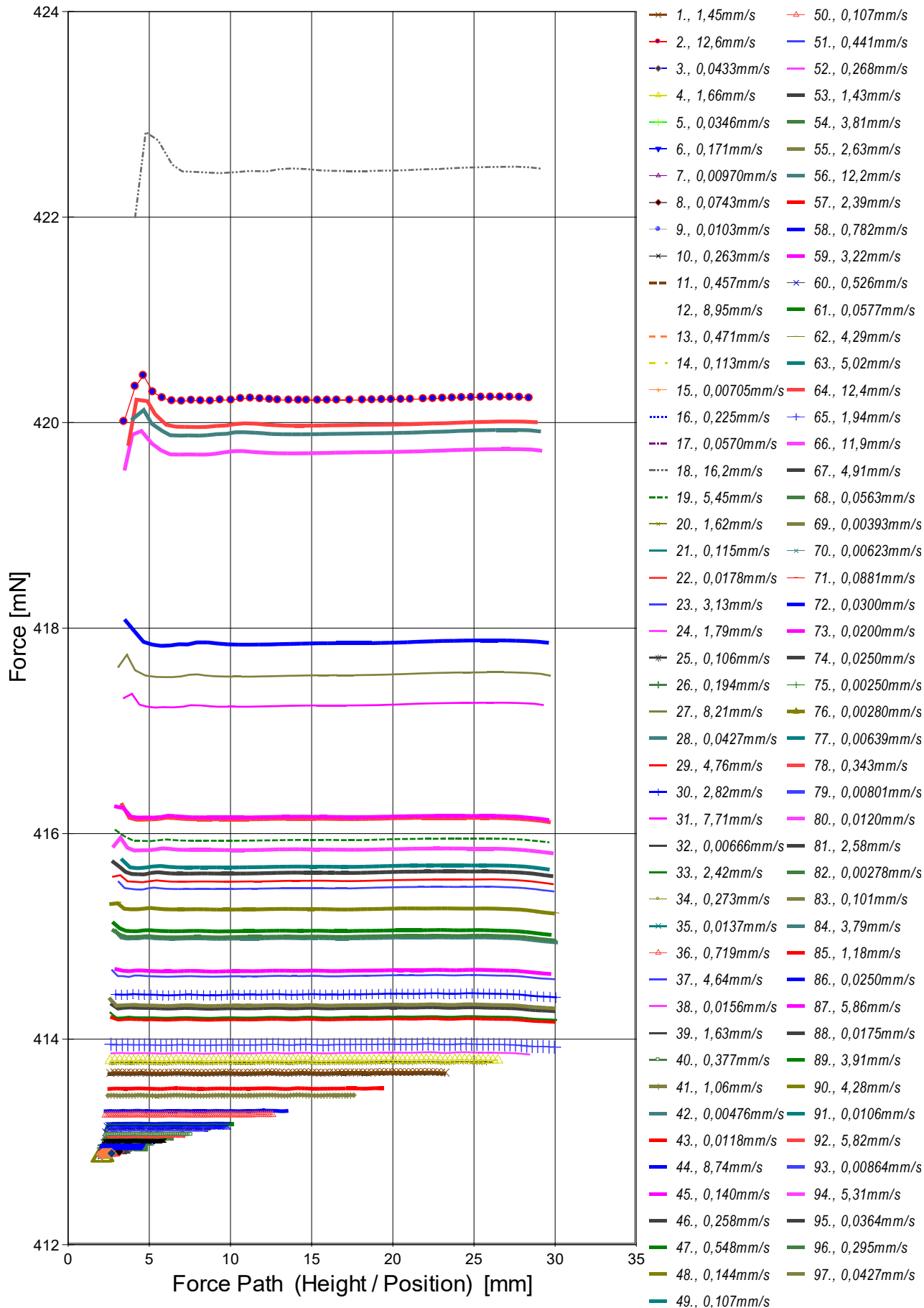
83.	412,9215	5,77E-04	1,4 ppm	412,8626	0,00103	2,78E-05	9,48E-07	40/83
84.	414,9824	0,01053	25 ppm	412,8616	0,004983	0,0389	1,60E-04	36/75
85.	413,5192	0,002015	4,9 ppm	412,8622	0,003391	0,00375	3,44E-05	36/76
86.	412,8775	4,2E-04	1,0 ppm	412,8603	8,6E-04	1,69E-06	2,38E-07	36/76
87.	416,1663	0,007064	17 ppm	412,8617	0,004934	0,0930	2,45E-04	27/58
88.	412,8754	4,0E-04	0,96 ppm	412,8632	8,4E-04	8,32E-07	1,66E-07	39/82
89.	415,0542	0,009207	22 ppm	412,8611	0,004935	0,0415	1,64E-04	34/72
90.	415,2653	0,01006	24 ppm	412,8651	0,004958	0,0495	1,80E-04	32/68
91.	412,8725	5,9E-04	1,4 ppm	412,8640	8,3E-04	3,06E-07	1,16E-07	36/76
92.	416,1476	0,007657	18 ppm	412,8612	0,004953	0,0918	2,45E-04	27/58
93.	412,8720	5,0E-04	1,2 ppm	412,8646	8,3E-04	2,02E-07	1,02E-07	42/88
94.	415,8480	0,008404	20 ppm	412,8623	0,004945	0,0763	2,22E-04	30/64
95.	412,8839	5,34E-04	1,3 ppm	412,8609	8,86E-04	3,59E-06	3,24E-07	40/83
96.	413,0293	1,00E-03	2,4 ppm	412,8617	0,00145	2,35E-04	3,78E-06	40/83
97.	412,8883	4,78E-04	1,2 ppm	412,8618	8,99E-04	4,92E-06	3,78E-07	40/83

*[Angaben der Messung N° 75, 76 wurden durch den Prüfer von der mathematischen Auswertung abgekoppelt.]

Tabellensymbole: F_w Betrag der gemittelten stationären Kraft bei Bewegung des Zylinders [mN], σ_{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-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 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 ζ 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. Abweichungen oder Kurven-Störungen betreffen die Angaben zu Noise und Messunsicherheit Σ_{σ} . Das Gesamtvolumen im Ringspalt von 1,75 cm³ wird über die Bewegungstrecke von 10,9 mm komplett ausgetauscht.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

N°	'Noise' [μN/mm]	H _{start} [mm]	L _{cl} [mm]	D _{RSP} [mm]	ΔD _{RSP} [μm]	Ø _{zyl.} [mm]	L _{zyl.} [mm]	Σσ [mPa·s]	Σσ _{rel.}
1.	0,00208	2,591	20,652	0,8512	-0,00235	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
2.	2,13E-04	3,447	24,962	0,8512	-0,00235	14,2991	43,0800	0,0098	1,0%
3.	0,552	2,065	0,618	0,8512	-0,00235	14,2991	43,0800	0,097	9,2%

4.	0,00223	2,578	23,896	0,8512	-0,00242	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
5.	0,660	2,060	0,494	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,12	11%
6.	0,0407	2,110	2,442	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,028	2,8%
7.	4,67	2,052	0,143	0,8512	-0,00249	14,2991	43,0800	0,43	35%
8.	0,132	2,074	1,067	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,064	6,1%
9.	25,2	2,052	0,146	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,43	33%
10.	0,0156	2,151	3,757	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,021	2,1%
11.	0,00960	2,197	6,516	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,015	1,5%
12.	3,33E-04	3,575	25,862	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,0099	1,0%
13.	0,00690	2,215	6,743	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,015	1,5%
14.	0,116	2,086	1,625	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,042	4,1%
15.	22,5	2,050	0,144	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,58	35%
16.	0,0263	2,128	3,219	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,023	2,3%
17.	0,323	2,068	0,812	0,8512	-0,00271	14,2991	43,0800	0,076	7,2%
18.	2,71E-04	4,129	25,049	0,8512	-0,00271	14,2991	43,0800	0,0098	1,0%
19.	6,04E-04	2,923	26,667	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
20.	0,00220	2,616	23,077	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
21.	0,0688	2,087	1,634	0,8512	-0,00271	14,2991	43,0800	0,039	3,8%
22.	4,14	2,054	0,254	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,25	19%
23.	0,00149	2,712	27,222	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
24.	0,00220	2,663	25,726	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
25.	0,227	2,083	1,519	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,044	4,3%
26.	0,0194	2,113	2,768	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,025	2,5%
27.	4,23E-04	3,098	26,562	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
28.	0,469	2,064	0,611	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,1	9,0%
29.	9,27E-04	2,773	27,069	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
30.	0,00170	2,933	27,104	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
31.	4,10E-04	3,435	25,794	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
32.	37,5	2,050	0,145	0,8512	-0,00271	14,2991	43,0800	0,69	41%
33.	0,00172	2,603	27,450	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
34.	0,0180	2,150	3,892	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,02	2,0%
35.	6,35	2,052	0,198	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,33	24%
36.	0,00281	2,295	10,299	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,013	1,3%
37.	0,00100	3,119	26,765	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
38.	3,60	2,054	0,223	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,28	21%
39.	0,00206	2,645	23,469	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
40.	0,0133	2,176	5,386	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,018	1,8%
41.	0,00373	2,461	15,129	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
42.	39,4	2,051	0,145	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,87	40%
43.	7,73	2,053	0,168	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,39	29%
44.	3,73E-04	3,550	25,946	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,0099	1,0%
45.	0,0523	2,083	2,019	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,034	3,3%
46.	0,00817	2,141	3,721	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,019	1,9%
47.	0,00736	2,279	7,819	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,014	1,4%
48.	0,0293	2,099	2,054	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,032	3,1%
49.	0,104	2,090	1,522	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,042	4,1%
50.	0,0791	2,087	1,528	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,039	3,8%
51.	0,00915	2,207	6,328	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,016	1,6%
52.	0,00966	2,144	3,857	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,02	2,0%
53.	0,00258	2,541	20,612	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
54.	0,00123	2,798	27,152	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
55.	0,00189	2,596	27,333	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
56.	2,88E-04	3,988	25,019	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,0098	1,0%
57.	0,00202	2,710	27,216	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
58.	0,00426	2,312	11,138	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,013	1,3%
59.	0,00142	2,976	26,666	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
60.	0,00465	2,238	7,563	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,014	1,4%
61.	0,228	2,069	0,824	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,075	7,0%
62.	0,00109	3,129	26,964	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
63.	7,21E-04	3,345	26,199	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
64.	2,70E-04	3,720	25,084	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,0098	1,0%
65.	0,00217	2,639	27,316	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,013	1,3%
66.	2,67E-04	3,497	25,584	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,0098	1,0%
67.	8,78E-04	2,787	26,978	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
68.	0,429	2,066	0,805	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,076	7,2%
69.	45,4	2,050	0,146	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	1	39%
70.	28,4	2,050	0,145	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,7	37%
71.	0,152	2,078	1,254	0,8512	-0,00315	14,2991	43,0800	0,049	4,7%
72.	1,09	2,058	0,428	0,8512	-0,00330	14,2991	43,0800	0,14	12%
73.	2,77	2,056	0,284	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,21	16%
74.	1,88	2,056	0,357	0,8512	-0,00315	14,2991	43,0800	0,16	13%
[75.	186	2,050	0,146	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	1,9	51%]*
[76.	34,1	2,050	0,146	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	1,5	47%]*
77.	39,4	2,050	0,145	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,72	44%
78.	0,0109	2,172	4,931	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,018	1,8%
79.	25,8	2,050	0,144	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,53	35%
80.	7,47	2,052	0,171	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,36	25%
81.	0,00176	2,710	27,199	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,012	1,2%
82.	83,5	2,050	0,145	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	1,5	50%
83.	0,129	2,083	1,453	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,045	4,4%
84.	0,00117	2,921	27,130	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
85.	0,00364	2,541	16,801	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
86.	1,33	2,058	0,357	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,17	14%
87.	5,70E-04	2,956	26,559	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
88.	3,92	2,054	0,250	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,23	18%
89.	0,00121	2,817	26,843	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
90.	0,00106	2,655	27,202	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,011	1,1%
91.	10,8	2,052	0,152	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,42	28%

92.	6,31E-04	3,325	26,287	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
93.	17,2	2,051	0,143	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,5	31%
94.	7,45E-04	2,819	26,968	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,01	1,0%
95.	1,02	2,061	0,523	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,12	11%
96.	0,0130	2,161	4,226	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	0,02	2,0%
97.	0,890	2,064	0,611	0,8512	-0,00293	14,2991	43,0800	0,1	9,0%

*[Angaben der Messung N° 75, 76 wurden durch den Prüfer von den Ergebnissen ausgenommen.]

Tabellensymbole: *Noise* Mittelwert von Auslenkungen und höherfrequenten Lastschwankungen 'Schergredienten Fluktuation' im Kurvenzug der Messkraft bestimmt. Der Wert ist über die Geschwindigkeit und Messkörper-mantelfläche normiert [$\mu\text{Pa}/\text{mm}$], H_{Start} Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm], L_{cp} Länge der Suspension, deren Flüssigkeitsreibung und Auftrieb zur Korrektur der Kraft angewendet wird [mm], D_{RSP} Weite des Ringspalts zwischen Zylindermesskörper und Röhre bei der Temperatur [mm], ΔD_{RSP} Änderung der Spaltweite durch Abweichung von der Bezugstemperatur 25°C [μm], \varnothing_{zyl} Durchmesser des Messzylinders [mm], L_{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 Bewegungstrecke 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

100 Messwerte; Zeitbereich 1 bis 95 min, Temperatur $\Delta T = 0,012 \text{ K}$ ($\vartheta = 25,039 \pm 0,003^\circ\text{C}$)

Resultat bei 74 min: $\rho_{25,04^\circ\text{C}} = 0,99853 \pm 0,000083 \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 83 \text{ ppm}$ (298,19 K, 94,48 kPa)

Streuung: $\pm 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. 25 ppm relative Standardabweichung

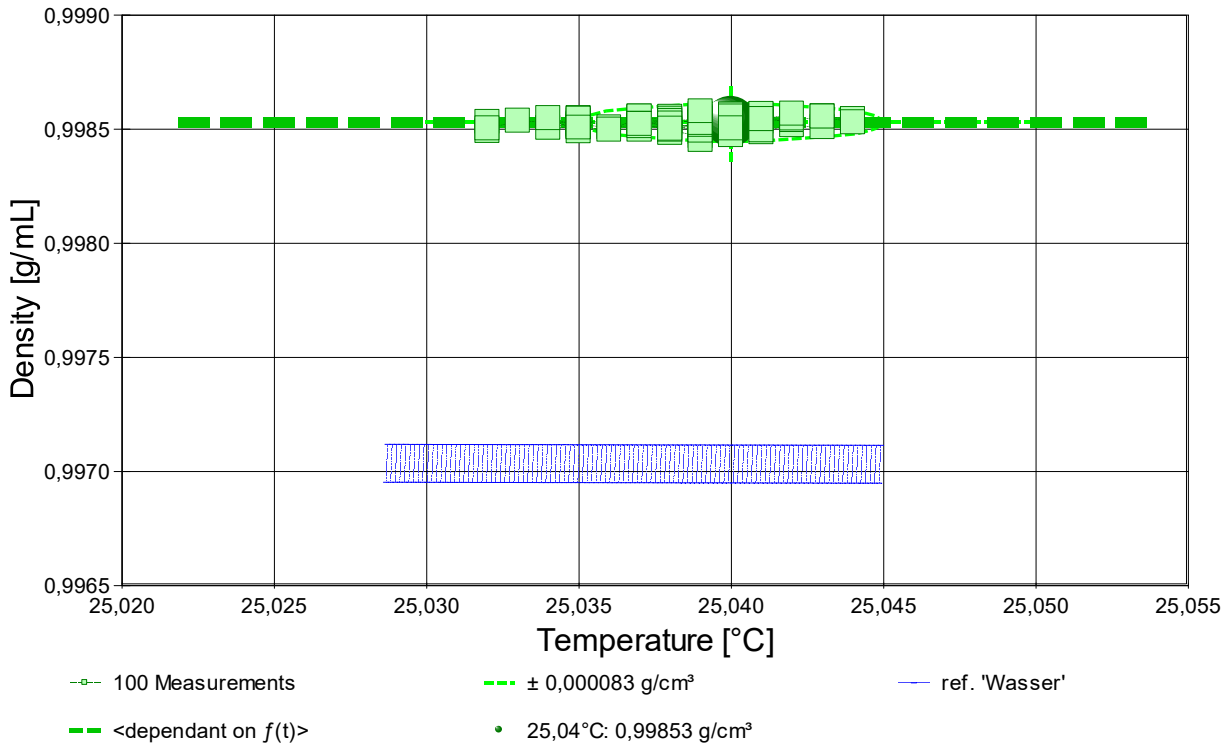
Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Zeitabhängigkeit durch Regression zwischen Minute 1 und 95:

$\rho(t[\text{min}]) = 0,998514 + 2,406\text{E-}7 \cdot t$ mit $r^2 = 0,07, s^2 = 6,01\text{E-}10$

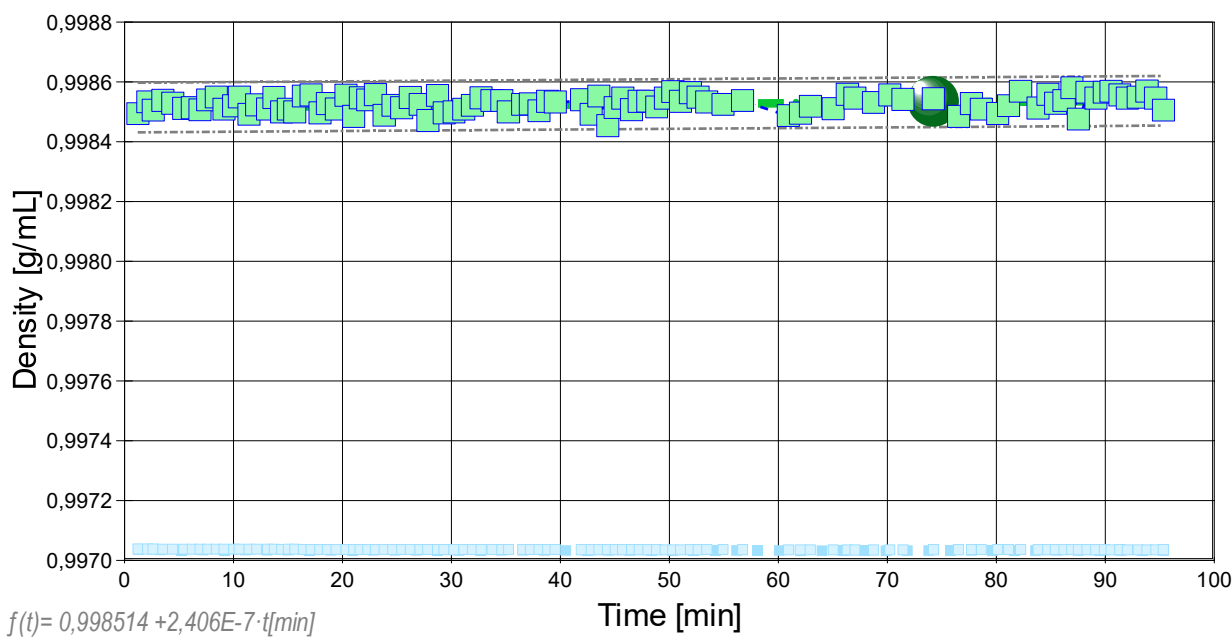
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei ' $r^2 = 0,07$ ' eine schlechte 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 100 Dichtemesswerte als Quadratsymbol bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 25,04°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-f(t)²'



$f(t) = 0,998514 + 2,406E-7 \cdot t [min]$
 --- ± 0,000083 g/cm³
 ● 74,3[min]: 0,99853 g/cm³
 ■ 100 Measurements
 — lin. equation $f(t)$
 ■ ref. 'Wasser'

- Im Diagramm 7, "rho-f(t)", 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° IDN°14956	t [min]	θ [°C]	ρ [g/cm³]	H [mm]	ω [s]	Δρ _ω [g/cm³]	N Werte & Trend	F _A [mN]	F _{korr.} [mN], TSymb.
1.	1,3	25,032	0,99849	2,048	3,3	-1,1E-05	3 ₃₀ ↗	412,8641	0,0014 ‡
2.	2,2	25,032	0,99853	2,048	3,5	-7,9E-06	3 ₃₂ ↗	412,8620	0,0016 ‡
3.	2,7	25,032	0,99850	2,048	6,9	-9,5E-07	7 ₃₀ ↑	412,8626	0,0005 ‡
4.	3,6	25,033	0,99854	2,048	3,2	1,7E-08	3 ₃₀ ↓	412,8655	0,0054 ‡
5.	4,5	25,035	0,99853	2,048	10,7	1,2E-05	11 ₃₀ ↗	412,8613	0,0006 ‡
6.	5,5	25,035	0,99851	2,048	4,1	-9,4E-06	4 ₃₀ ↑	412,8626	0,0009 ‡
7.	6,3	25,035	0,99851	2,048	3,3	-1,2E-05	3 ₃₂ ⇔	412,8649	0,0033 ‡
8.	7,0	25,034	0,99850	2,048	4,3	1,4E-05	4 ₃₀ ↗	412,8621	0,0001 ‡
9.	7,7	25,035	0,99854	2,048	3,3	-1,8E-05	3 ₃₀ →	412,8624	0,0024 ‡
10.	8,5	25,035	0,99855	2,048	3,3	3,4E-06	3 ₂₉ ↑	412,8606	0,0012 ‡
11.	9,2	25,035	0,99851	2,048	3,2	8,1E-06	3 ₃₀ ↓	412,8645	0,0027 ‡
12.	10,1	25,035	0,99852	2,048	3,3	4,0E-06	3 ₃₂ ↗	412,8623	0,0011 ‡
13.	10,6	25,034	0,99855	2,048	3,2	-4,6E-06	3 ₃₀ ↓	412,8616	0,0022 ‡
14.	11,5	25,035	0,99849	2,048	3,2	1,4E-05	3 ₃₀ ↗	412,8612	-0,0017 ‡
15.	12,2	25,035	0,99852	2,048	4,1	4,3E-06	4 ₃₀ ↗	412,8631	0,0022 ‡
16.	13,2	25,036	0,99851	2,048	3,3	2,3E-05	3 ₃₀ ↑	412,8626	0,0008 ‡
17.	13,8	25,035	0,99855	2,048	4,2	-2,7E-06	4 ₃₀ ⇔	412,8625	0,0030 ‡
18.	14,5	25,037	0,99850	2,048	3,3	-2,1E-05	3 ₃₀ ↑	412,8616	-0,0008 ‡
19.	15,1	25,035	0,99851	2,048	3,2	6,8E-06	3 ₃₀ ↗	412,8606	-0,0013 ‡
20.	15,7	25,036	0,99850	2,048	3,3	1,2E-05	3 ₃₁ ←	412,8610	-0,0014 ‡
21.	16,5	25,037	0,99855	2,048	3,3	1,7E-05	3 ₃₀ ⇔	412,8607	0,0015 ‡
22.	17,2	25,037	0,99855	2,048	3,3	2,1E-06	3 ₂₉ ⇔	412,8616	0,0026 ‡
23.	18,0	25,038	0,99849	2,048	3,2	-2,4E-06	3 ₂₉ ⇔	412,8632	0,0007 ‡
24.	18,7	25,039	0,99853	2,048	3,2	1,6E-05	3 ₂₉ ↗	412,8628	0,0021 ‡
25.	19,5	25,038	0,99851	2,048	4,1	-1,1E-05	4 ₃₀ ↗	412,8629	0,0011 ‡
26.	20,4	25,038	0,99855	2,048	3,5	5,1E-06	3 ₃₂ ⇔	412,8606	0,0016 ‡
27.	21,1	25,038	0,99848	2,048	3,2	3,8E-06	3 ₃₁ ⇔	412,8618	-0,0015 ‡
28.	21,7	25,039	0,99854	2,048	5,3	3,4E-06	5 ₃₁ ↑	412,8606	0,0010 ‡
29.	22,4	25,038	0,99854	2,048	3,3	-4,5E-06	3 ₃₁ ⇔	412,8620	0,0020 ‡
30.	23,1	25,037	0,99856	2,048	3,5	-6,5E-06	3 ₃₀ ↗	412,8611	0,0022 ‡
31.	23,9	25,039	0,99849	2,048	3,2	3,7E-07	3 ₃₀ ↗	412,8615	-0,0016 ‡
32.	24,7	25,039	0,99852	2,048	3,3	8,8E-06	3 ₃₁ →	412,8615	0,0004 ‡
33.	25,5	25,037	0,99851	2,048	3,2	-7,0E-07	3 ₃₁ →	412,8633	0,0018 ‡
34.	26,3	25,038	0,99855	2,048	3,3	-1,8E-06	3 ₂₉ →	412,8600	0,0005 ‡
35.	27,2	25,037	0,99852	2,048	3,3	-1,1E-06	3 ₃₁ ↗	412,8623	0,0014 ‡
36.	27,9	25,039	0,99847	2,048	3,2	-3,5E-06	3 ₃₀ ⇔	412,8599	-0,0042 ‡
37.	28,8	25,039	0,99855	2,048	3,2	-9,5E-07	3 ₃₀ ↑	412,8626	0,0034 ‡
38.	29,4	25,039	0,99849	2,048	3,5	2,1E-06	3 ₂₉ ↑	412,8616	-0,0010 ‡
39.	30,3	25,040	0,99850	2,048	3,2	1,0E-05	3 ₃₀ →	412,8609	-0,0015 ‡
40.	31,2	25,039	0,99851	2,048	7,8	1,7E-06	8 ₂₉ ↗	412,8604	-0,0015 ‡
41.	32,0	25,039	0,99852	2,048	4,3	2,2E-06	4 ₃₀ ↗	412,8619	0,0008 ‡
42.	32,8	25,039	0,99854	2,048	3,2	1,7E-08	3 ₂₉ ↗	412,8604	0,0008 ‡
43.	33,8	25,039	0,99854	2,048	5,2	3,4E-07	5 ₃₁ ⇔	412,8614	0,0013 ‡
44.	34,7	25,038	0,99854	2,048	3,3	6,3E-07	3 ₃₁ ↗	412,8623	0,0022 ‡
45.	35,3	25,038	0,99850	2,048	7,6	-5,6E-06	8 ₂₉ →	412,8638	0,0015 ‡
46.	36,6	25,037	0,99852	2,048	3,3	9,7E-06	3 ₃₁ ↗	412,8642	0,0033 ‡
47.	37,3	25,038	0,99852	2,048	3,3	9,9E-06	3 ₃₁ ⇔	412,8647	0,0039 ‡
48.	38,1	25,038	0,99850	2,048	4,0	7,5E-06	4 ₃₁ ⇔	412,8626	0,0004 ‡
49.	38,9	25,039	0,99853	2,048	3,5	1,5E-05	3 ₃₀ ↑	412,8645	0,0042 ‡
50.	39,6	25,039	0,99853	2,048	3,5	-1,1E-07	3 ₃₀ ⇔	412,8651	0,0047 ‡

51.	42,0	25,040	0,99854	2,048	7,0	1,2E-05	7 ₃₀ ↑	412,8616	0,0017 ‡
52.	42,9	25,040	0,99849	2,048	3,3	8,9E-07	3 ₂₉ ↗	412,8630	0,0002 ‡
53.	43,6	25,040	0,99855	2,048	4,1	1,1E-06	4 ₂₉ ↑	412,8635	0,0043 ‡
54.	44,4	25,039	0,99845	2,048	3,2	1,1E-05	3 ₂₉ ↘	412,8642	-0,0009 ‡
55.	45,1	25,040	0,99851	2,048	3,3	1,4E-05	3 ₂₉ ↗	412,8630	0,0016 ‡
56.	45,8	25,040	0,99854	2,048	3,6	4,0E-06	3 ₃₁ →	412,8623	0,0027 ‡
57.	46,6	25,039	0,99851	2,048	3,2	7,4E-06	3 ₃₁ ↗	412,8625	0,0006 ‡
58.	47,3	25,040	0,99853	2,048	6,2	-1,1E-05	6 ₃₀ ⇔	412,8631	0,0029 ‡
59.	48,1	25,040	0,99853	2,048	3,5	-6,6E-06	3 ₃₀ ⇔	412,8660	0,0058 ‡
60.	48,9	25,040	0,99851	2,048	3,2	9,6E-07	3 ₂₉ →	412,8632	0,0019 ‡
61.	49,7	25,041	0,99854	2,048	4,1	-2,1E-06	4 ₃₁ ↗	412,8643	0,0047 ‡
62.	50,4	25,041	0,99856	2,048	3,3	1,0E-05	3 ₃₁ ↗	412,8612	0,0029 ‡
63.	51,1	25,041	0,99853	2,048	5,2	-1,1E-05	5 ₂₉ ⇔	412,8679	0,0076 ‡
64.	52,0	25,040	0,99856	2,048	4,1	1,7E-05	4 ₃₀ ↑	412,8616	0,0031 ‡
65.	52,7	25,040	0,99855	2,048	6,9	9,1E-06	7 ₃₀ →	412,8624	0,0030 ‡
66.	53,5	25,039	0,99853	2,048	3,2	2,3E-06	3 ₂₉ →	412,8624	0,0020 ‡
67.	55,0	25,039	0,99852	2,048	3,2	1,5E-05	3 ₂₉ ↑	412,8606	-0,0003 ‡
68.	56,8	25,040	0,99853	2,048	5,2	1,7E-05	5 ₃₀ ⇔	412,8648	0,0047 ‡
69.	61,0	25,041	0,99849	2,048	4,3	1,5E-05	4 ₃₁ ↗	412,8640	0,0010 ‡
70.	62,1	25,041	0,99849	2,048	3,2	-4,0E-06	3 ₃₁ ↑	412,8635	0,0010 ‡
71.	63,0	25,042	0,99852	2,048	3,2	7,1E-06	3 ₃₁ ↗	412,8614	0,0002 ‡
72.	65,1	25,043	0,99851	2,048	4,1	1,1E-05	4 ₃₁ ↗	412,8630	0,0014 ‡
73.	66,4	25,043	0,99856	2,048	3,5	2,2E-05	3 ₃₁ ⇔	412,8615	0,0027 ‡
74.	67,1	25,044	0,99854	2,048	6,2	7,7E-06	4 ₃₁ →	412,8633	0,0037 ‡
75.	68,8	25,044	0,99853	2,048	3,2	-2,3E-06	3 ₃₀ →	412,8634	0,0031 ‡
76.	70,3	25,043	0,99855	2,048	3,3	-9,5E-07	3 ₂₉ ↑	412,8626	0,0036 ‡
77.	71,5	25,042	0,99854	2,048	5,2	9,5E-06	5 ₃₀ ↑	412,8635	0,0037 ‡
78.	74,3	25,040	0,99854	2,048	4,3	7,2E-06	4 ₃₂ ↗	412,8619	0,0022 ‡
79.	76,6	25,040	0,99848	2,048	3,3	4,1E-06	3 ₃₁ ↑	412,8626	-0,0007 ‡
80.	77,8	25,039	0,99852	2,048	5,2	-7,4E-06	5 ₂₉ ↑	412,8635	0,0029 ‡
81.	78,7	25,039	0,99851	2,048	3,5	2,3E-06	3 ₃₁ ⇔	412,8624	0,0006 ‡
82.	80,2	25,039	0,99849	2,048	3,3	-1,5E-05	3 ₃₁ ↓	412,8655	0,0029 ‡
83.	81,2	25,039	0,99852	2,048	3,2	1,8E-05	3 ₂₉ ↑	412,8626	0,0015 ‡
84.	82,3	25,039	0,99857	2,048	4,2	8,7E-06	4 ₃₁ ↗	412,8612	0,0030 ‡
85.	83,9	25,040	0,99851	2,048	3,4	4,1E-06	3 ₃₀ ↑	412,8626	0,0010 ‡
86.	84,8	25,040	0,99856	2,048	4,2	2,1E-05	4 ₃₁ ↑	412,8616	0,0028 ‡
87.	85,5	25,039	0,99853	2,048	6,1	2,3E-06	6 ₂₉ →	412,8622	0,0016 ‡
88.	86,3	25,040	0,99853	2,048	3,2	1,2E-05	3 ₃₀ ↗	412,8603	0,0002 ‡
89.	87,0	25,039	0,99858	2,048	3,2	2,1E-05	3 ₃₁ →	412,8617	0,0041 ‡
90.	87,6	25,040	0,99847	2,048	3,3	-1,8E-05	3 ₃₁ ↘	412,8632	-0,0005 ‡
91.	88,4	25,040	0,99856	2,048	5,9	7,6E-06	6 ₃₀ ⇔	412,8630	0,0046 ‡
92.	89,2	25,040	0,99854	2,048	3,3	-8,2E-06	3 ₂₉ →	412,8611	0,0015 ‡
93.	90,0	25,040	0,99856	2,048	3,3	1,2E-05	3 ₃₀ ↗	412,8651	0,0067 ‡
94.	90,6	25,041	0,99857	2,048	3,2	-1,1E-05	3 ₃₀ ↗	412,8640	0,0058 ‡
95.	91,4	25,040	0,99855	2,048	5,9	1,4E-05	6 ₃₁ ⇔	412,8612	0,0023 ‡
96.	92,1	25,041	0,99854	2,048	4,1	1,2E-05	4 ₃₀ →	412,8646	0,0050 ‡
97.	93,1	25,042	0,99855	2,048	4,1	-1,8E-05	4 ₃₁ ↗	412,8623	0,0029 ‡
98.	93,9	25,042	0,99857	2,048	5,0	-3,2E-06	5 ₃₁ ⇔	412,8609	0,0028 ‡
99.	94,7	25,041	0,99854	2,048	3,2	1,4E-05	3 ₂₉ ⇔	412,8617	0,0021 ‡
100.	95,4	25,040	0,99850	2,048	3,2	-5,1E-06	3 ₃₀ ↗	412,8618	-0,0002 ‡

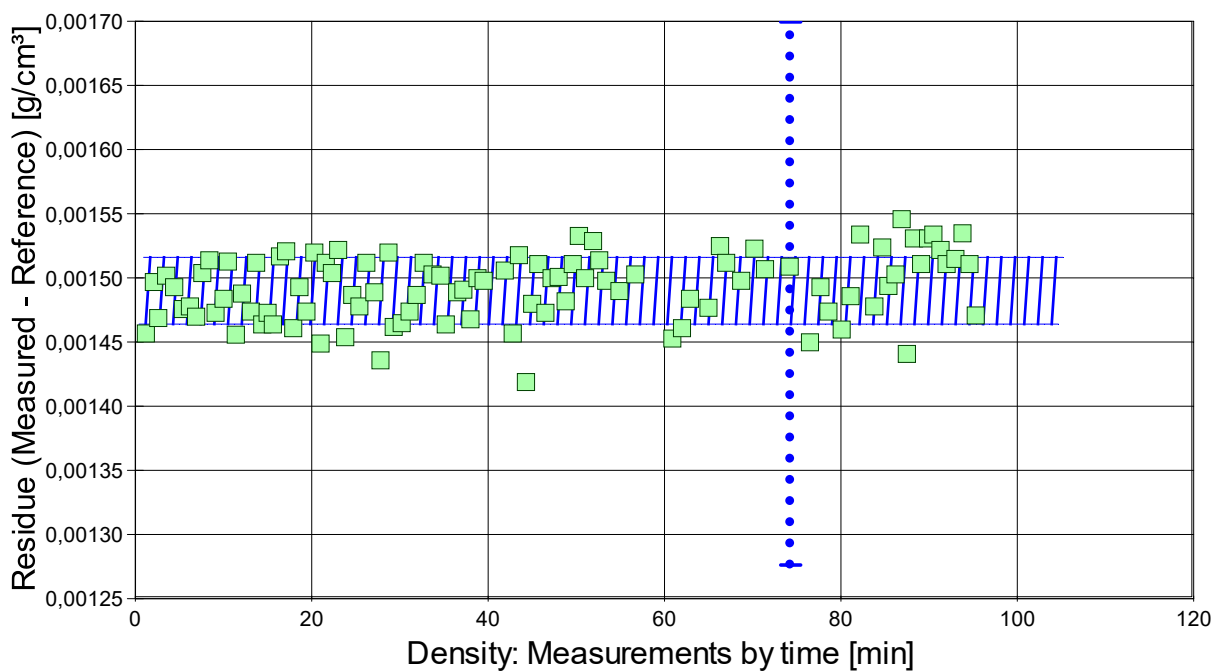
Tabellensymbole: *t* Zeitpunkt [min], *θ* Temperatur [°C], *ρ* Dichte [g/cm³], *H* Positionshöhe der Messkörperunterkante über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], *ω* Beobachtungsdauer der aufgezeichneten Auftriebsmessung [s], *Δρ_ω* Dichteänderung in der Beobachtungszeit [g/cm³], *N* Anzahl Auftriebsmesswerte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

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

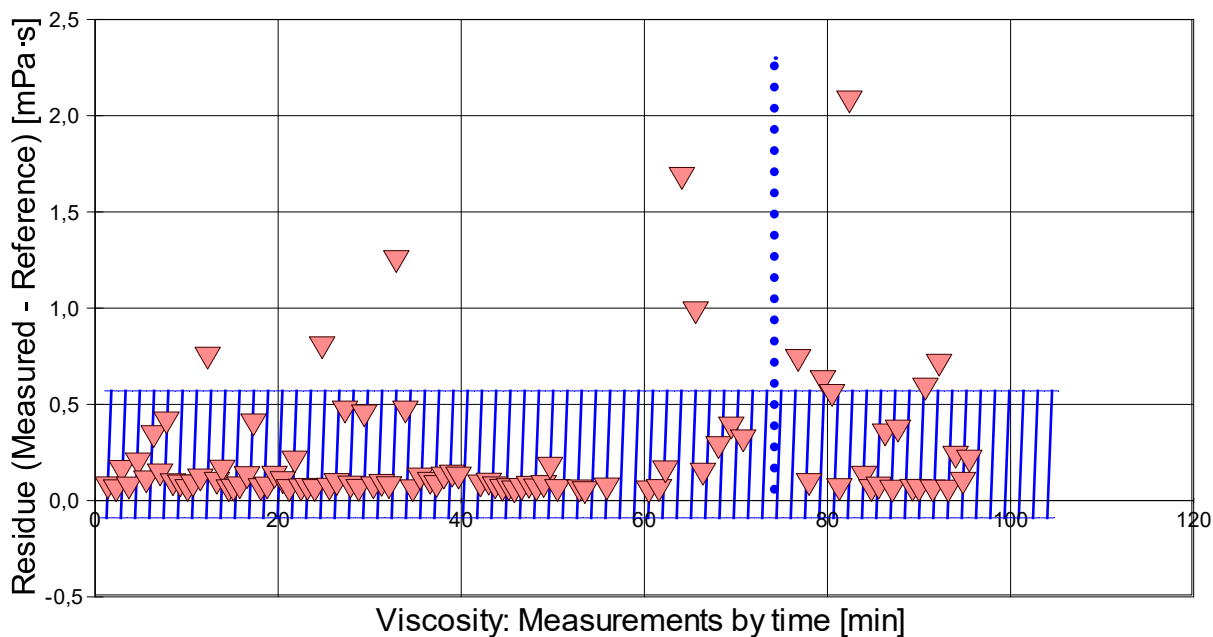
- **VORSICHT** Die Bedeutung des automatischen Vergleichs mit jeweiligen Referenzwerten ist völlig von der Richtigkeit und Präzision der hinterlegten Stoffdaten abhängig. - **Diagramm 7.**
Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'



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: $0,00149 \pm 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$, relative: +0,15% at a spread of 26 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: $0,240 \pm 0,33 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, relative: +25% at a spread of 34%

- 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 25.04°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
ρ	0,99703	0,99853	+0,00150 g/cm ³	0,2%	18

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
η	0,89	0,96	+0,07 mPa·s	8%	0,8

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'WASSER' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol η steht für die Messgröße; die Zahl zu " Δu " gibt an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit.

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 $48,1349 \pm 0,0003$ g, ~volumen $6,054 \pm 0,0005$ cm³, ~durchmesser $14,2991 \pm 0,001$ mm, ~länge $43,08 \pm 0,001$ mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient $53,165 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. g). **Messzylindersuspension:** Querschnitt $0,0201$ mm², Umfang $0,502$ mm, h). Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (*drift- und fehlerfreie Dichtemessung*).

i). **Behälter/Röhre:** Durchmesser $16,0015 \pm 0,0005$ mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient $20 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

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

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

Individuelle Werte: l). Offset-Korrektur: $F_\theta = 0,0002$ mN. m). Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: $77,6$ mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: $34,5$ mm.

n). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu $0,092\%$ bestimmt; die o). Messunsicherheit der Dichte ($\pm 0,000083$ g/cm³) 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 σ_y von Tabelle 3, Detaildaten zur Viskositätsmessung II., und in den jeweiligen Diagrammen eingezeichnet.

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

Programm

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

(the digital twin of process IDN°14956 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured basal raw data)

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (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 $\rho_{\text{cal}} 8,000$ g/cm³, Luftdichte ρ_{air} vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung $g 9,80769$ m/s².

Pt100-Temperaturmessung: Auflösung $0,001$ [K], Messunsicherheit $\pm 0,01$ [K], R° $100,0018$ [Ohm], AutoCal 60 [min] (BN° 3, $-10/100^\circ\text{C}$, 4S, FS15, Offset: $-0,0361$). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt $0,01$ K, die Unsicherheit $0,03$ K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.0.54, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

Justierung der Wägezelle während der Messung:

at $41,5$ min, Adjustment $-0,0002$ 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]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m ³]
1,0	51,91	22,47	93,942	1,10107
20,0	51,83	22,52	93,958	1,10106
40,1	51,85	22,55	93,964	1,10102
69,9	51,71	22,63	93,927	1,10026

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

Kommentar/Bewertung/Interpretation:

Zufällige Schergeschwindigkeiten ermöglichen verborgene Zeiteffekte der Viskosität zu erkennen, die für Rampen-Messungen unauflösbar sind. In dieser Messung treten eher subtile "Memory-Effekte" auf. Die zeitliche Dichtezunahme ist als bemerkenswert - schergradienteninduzierte Strukturveränderung - als Verdacht? Die mizellaren Verhältnisse dürften bei der Konz. $4x\text{CMC}$ jedenfalls vielfältig sein. Spekulativ, dass lamellare Strukturen eher nicht vorhanden sind (diese würden Newtonizität wohl verringern) und Aggregate als (sehr weiche?, In Ruhezeiten wachsende?) Liposomen / Mizellen vorliegen. Geordnete Strukturen führen oft zu einer relativen Erhöhung der Dichte. Die Messung selbst führt durch die Scherung und über die Zeit zu zunehmender Ordnung. ...

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

