

ID N° 14746 - DiVA-Method: Rheological Measurement

Rheology of air at 25°C

A system test for linearity. Interesting wave form at a certain rate (1,13mm/s) - leading to significant "viscosity peak". The calculated Yield Stress is rather an irritation than a hint on thick air (usage of standard setup is not appropriate for gases).

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

Results at 25,0°C

Viscosity: $\eta_{(100,0s^{-1})} = 0,0186 \pm 0,0012 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 17,8 \pm 1,1 \text{ mm}^2/\text{s}$

52/3 shear rates $\text{dec.}^{\text{exp}}(660 \rightarrow 35) \cdot \text{s}^{-1}$, resolves $K = 17,56 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}^{1,005}$ and $n = 1,005$ with $\tau^0 = 0,04804 \text{ mPa}$,

Density: $\rho = 0,001045 \pm 0,0000069 \text{ g/cm}^3$

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 folgen exakt dem Navier-Stokes'schen Fundament, so wie das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz. M5 DiVA ermöglicht unter Berücksichtigung von Aufhängungs- und Auftriebseffekten sowie der Strömungskinetik eine sehr genaue Bestimmung der absoluten Viskosität. Für nicht so normale Flüssigkeiten wird Viskosität 'scheinbare Viskosität' genannt. Gegenüber Rotationsviskosimetern ist bei M5 DiVA die Kohärenz- und Integrität der Messung hervorzuheben (keine Oberflächeneffekte, Wirbelbildung, Zentrifugalkräfte, Lagerreibung und unklare Scher-historien) wodurch sich ein Qualitätsunterschied definiert.

Über die Variation der Strömungsgeschwindigkeit wird die Rheometerfunktion angesprochen - d.h. die Messung der 'Viskosität' in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit. Dem hier durchmessenen Bereich 34,9 bis 663,9 /s kommt technisch die Bedeutung von *leichtem Rühren, Mischen bis etwa Pumpen, starkem Rühren* zu. -- Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte ρ (spezifische Masse) gibt die Stoffmenge an, die in einem Volumen vorliegt. Sie ist ebenfalls eine sehr temperatur- und wenig druckabhängige Stoffkonstante. Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit wurde 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 das Messkörpervolumen 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 (Kapillarviskosimeter, Pyknometer). Referenz M5 DiVA 'https://imeter.de/?view=article&id=73' - Beispiele & Auftragsmessungen über 'www.imeter.de/?view=article&id=58'

• 2. ÜBERSICHT

Die Viskosität wurde 152-mal gemessen, die Dichte 52-mal. Messdauer eine Stunde; Temperaturänderung im Bereich von 24,97 bis 25,11°C. .

• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

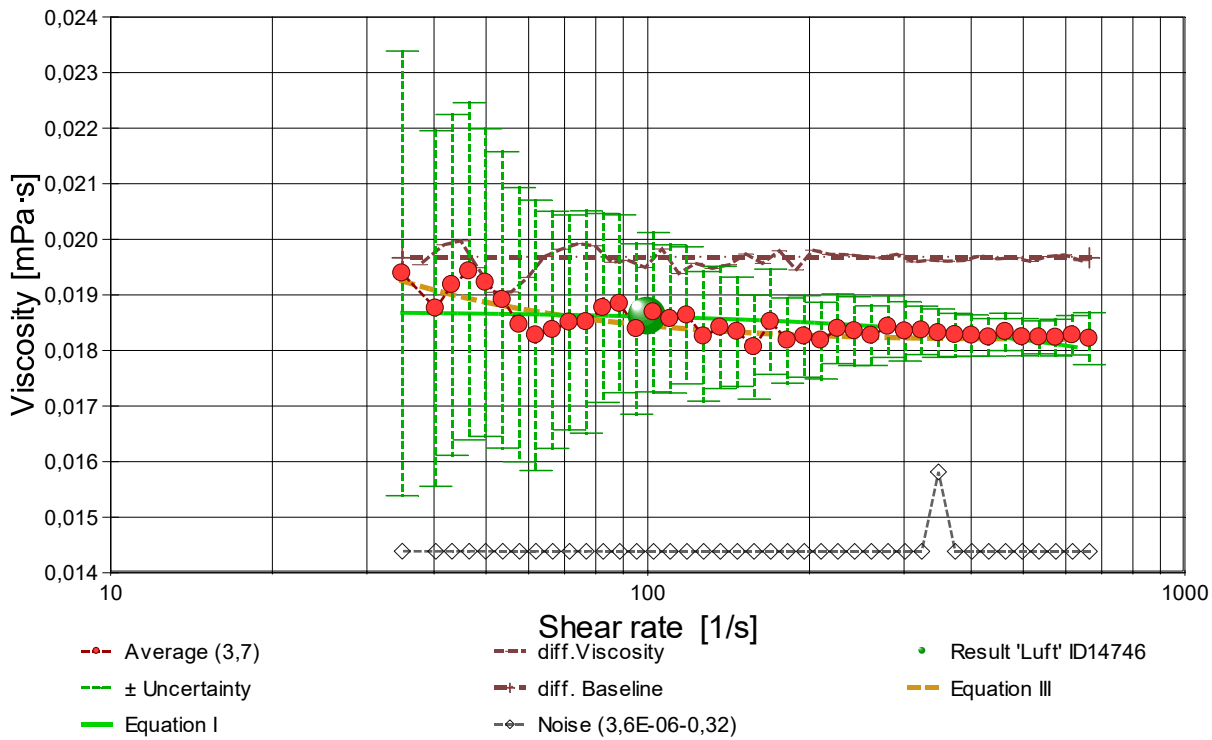
Temperatur **Luft-Probe** in Rheometrie-Messung: $25,042 \pm 0,030 \text{ °C}$, Zeitbereich: 1,4 bis 66,6 Minuten. Die 152 Viskositätsmesswerte wurden mit 52 unterschiedlichen Schergeschwindigkeiten ($\dot{\gamma}$) ermittelt und analysieren den Bereich zwischen 34,9 bis 663,9 s^{-1} wobei die Viskosität (η) Werte zwischen 0,018 bis 0,0196 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ erreicht. Die Ergebnisangabe der Messung $0,01861 \pm 0,0012 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ für $\dot{\gamma} = 100,0 \text{ s}^{-1}$ wurde aus einer Regressionsgleichung zu den Messwerten berechnet:

$$\eta_{25,0^\circ\text{C}} [\text{mPa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma} [1/\text{s}]) = 0,018715 \cdot e^{(-5,6779 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{\gamma})}$$

Gleichung 1, $r^2 = 0,32$, $\sigma \pm 0,015\%$

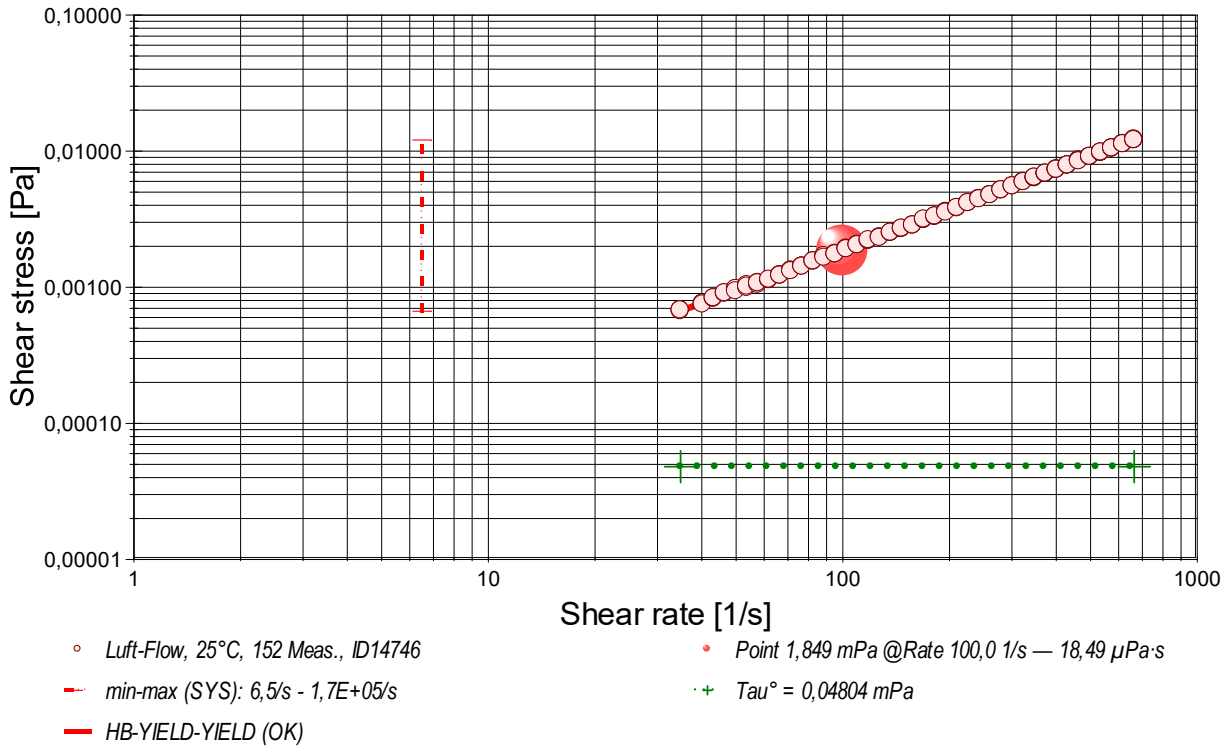
- Die Regressionsgleichung kombiniert die Menge der Messwerte. Zur Qualitätsbeurteilung, wie gut die Messwerte durch die Regressionsgleichung abgebildet werden, wird der Standardfehler als Gauß'sche Unsicherheit d.h. als *RMSPE (Root Mean Square Percentage Error)* bestimmt, der Wurzel aus dem mittleren 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 ($\pm 2\sigma$, Tabelle III). Die Ausgangsdaten stammen von einer Messwert-Mittelung über gleiche Scherraten in den vier durchlaufenen Zyklen. (vgl. *Zeit-Visko-Chart*). Der numerische Differenzenquotient der 41 Scherraten (diff.Viscosity) ist als relative Kurve mit zugehöriger Basisline mit $d\eta/d\ln(\dot{\gamma}) = 0$ eingezeichnet. Der Verlauf der Viskositätsänderung bietet mitunter exakt lokalisierbare rheologische Qualitäten: ein Kurvenverlauf über der Nullbezuglinie ('diff.Baseline') bedeutet Dilatanz, unter Null liegt Strukturviskosität vor, eine Differenziallage, auf oder dicht an der Null-Linie, drückt newtonische Proportionalität aus. Mit rautenförmigen 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 newtonische 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 Luft bei 25°C beschreibt die Gleichung II insgesamt hervorragend:

$$\tau \text{ [Pa]} = 0,00004804 + 1,756 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{\gamma}^{1,005} \quad \text{Gleichung II, } r^2 = 0,999915, \sigma \pm 1,1\%$$

Fließgrenze ($\tau^0 = 0,04804 \text{ mPa}$), Konsistenz ($K = 17,56 \text{ } \mu\text{Pa}$) und Fließindex ($n = 1,005$) charakterisieren das Fließverhalten der Luft-Probe; die Kennzahlen ergeben sich aus dem geläufigen Potenzgesetz. Die Ableitung von Gl.II nach der Schergeschwindigkeit ($\dot{\gamma} \rightarrow \dot{\gamma}$) ergibt die Gleichung III zur Beschreibung der Viskosität als Funktion der Deformation:

$$\eta \text{ [}\mu\text{Pa}\cdot\text{s]} = 48,04 \cdot \dot{\gamma}^{-1} + 17,56 \cdot \dot{\gamma}^{0,005} \quad \text{Gleichung III, } r^2 = \sim 0, \text{VK} = 1,8\%, \sigma \pm 3,3\text{E-}07\%$$

Daraus eine Kurzdiagnose zur Luft-Probe: • **Newtonsche Idealdynamik (Grenzwert).**

• Hohe strukturelle Stabilität. Das Material zeigt ausgeprägte plastische Eigenschaften; der Yield-Stress dominiert das Kurzzeitverhalten.

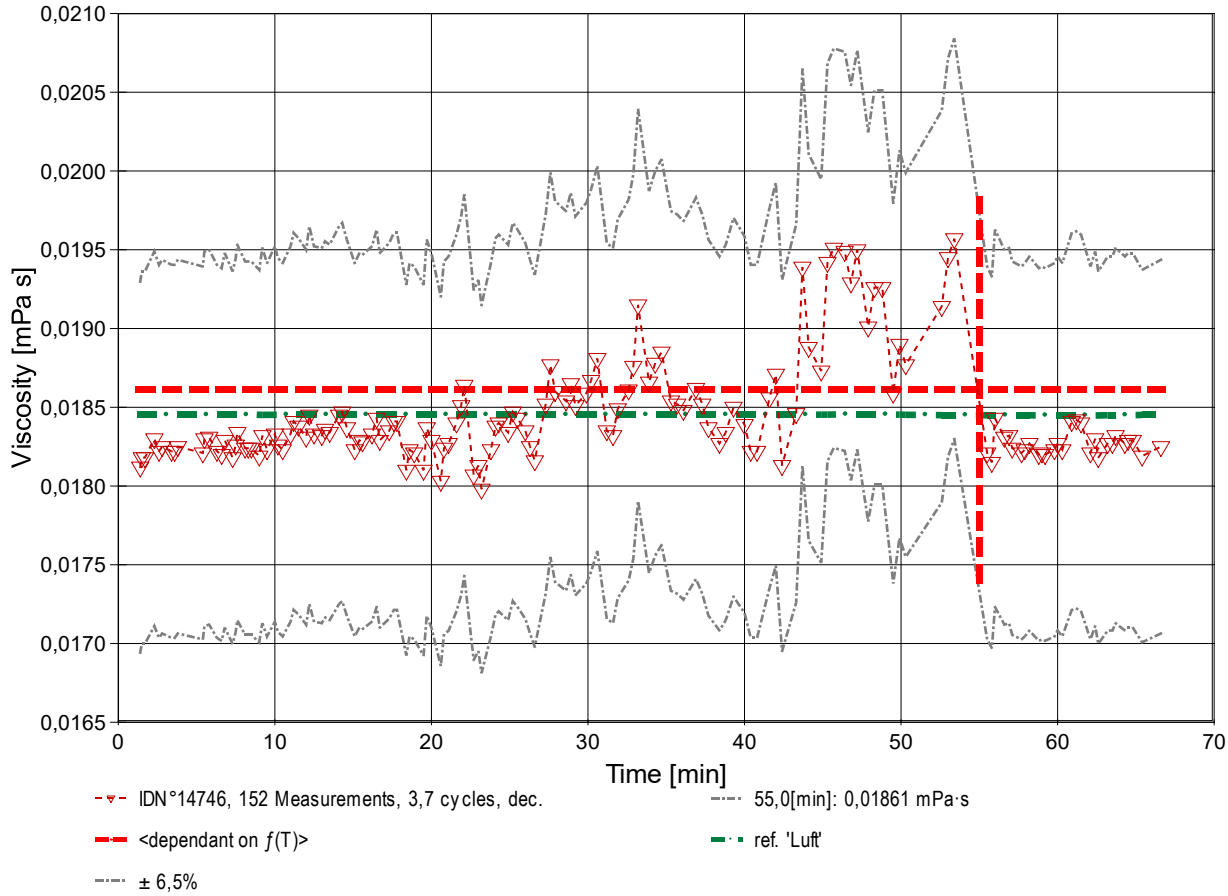
- Der Yield Stress ist konsistent mit der strukturellen Viskosität der Probe.
- Der Verlauf des $\tau/\dot{\gamma}$ -Differenzials im Viskositätsdiagramm ermöglicht die Beurteilung spezifischer Flußmodifikatoren anhand des Verlaufs der *differenziellen Viskosität* ($\dot{\gamma}$).

- Die Begriffe 'Yield Stress', 'Fließgrenzspannung', 'Fließgrenze' sind synonym, um eine *Rigidität* am quasi ruhenden Fluid zu quantifizieren. Der ausgewiesene Wert von $\tau^0 = 0,04804$ mPa befindet sich unterhalb gewöhnlicher Anzeigemöglichkeit; es fehlen Vergleichsdaten.

¹ M5 DiVA - *DifferentialViscous-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'



- 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°	t	ϑ	η	v_z	F_z	τ	v_{max}	$\dot{\gamma}$	Re
IDN°14746	[min]	[°C]	[mPa·s]	[mm/s]	[mN]	[Pa]	[mm/s]	[s ⁻¹]	[Zahl]
1.	1,4	25,038	0,0181	20,00	0,2078	0,0120	144	663,9	9,9
2.	1,5	25,038	0,0182	20,00	0,2086	0,0121	144	663,9	9,8
3.	1,7	25,038	0,0182	20,00	0,2085	0,0121	144	663,9	9,8
4.	2,3	25,039	0,0183	18,61	0,1953	0,0113	134	617,7	8,9
5.	2,6	25,038	0,0182	18,61	0,1945	0,0113	134	617,7	9,0
6.	2,8	25,038	0,0182	18,61	0,1947	0,0113	134	617,7	9,0
7.	3,4	25,041	0,0182	17,32	0,1810	0,0105	125	575,0	8,4
8.	3,6	25,041	0,0182	17,32	0,1810	0,0105	125	575,0	8,4
9.	3,8	25,041	0,0182	17,32	0,1813	0,0105	125	575,0	8,4
10.	5,4	25,043	0,0182	16,12	0,1682	0,00974	116	534,9	7,9
11.	5,5	25,043	0,0183	16,12	0,1691	0,00979	116	534,9	7,8
12.	5,8	25,044	0,0183	16,12	0,1692	0,00979	116	534,9	7,8
13.	6,3	25,045	0,0182	15,01	0,1568	0,00907	108	498,1	7,2
14.	6,6	25,043	0,0182	15,01	0,1566	0,00906	108	498,1	7,3
15.	6,8	25,044	0,0183	15,01	0,1574	0,00911	108	498,1	7,2
16.	7,3	25,044	0,0182	13,97	0,1456	0,00843	100	463,5	6,8
17.	7,5	25,043	0,0183	13,97	0,1462	0,00846	100	463,5	6,7
18.	7,6	25,044	0,0183	13,97	0,1469	0,00850	100	463,5	6,7
19.	8,1	25,045	0,0182	12,99	0,1359	0,00787	93,4	431,3	6,2
20.	8,3	25,046	0,0182	12,99	0,1359	0,00787	93,4	431,3	6,2
21.	8,5	25,045	0,0182	12,99	0,1359	0,00787	93,4	431,3	6,2
22.	9,0	25,047	0,0182	12,09	0,1261	0,00730	86,9	401,3	5,8
23.	9,2	25,046	0,0183	12,09	0,1270	0,00735	86,9	401,3	5,8
24.	9,5	25,048	0,0182	12,09	0,1264	0,00732	86,9	401,3	5,8
25.	10,0	25,049	0,0183	11,26	0,1183	0,00685	80,9	373,6	5,4
26.	10,2	25,047	0,0183	11,26	0,1179	0,00682	80,9	373,6	5,4
27.	10,5	25,049	0,0182	11,26	0,1177	0,00681	80,9	373,6	5,4

28.	11,0	25,049	0,0183	10,48	0,1101	0,00637	75,3	347,7	5,0
29.	11,2	25,049	0,0184	10,48	0,1106	0,00640	75,3	347,7	5,0
30.	11,5	25,049	0,0184	10,48	0,1104	0,00639	75,3	347,7	5,0
31.	12,0	25,050	0,0183	9,749	0,1024	0,00592	70,1	323,6	4,7
32.	12,2	25,052	0,0185	9,749	0,1031	0,00597	70,1	323,6	4,7
33.	12,5	25,054	0,0183	9,749	0,1025	0,00593	70,1	323,6	4,7
34.	13,0	25,060	0,0183	9,076	0,0954	0,00552	65,2	301,2	4,4
35.	13,2	25,060	0,0184	9,076	0,0956	0,00553	65,2	301,2	4,4
36.	13,5	25,061	0,0183	9,076	0,0955	0,00553	65,2	301,2	4,4
37.	14,1	25,063	0,0184	8,440	0,0893	0,00517	60,7	280,1	4,1
38.	14,3	25,062	0,0185	8,440	0,0894	0,00517	60,7	280,1	4,0
39.	14,6	25,062	0,0184	8,440	0,0889	0,00515	60,7	280,1	4,1
40.	15,1	25,063	0,0182	7,859	0,0822	0,00475	56,5	260,8	3,8
41.	15,4	25,062	0,0183	7,859	0,0824	0,00477	56,5	260,8	3,8
42.	15,6	25,062	0,0183	7,859	0,0824	0,00477	56,5	260,8	3,8
43.	16,2	25,061	0,0183	7,312	0,0768	0,00445	52,6	242,7	3,5
44.	16,5	25,061	0,0184	7,312	0,0773	0,00447	52,6	242,7	3,5
45.	16,7	25,060	0,0183	7,312	0,0767	0,00444	52,6	242,7	3,5
46.	17,3	25,060	0,0184	6,807	0,0716	0,00415	48,9	225,9	3,3
47.	17,6	25,060	0,0184	6,807	0,0718	0,00416	48,9	225,9	3,2
48.	17,8	25,059	0,0184	6,807	0,0719	0,00416	48,9	225,9	3,2
49.	18,4	25,058	0,0181	6,332	0,0657	0,00380	45,5	210,2	3,0
50.	18,6	25,055	0,0182	6,332	0,0662	0,00383	45,5	210,2	3,0
51.	18,9	25,056	0,0182	6,332	0,0661	0,00383	45,5	210,2	3,0
52.	19,5	25,055	0,0181	5,892	0,0612	0,00354	42,3	195,6	2,9
53.	19,7	25,054	0,0184	5,892	0,0621	0,00359	42,3	195,6	2,8
54.	20,0	25,054	0,0183	5,892	0,0618	0,00358	42,3	195,6	2,8
55.	20,6	25,054	0,0180	5,487	0,0567	0,00328	39,4	182,1	2,7
56.	20,8	25,054	0,0182	5,487	0,0574	0,00332	39,4	182,1	2,7
57.	21,1	25,054	0,0183	5,487	0,0575	0,00333	39,4	182,1	2,7
58.	21,6	25,054	0,0184	5,104	0,0538	0,00312	36,7	169,4	2,5
59.	21,9	25,052	0,0185	5,104	0,0542	0,00314	36,7	169,4	2,4
60.	22,1	25,053	0,0186	5,104	0,0546	0,00316	36,7	169,4	2,4
61.	22,7	25,052	0,0181	4,752	0,0492	0,00285	34,2	157,7	2,3
62.	23,0	25,052	0,0181	4,752	0,0494	0,00286	34,2	157,7	2,3
63.	23,2	25,051	0,0180	4,752	0,0490	0,00284	34,2	157,7	2,3
64.	23,8	25,052	0,0182	4,423	0,0462	0,00268	31,8	146,8	2,1
65.	24,1	25,051	0,0184	4,423	0,0466	0,00270	31,8	146,8	2,1
66.	24,3	25,051	0,0184	4,423	0,0467	0,00270	31,8	146,8	2,1
67.	24,9	25,052	0,0183	4,113	0,0433	0,00250	29,6	136,5	2,0
68.	25,2	25,050	0,0185	4,113	0,0436	0,00252	29,6	136,5	2,0
69.	25,5	25,050	0,0184	4,113	0,0435	0,00252	29,6	136,5	2,0
70.	26,0	25,051	0,0183	3,830	0,0403	0,00233	27,5	127,1	1,8
71.	26,3	25,049	0,0183	3,830	0,0401	0,00232	27,5	127,1	1,8
72.	26,6	25,050	0,0182	3,830	0,0399	0,00231	27,5	127,1	1,9
73.	27,3	25,051	0,0185	3,564	0,0379	0,00219	25,6	118,3	1,7
74.	27,6	25,050	0,0188	3,564	0,0384	0,00222	25,6	118,3	1,7
75.	27,9	25,051	0,0186	3,564	0,0380	0,00220	25,6	118,3	1,7
76.	28,6	25,052	0,0185	3,317	0,0353	0,00204	23,8	110,1	1,6
77.	28,9	25,051	0,0187	3,317	0,0355	0,00205	23,8	110,1	1,6
78.	29,2	25,052	0,0185	3,317	0,0352	0,00204	23,8	110,1	1,6
79.	29,9	25,053	0,0186	3,088	0,0329	0,00190	22,2	102,5	1,5
80.	30,2	25,051	0,0187	3,088	0,0331	0,00191	22,2	102,5	1,5
81.	30,6	25,051	0,0188	3,088	0,0333	0,00193	22,2	102,5	1,4
82.	31,2	25,052	0,0183	2,873	0,0302	0,00175	20,7	95,37	1,4
83.	31,6	25,051	0,0183	2,873	0,0302	0,00175	20,7	95,37	1,4
84.	31,9	25,051	0,0185	2,873	0,0305	0,00176	20,7	95,37	1,4
85.	32,6	25,051	0,0186	2,673	0,0285	0,00165	19,2	88,70	1,3
86.	32,9	25,050	0,0188	2,673	0,0287	0,00166	19,2	88,70	1,3
87.	33,2	25,050	0,0191	2,673	0,0293	0,00170	19,2	88,70	1,2
88.	33,9	25,051	0,0187	2,489	0,0266	0,00154	17,9	82,61	1,2
89.	34,3	25,050	0,0188	2,489	0,0268	0,00155	17,9	82,61	1,2
90.	34,7	25,050	0,0189	2,489	0,0269	0,00156	17,9	82,61	1,2
91.	35,3	25,050	0,0185	2,315	0,0246	0,00142	16,6	76,83	1,1
92.	35,7	25,050	0,0185	2,315	0,0246	0,00142	16,6	76,83	1,1
93.	36,1	25,050	0,0185	2,315	0,0245	0,00142	16,6	76,83	1,1
94.	36,9	25,052	0,0186	2,154	0,0230	0,00133	15,5	71,50	1,0
95.	37,3	25,051	0,0185	2,154	0,0229	0,00132	15,5	71,50	1,0
96.	37,7	25,052	0,0184	2,154	0,0227	0,00131	15,5	71,50	1,0
97.	38,4	25,053	0,0183	2,005	0,0210	0,00122	14,4	66,54	0,96
98.	38,8	25,053	0,0183	2,005	0,0211	0,00122	14,4	66,54	0,96
99.	39,3	25,052	0,0185	2,005	0,0213	0,00123	14,4	66,54	0,95
100.	40,0	25,054	0,018	1,866	0,0197x	0,0011	13	61,9	0,9
101.	40,4	25,054	0,018	1,866	0,0195x	0,0011	13	61,9	0,9
102.	40,8	25,054	0,018	1,866	0,0195x	0,0011	13	61,9	0,9
103.	41,6	25,055	0,019	1,737	0,0185x	0,0011	12	57,7	0,8
104.	42,0	25,053	0,019	1,737	0,0186x	0,0011	12	57,7	0,8
105.	42,4	25,053	0,018	1,737	0,0181x	0,0010	12	57,7	0,8
106.	43,3	25,054	0,018	1,617	0,0171x	9,9E-04	12	53,7	0,8
107.	43,7	25,056	0,019	1,617	0,0180x	0,0010	12	53,7	0,7
108.	44,1	25,064	0,019	1,617	0,0175x	0,0010	12	53,7	0,8
109.	44,9	25,080	0,019	1,505	0,0162x	9,4E-04	11	49,9	0,7
110.	45,3	25,087	0,019	1,505	0,0168x	9,7E-04	11	49,9	0,7
111.	45,7	25,096	0,020	1,505	0,0168x	9,7E-04	11	49,9	0,7
112.	46,4	25,110	0,019	1,400	0,0156x	9,1E-04	10	46,5	0,6
113.	46,8	25,112	0,019	1,400	0,0155x	9,0E-04	10	46,5	0,6
114.	47,2	25,112	0,019	1,400	0,0157x	9,1E-04	10	46,5	0,6
115.	47,9	25,110	0,019	1,303	0,0142x	8,2E-04	9,4	43,2	0,6

116.	48,3	25,014	0,019	1,303	0,0144*	8,3E-04	9,4	43,2	0,6
117.	48,8	25,098	0,019	1,303	0,0144*	8,3E-04	9,4	43,2	0,6
118.	49,5	25,085	0,019	1,213	0,0129*	7,5E-04	8,7	40,3	0,6
119.	49,9	25,075	0,019	1,213	0,0131*	7,6E-04	8,7	40,3	0,6
120.	50,3	25,067	0,019	1,213	0,0131*	7,6E-04	8,7	40,3	0,6
[121.	51,1	25,052	0,031	1,129	0,0199*	0,0012	8,1	37,5	0,3]*
[122.	51,5	25,043	0,031	1,129	0,0200*	0,0012	8,1	37,5	0,3]*
[123.	51,9	25,035	0,031	1,129	0,0201*	0,0012	8,1	37,5	0,3]*
124.	52,6	25,021	0,019	1,050	0,0115*	6,7E-04	7,5	34,9	0,5
125.	53,0	25,013	0,019	1,050	0,0117*	6,8E-04	7,5	34,9	0,5
126.	53,4	25,008	0,020	1,050	0,0118*	6,8E-04	7,5	34,9	0,5
127.	55,5	24,998	0,0182	20,00	0,2089	0,0121	144	663,9	9,8
128.	55,8	24,994	0,0182	20,00	0,2082	0,0121	144	663,9	9,8
129.	56,0	24,992	0,0184	20,00	0,2114	0,0122	144	663,9	9,6
130.	56,6	24,993	0,0183	18,61	0,1954	0,0113	134	617,7	9,0
131.	56,9	24,989	0,0183	18,61	0,1955	0,0113	134	617,7	9,0
132.	57,1	24,987	0,0182	18,61	0,1946	0,0113	134	617,7	9,0
133.	57,7	24,987	0,0182	17,32	0,1809	0,0105	125	575,0	8,4
134.	57,9	24,985	0,0182	17,32	0,1811	0,0105	125	575,0	8,4
135.	58,2	24,980	0,0183	17,32	0,1815	0,0105	125	575,0	8,4
136.	58,8	24,978	0,0182	16,12	0,1682	0,00973	116	534,9	7,8
137.	59,0	24,978	0,0182	16,12	0,1682	0,00974	116	534,9	7,8
138.	59,2	24,976	0,0182	16,12	0,1682	0,00973	116	534,9	7,8
139.	59,8	24,976	0,0182	15,01	0,1569	0,00908	108	498,1	7,3
140.	60,0	24,975	0,0183	15,01	0,1572	0,00910	108	498,1	7,3
141.	60,3	24,973	0,0182	15,01	0,1568	0,00908	108	498,1	7,4
142.	60,9	24,973	0,0184	13,97	0,1474	0,00853	100	463,5	6,8
143.	61,2	24,974	0,0184	13,97	0,1475	0,00854	100	463,5	6,8
144.	61,5	24,973	0,0184	13,97	0,1474	0,00853	100	463,5	6,7
145.	62,1	24,977	0,0182	12,99	0,1357	0,00785	93,4	431,3	6,3
146.	62,4	24,977	0,0183	12,99	0,1363	0,00789	93,4	431,3	6,2
147.	62,6	24,978	0,0182	12,99	0,1354	0,00784	93,4	431,3	6,3
148.	63,2	24,989	0,0183	12,09	0,1267	0,00733	86,9	401,3	5,8
149.	63,5	24,997	0,0183	12,09	0,1267	0,00733	86,9	401,3	5,8
150.	63,7	25,003	0,0183	12,09	0,1270	0,00735	86,9	401,3	5,8
151.	64,3	25,014	0,0183	11,26	0,1180	0,00683	80,9	373,6	5,4
152.	64,5	25,018	0,0183	11,26	0,1180	0,00683	80,9	373,6	5,4
153.	64,8	25,021	0,0183	11,26	0,1180	0,00683	80,9	373,6	5,4
154.	65,4	25,026	0,0182	10,48	0,1093	0,00633	75,3	347,7	5,0
155.	66,6	25,034	0,0182	10,48	0,1096	0,00635	75,3	347,7	5,0

*[Angaben der Messung N° 121, 122, 123 wurden durch den Prüfer von der mathematischen Betrachtung abgekoppelt.]

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_p) und Aufhängung (F_{hp}), der geschwindigkeitsproportionale Druckverlust durch die kinetische Energie und die Reibung in der Einlaufzone des Ringspalt (F_ζ), die viskose Reibung der Messzylinder-Aufhängung im Medium ($F_{h\eta}$), die rekursiv bestimmt wird. Die reibungsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich aus $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_\zeta - F_{h\eta}$. Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt. Das Zeichen "*" 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 Beweggeschwindigkeit 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, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.

N°	F_w	σ_{Fw}	$\sigma_{Fw\ rel}$ -- Alle Werteinträge in [mN] --	F_p	F_{hp}	F_ζ	$F_{h\eta}$	N/n Datenauswahl
1.	472,3050	0,00343	7,3 ppm	472,0960	0	0,00115	1,61E-05	10/24
2.	472,3057	0,00387	8,2 ppm	472,0960	0	0,00114	1,58E-05	10/24
3.	472,3057	0,00377	8,0 ppm	472,0960	0	0,00114	1,62E-05	11/25
4.	472,2930	4,50E-04	0,95 ppm	472,0967	0	9,76E-04	1,66E-05	5/27
5.	472,2921	0,00121	2,6 ppm	472,0967	0	9,76E-04	1,54E-05	12/28
6.	472,2924	0,00222	4,7 ppm	472,0967	0	9,76E-04	1,51E-05	12/28
7.	472,2789	8,48E-04	1,8 ppm	472,0971	0	8,45E-04	1,42E-05	13/30
8.	472,2790	9,49E-04	2,0 ppm	472,0971	0	8,47E-04	1,41E-05	13/29
9.	472,2792	6,35E-04	1,3 ppm	472,0971	0	8,48E-04	1,42E-05	13/30
10.	472,2657	7,84E-06	0,017 ppm	472,0967	0	7,40E-04	1,33E-05	14/32
11.	472,2666	3,56E-04	0,75 ppm	472,0967	0	7,38E-04	1,44E-05	8/32
12.	472,2666	3,04E-04	0,64 ppm	472,0967	0	7,36E-04	1,35E-05	11/32
13.	472,2548	4,17E-04	0,88 ppm	472,0974	0	6,35E-04	1,23E-05	15/34
14.	472,2546	5,11E-04	1,1 ppm	472,0974	0	6,36E-04	1,20E-05	15/33
15.	472,2554	5,11E-04	1,1 ppm	472,0974	0	6,36E-04	1,21E-05	15/34
16.	472,2429	4,50E-04	0,95 ppm	472,0968	0	5,51E-04	1,14E-05	16/36
17.	472,2436	4,96E-04	1,1 ppm	472,0968	0	5,50E-04	1,15E-05	17/37
18.	472,2442	7,88E-06	0,017 ppm	472,0968	0	5,49E-04	1,15E-05	16/36
19.	472,2334	0	---	472,0970	0	4,74E-04	1,06E-05	19/41
20.	472,2334	0	---	472,0970	0	4,74E-04	1,07E-05	18/40
21.	472,2334	0	---	472,0970	0	4,75E-04	1,07E-05	18/40
22.	472,2236	5,42E-06	0,011 ppm	472,0971	0	4,12E-04	9,87E-06	20/43
23.	472,2245	9,39E-06	0,020 ppm	472,0971	0	4,12E-04	9,77E-06	20/43
24.	472,2239	4,36E-04	0,92 ppm	472,0971	0	4,12E-04	9,76E-06	17/38
25.	472,2148	4,72E-06	0,0100 ppm	472,0961	0	3,58E-04	9,25E-06	17/37
26.	472,2144	5,13E-04	1,1 ppm	472,0961	0	3,58E-04	9,31E-06	22/48

27.	472,2141	4,80E-04	1,0 ppm	472,0961	0	3,57E-04	9,38E-06	22/48
28.	472,2064	5,18E-04	1,1 ppm	472,0960	0	3,09E-04	8,36E-06	17/37
29.	472,2069	1,45E-05	0,031 ppm	472,0960	0	3,10E-04	8,70E-06	18/40
30.	472,2067	3,95E-04	0,84 ppm	472,0960	0	3,11E-04	8,62E-06	17/38
31.	472,1999	2,93E-04	0,62 ppm	472,0973	0	2,71E-04	8,11E-06	27/57
32.	472,2007	4,59E-04	0,97 ppm	472,0973	0	2,70E-04	8,10E-06	17/38
33.	472,2000	2,33E-06	0,0049 ppm	472,0973	0	2,70E-04	8,09E-06	19/42
34.	472,1922	7,31E-04	1,5 ppm	472,0966	0	2,34E-04	7,51E-06	20/43
35.	472,1924	4,13E-04	0,87 ppm	472,0966	0	2,34E-04	7,57E-06	20/43
36.	472,1923	7,94E-04	1,7 ppm	472,0966	0	2,34E-04	7,58E-06	20/44
37.	472,1860	7,84E-04	1,7 ppm	472,0965	0	2,02E-04	7,18E-06	23/50
38.	472,1861	4,00E-04	0,85 ppm	472,0965	0	2,02E-04	7,11E-06	21/46
39.	472,1856	5,15E-04	1,1 ppm	472,0965	0	2,02E-04	7,02E-06	21/46
40.	472,1791	5,86E-04	1,2 ppm	472,0968	0	1,75E-04	6,52E-06	26/55
41.	472,1794	1,83E-04	0,39 ppm	472,0968	0	1,75E-04	6,49E-06	25/53
42.	472,1794	2,00E-04	0,42 ppm	472,0968	0	1,75E-04	6,44E-06	21/45
43.	472,1729	5,65E-04	1,2 ppm	472,0959	0	1,51E-04	6,07E-06	21/46
44.	472,1733	6,29E-04	1,3 ppm	472,0959	0	1,51E-04	6,15E-06	24/52
45.	472,1728	3,71E-04	0,78 ppm	472,0959	0	1,51E-04	6,11E-06	26/56
46.	472,1687	2,10E-04	0,44 ppm	472,0969	0	1,31E-04	5,67E-06	23/50
47.	472,1689	5,14E-04	1,1 ppm	472,0969	0	1,30E-04	5,65E-06	27/57
48.	472,1689	3,73E-04	0,79 ppm	472,0969	0	1,30E-04	5,62E-06	23/49
49.	472,1636	3,99E-04	0,84 ppm	472,0978	0	1,12E-04	5,15E-06	25/53
50.	472,1641	5,16E-04	1,1 ppm	472,0978	0	1,12E-04	5,18E-06	25/53
51.	472,1640	3,99E-04	0,84 ppm	472,0978	0	1,13E-04	5,18E-06	29/62
52.	472,1580	3,65E-04	0,77 ppm	472,0968	0	9,82E-05	4,81E-06	27/57
53.	472,1590	5,15E-04	1,1 ppm	472,0968	0	9,82E-05	4,95E-06	27/58
54.	472,1587	4,27E-04	0,90 ppm	472,0968	0	9,83E-05	4,92E-06	27/58
55.	472,1533	5,31E-04	1,1 ppm	472,0965	0	8,54E-05	4,51E-06	29/62
56.	472,1540	1,81E-04	0,38 ppm	472,0965	0	8,55E-05	4,57E-06	29/62
57.	472,1540	4,22E-04	0,89 ppm	472,0965	0	8,56E-05	4,57E-06	30/63
58.	472,1499	7,85E-04	1,7 ppm	472,0960	0	7,42E-05	4,28E-06	30/64
59.	472,1502	7,67E-04	1,6 ppm	472,0960	0	7,40E-05	4,31E-06	32/68
60.	472,1507	7,06E-04	1,5 ppm	472,0960	0	7,38E-05	4,32E-06	32/68
61.	472,1463	7,55E-04	1,6 ppm	472,0970	0	6,37E-05	3,93E-06	35/74
62.	472,1465	7,28E-04	1,5 ppm	472,0970	0	6,37E-05	3,91E-06	28/59
63.	472,1461	1,84E-04	0,39 ppm	472,0970	0	6,37E-05	3,90E-06	28/59
64.	472,1430	3,98E-04	0,84 ppm	472,0967	0	5,53E-05	3,67E-06	30/64
65.	472,1434	5,91E-04	1,3 ppm	472,0967	0	5,54E-05	3,73E-06	30/64
66.	472,1434	5,60E-04	1,2 ppm	472,0967	0	5,55E-05	3,69E-06	31/65
67.	472,1390	4,97E-04	1,1 ppm	472,0957	0	4,82E-05	3,43E-06	33/69
68.	472,1393	6,09E-04	1,3 ppm	472,0957	0	4,81E-05	3,45E-06	29/62
69.	472,1392	6,27E-04	1,3 ppm	472,0957	0	4,80E-05	3,45E-06	29/61
70.	472,1367	5,07E-04	1,1 ppm	472,0964	0	4,14E-05	3,20E-06	30/64
71.	472,1365	8,12E-04	1,7 ppm	472,0964	0	4,14E-05	3,19E-06	30/64
72.	472,1363	4,87E-04	1,0 ppm	472,0964	0	4,13E-05	3,16E-06	30/64
73.	472,1350	4,82E-04	1,0 ppm	472,0971	0	3,58E-05	3,00E-06	33/69
74.	472,1355	4,50E-04	0,95 ppm	472,0971	0	3,60E-05	3,05E-06	34/71
75.	472,1351	5,74E-04	1,2 ppm	472,0971	0	3,61E-05	3,03E-06	34/71
76.	472,1309	6,59E-04	1,4 ppm	472,0956	0	3,16E-05	2,81E-06	36/76
77.	472,1311	4,58E-04	0,97 ppm	472,0956	0	3,15E-05	2,82E-06	36/75
78.	472,1309	5,10E-04	1,1 ppm	472,0956	0	3,14E-05	2,79E-06	31/65
79.	472,1290	6,29E-04	1,3 ppm	472,0961	0	2,71E-05	2,64E-06	33/70
80.	472,1292	4,13E-04	0,88 ppm	472,0961	0	2,70E-05	2,63E-06	34/72
81.	472,1294	4,70E-04	1,00 ppm	472,0961	0	2,70E-05	2,65E-06	33/69
82.	472,1271	6,87E-04	1,5 ppm	472,0969	0	2,33E-05	2,43E-06	36/76
83.	472,1271	6,35E-04	1,3 ppm	472,0969	0	2,33E-05	2,39E-06	36/75
84.	472,1274	3,34E-04	0,71 ppm	472,0969	0	2,33E-05	2,43E-06	33/70
85.	472,1251	4,75E-04	1,0 ppm	472,0966	0	2,02E-05	2,26E-06	39/81
86.	472,1254	3,31E-04	0,70 ppm	472,0966	0	2,03E-05	2,29E-06	39/81
87.	472,1260	5,67E-04	1,2 ppm	472,0966	0	2,04E-05	2,34E-06	34/72
88.	472,1226	3,54E-04	0,75 ppm	472,0959	0	1,77E-05	2,13E-06	37/78
89.	472,1227	5,18E-04	1,1 ppm	472,0959	0	1,77E-05	2,14E-06	37/78
90.	472,1228	6,50E-04	1,4 ppm	472,0959	0	1,76E-05	2,16E-06	37/78
91.	472,1225	4,87E-04	1,0 ppm	472,0979	0	1,51E-05	1,96E-06	39/82
92.	472,1225	6,45E-04	1,4 ppm	472,0979	0	1,51E-05	1,96E-06	36/76
93.	472,1224	7,74E-04	1,6 ppm	472,0979	0	1,51E-05	1,96E-06	36/76
94.	472,1191	4,47E-04	0,95 ppm	472,0961	0	1,31E-05	1,84E-06	39/82
95.	472,1190	4,14E-04	0,88 ppm	472,0961	0	1,31E-05	1,84E-06	39/82
96.	472,1188	4,34E-04	0,92 ppm	472,0961	0	1,31E-05	1,82E-06	35/74
97.	472,1177	3,31E-04	0,70 ppm	472,0967	0	1,13E-05	1,68E-06	38/79
98.	472,1178	5,92E-04	1,3 ppm	472,0967	0	1,13E-05	1,69E-06	38/80
99.	472,1180	5,07E-04	1,1 ppm	472,0967	0	1,13E-05	1,69E-06	38/79
100.	472,1172	7,2E-04	1,5 ppm	472,0975	0	9,84E-06	1,54E-06	39/82
101.	472,1170	5,6E-04	1,2 ppm	472,0975	0	9,84E-06	1,52E-06	39/82
102.	472,1170	5,7E-04	1,2 ppm	472,0975	0	9,83E-06	1,52E-06	36/76
103.	472,1149	4,7E-04	0,99 ppm	472,0964	0	8,52E-06	1,36E-06	40/83
104.	472,1150	4,9E-04	1,0 ppm	472,0964	0	8,54E-06	1,37E-06	40/83
105.	472,1145	5,3E-04	1,1 ppm	472,0964	0	8,56E-06	1,33E-06	39/82
106.	472,1138	3,0E-04	0,63 ppm	472,0967	0	7,44E-06	1,19E-06	40/83
107.	472,1147	7,6E-04	1,6 ppm	472,0967	0	7,45E-06	1,25E-06	36/76
108.	472,1142	5,0E-04	1,0 ppm	472,0967	0	7,45E-06	1,22E-06	36/76
109.	472,1139	6,0E-04	1,3 ppm	472,0978	0	6,46E-06	1,06E-06	39/81
110.	472,1145	3,6E-04	0,76 ppm	472,0978	0	6,46E-06	1,11E-06	39/82
111.	472,1146	2,6E-04	0,55 ppm	472,0978	0	6,47E-06	1,10E-06	40/83
112.	472,1120	5,5E-04	1,2 ppm	472,0964	0	5,60E-06	9,73E-07	39/82
113.	472,1119	3,1E-04	0,65 ppm	472,0964	0	5,60E-06	9,64E-07	40/83
114.	472,1121	6,1E-04	1,3 ppm	472,0964	0	5,60E-06	9,70E-07	36/75

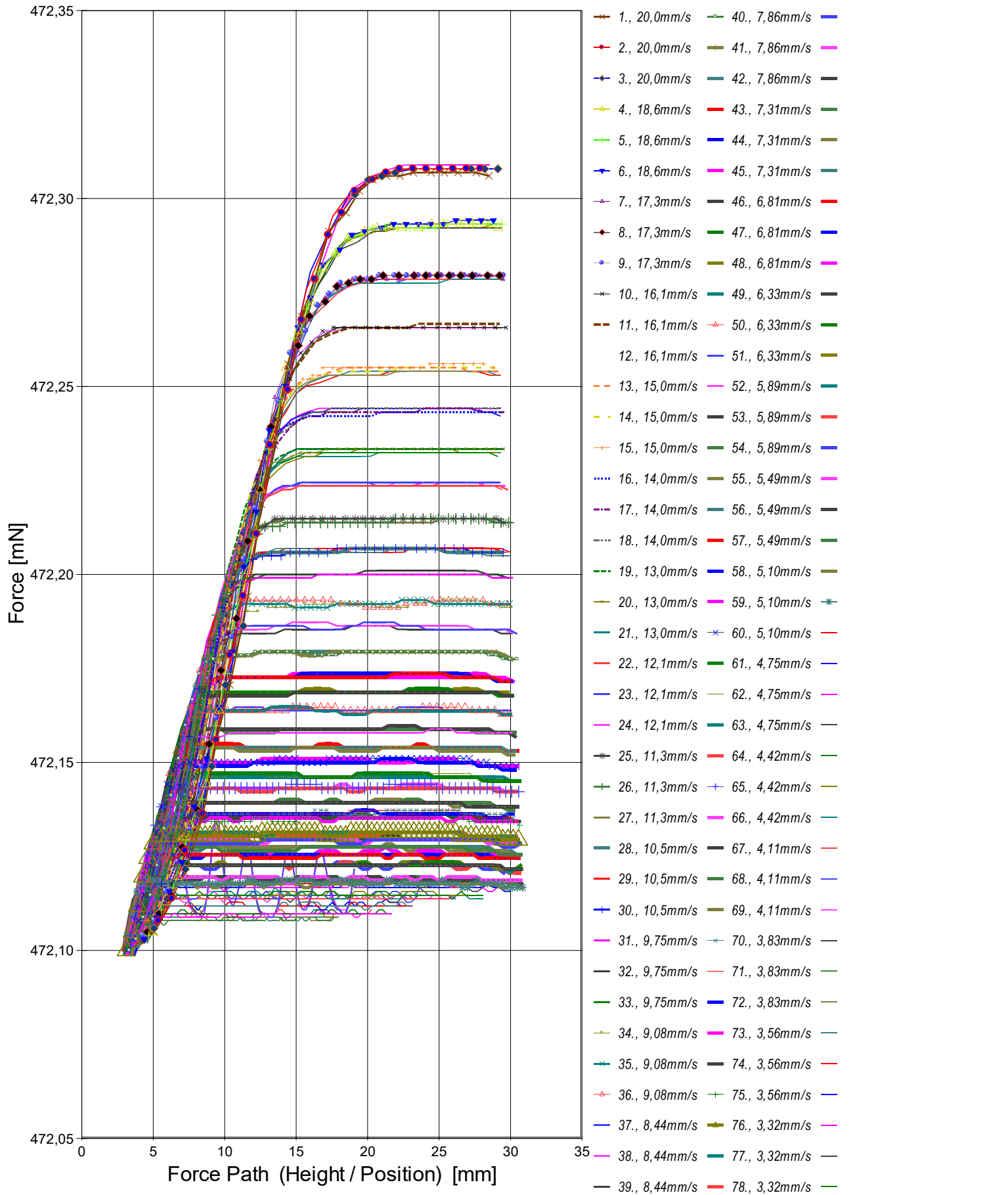
115.	472,1097	3,6E-04	0,76 ppm	472,0955	0	4,83E-06	8,40E-07	39/82
116.	472,1099	3,1E-04	0,66 ppm	472,0955	0	4,83E-06	8,48E-07	39/82
117.	472,1099	3,2E-04	0,68 ppm	472,0955	0	4,81E-06	8,48E-07	36/76
118.	472,1097	2,7E-04	0,58 ppm	472,0968	0	4,16E-06	7,23E-07	39/82
119.	472,1099	3,5E-04	0,75 ppm	472,0968	0	4,16E-06	7,33E-07	36/76
120.	472,1099	2,2E-04	0,48 ppm	472,0968	0	4,17E-06	7,30E-07	39/82
[121.	472,1164	0,0064	14 ppm	472,0965	0	3,61E-06	1,06E-06	40/83]*
[122.	472,1165	0,0065	14 ppm	472,0965	0	3,61E-06	1,06E-06	36/75]*
[123.	472,1166	0,0064	14 ppm	472,0965	0	3,61E-06	1,07E-06	36/76]*
124.	472,1082	4,3E-04	0,91 ppm	472,0967	0	3,12E-06	5,79E-07	39/81
125.	472,1084	4,4E-04	0,94 ppm	472,0967	0	3,12E-06	5,89E-07	40/83
126.	472,1085	4,3E-04	0,90 ppm	472,0967	0	3,13E-06	5,93E-07	38/79
127.	472,3063	0,00268	5,7 ppm	472,0963	0	0,00114	1,62E-05	10/24
128.	472,3057	0,00398	8,4 ppm	472,0963	0	0,00114	1,59E-05	11/25
129.	472,3089	0	---	472,0963	0	0,00114	1,70E-05	4/24
130.	472,2921	3,05E-04	0,65 ppm	472,0957	0	9,82E-04	1,62E-05	9/28
131.	472,2922	0,00180	3,8 ppm	472,0957	0	9,82E-04	1,51E-05	12/27
132.	472,2913	0,00155	3,3 ppm	472,0957	0	9,82E-04	1,50E-05	12/28
133.	472,2777	5,83E-04	1,2 ppm	472,0960	0	8,51E-04	1,42E-05	13/30
134.	472,2780	0,00117	2,5 ppm	472,0960	0	8,51E-04	1,39E-05	13/30
135.	472,2784	3,56E-04	0,75 ppm	472,0960	0	8,50E-04	1,51E-05	8/29
136.	472,2656	2,36E-04	0,50 ppm	472,0967	0	7,36E-04	1,30E-05	14/32
137.	472,2657	7,84E-06	0,017 ppm	472,0967	0	7,36E-04	1,31E-05	14/32
138.	472,2656	2,28E-04	0,48 ppm	472,0967	0	7,38E-04	1,30E-05	15/33
139.	472,2537	4,91E-04	1,0 ppm	472,0961	0	6,43E-04	1,22E-05	15/34
140.	472,2539	2,60E-04	0,55 ppm	472,0961	0	6,44E-04	1,22E-05	15/34
141.	472,2536	5,11E-04	1,1 ppm	472,0961	0	6,47E-04	1,23E-05	15/33
142.	472,2441	3,34E-04	0,71 ppm	472,0961	0	5,62E-04	1,14E-05	17/37
143.	472,2442	7,88E-06	0,017 ppm	472,0961	0	5,58E-04	1,14E-05	16/36
144.	472,2440	3,96E-04	0,84 ppm	472,0961	0	5,55E-04	1,14E-05	17/37
145.	472,2324	7,60E-06	0,016 ppm	472,0962	0	4,75E-04	1,05E-05	18/40
146.	472,2330	5,05E-04	1,1 ppm	472,0962	0	4,76E-04	1,05E-05	18/40
147.	472,2321	4,50E-04	0,95 ppm	472,0962	0	4,77E-04	1,06E-05	18/40
148.	472,2238	3,93E-04	0,83 ppm	472,0967	0	4,14E-04	9,85E-06	20/43
149.	472,2238	3,93E-04	0,83 ppm	472,0967	0	4,13E-04	9,89E-06	20/43
150.	472,2242	4,38E-04	0,93 ppm	472,0967	0	4,13E-04	9,95E-06	19/42
151.	472,2147	2,96E-04	0,63 ppm	472,0964	0	3,57E-04	9,31E-06	22/47
152.	472,2148	5,77E-06	0,012 ppm	472,0964	0	3,57E-04	9,10E-06	15/33
153.	472,2148	5,57E-06	0,012 ppm	472,0964	0	3,56E-04	9,22E-06	16/35
154.	472,2062	6,70E-04	1,4 ppm	472,0966	0	3,08E-04	8,62E-06	17/38
155.	472,2065	4,99E-04	1,1 ppm	472,0966	0	3,07E-04	8,73E-06	19/42

*[Beiträge der Messung N° 121, 122, 123 wurden durch den Prüfer von der mathematischen Auswertung abgekoppelt.]

Tabellensymbole: F_w Betrag der gemittelten stationären Kraft bei Bewegung des Zylinders [mN], σ_{F_w} Standardabweichung der Kraftmesswerte des *stationären Bereichs* [mN], $\sigma_{F_w rel}$ relative Standardabweichung[-], F_p Auftriebskraft des ruhenden Zylinder inkl. Auftrieb der Suspension [mN], F_{hp} Auftriebskraft durch das tauchende Volumen der Suspension [mN], F_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 Abtastung: Anzahl verwendeter (N) und '/' Anzahl vorhandener Kraftmesswerte (n) zur Bildung von F_w .

- In der Tabelle 2 sind die Mess- und Zwischenergebnisse zur Bilanzierung der Kräfte zusammengestellt. Die dabei in Betracht gezogene Messwerteauswahl ist in der letzten Spalte 'N/n' angegeben; durch den angewendeten Cutoff-Algorithmus werden Drückstöße und Pendelvorgänge besonders am Messkurvenanfang ausgeblendet (Das Diagramm 5, 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-) Kapillarkosimetern 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. 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 scherverdünn, scherverfestigt (bewegzeitabhängig) im Ringspalt. Alle Kurven-Störungen betreffen die Angaben zu Noise und Messunsicherheit $\Sigma\sigma$. 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' [μPa/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.	5,88E-05	5,066	23,424	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,0005	2,8%
2.	6,08E-05	5,386	22,504	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,00054	3,0%

3.	5,76E-05	5,046	24,064	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,00053	2,9%
4.	5,69E-06	4,961	24,156	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,00029	1,6%
5.	2,08E-05	4,682	24,696	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,00035	1,9%
6.	4,09E-05	4,366	24,435	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,00043	2,4%
7.	1,49E-05	4,317	25,156	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
8.	1,63E-05	4,577	24,653	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,00035	1,9%
9.	9,91E-06	4,317	25,190	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,00032	1,8%
10.	0	4,744	24,931	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,00028	1,5%
11.	6,09E-06	4,229	24,931	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,00031	1,7%
12.	6,42E-06	4,503	24,915	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,00031	1,7%
13.	6,56E-06	4,910	24,385	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,00033	1,8%
14.	6,56E-06	4,894	23,920	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
15.	6,56E-06	4,654	24,145	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
16.	7,25E-06	4,811	24,440	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,00035	1,9%
17.	1,17E-05	4,602	24,872	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,00036	2,0%
18.	0	5,049	24,202	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,00031	1,7%
19.	0	4,515	24,987	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,00032	1,8%
20.	0	4,319	25,169	0,8512	-0,00338	14,2991	43,0800	0,00032	1,8%
21.	0	4,112	25,390	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,00032	1,8%
22.	0	4,436	25,330	0,8512	-0,00345	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
23.	0	4,073	25,124	0,8512	-0,00338	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
24.	1,38E-05	4,436	25,124	0,8512	-0,00353	14,2991	43,0800	0,00039	2,1%
25.	0	4,186	25,327	0,8512	-0,00360	14,2991	43,0800	0,00036	2,0%
26.	1,61E-05	4,186	25,676	0,8512	-0,00345	14,2991	43,0800	0,00043	2,4%
27.	1,59E-05	4,017	26,014	0,8512	-0,00360	14,2991	43,0800	0,00042	2,3%
28.	1,60E-05	3,947	25,373	0,8512	-0,00360	14,2991	43,0800	0,00045	2,5%
29.	0	3,957	25,530	0,8512	-0,00360	14,2991	43,0800	0,00038	2,1%
30.	9,00E-06	4,282	25,195	0,8512	-0,00360	14,2991	43,0800	0,00043	2,3%
31.	7,84E-06	3,583	26,517	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,00044	2,4%
32.	1,60E-05	4,031	25,747	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,00047	2,5%
33.	0	3,739	26,049	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,0004	2,2%
34.	4,89E-05	3,977	26,083	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,00055	3,0%
35.	2,04E-05	4,121	25,802	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,00049	2,7%
36.	4,04E-05	3,976	25,802	0,8512	-0,00448	14,2991	43,0800	0,00056	3,1%
37.	3,79E-05	3,496	26,908	0,8512	-0,00463	14,2991	43,0800	0,0006	3,3%
38.	1,00E-05	3,893	26,241	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,00052	2,8%
39.	2,99E-05	3,893	26,115	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,00054	2,9%
40.	2,92E-05	3,325	27,145	0,8512	-0,00463	14,2991	43,0800	0,00059	3,2%
41.	7,86E-06	3,451	26,657	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,00051	2,8%
42.	1,16E-05	3,585	26,280	0,8512	-0,00455	14,2991	43,0800	0,00051	2,8%
43.	3,55E-05	3,774	26,162	0,8512	-0,00448	14,2991	43,0800	0,00063	3,4%
44.	2,62E-05	3,657	26,395	0,8512	-0,00448	14,2991	43,0800	0,00064	3,5%
45.	2,45E-05	3,664	26,513	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,00059	3,2%
46.	1,27E-05	3,614	26,492	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,00059	3,2%
47.	3,70E-05	4,043	26,056	0,8512	-0,00441	14,2991	43,0800	0,00066	3,6%
48.	3,30E-05	3,716	26,063	0,8512	-0,00433	14,2991	43,0800	0,00063	3,4%
49.	3,65E-05	3,670	26,323	0,8512	-0,00426	14,2991	43,0800	0,00068	3,8%
50.	4,73E-05	3,677	26,209	0,8512	-0,00404	14,2991	43,0800	0,00071	3,9%
51.	2,60E-05	3,474	26,520	0,8512	-0,00411	14,2991	43,0800	0,00068	3,7%
52.	2,60E-05	3,705	26,338	0,8512	-0,00404	14,2991	43,0800	0,00071	3,9%
53.	3,94E-05	3,610	26,704	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,00076	4,1%
54.	1,44E-05	3,616	26,704	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,00073	4,0%
55.	5,92E-05	3,557	26,665	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,00081	4,5%
56.	1,48E-05	3,645	26,671	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,00071	3,9%
57.	5,45E-05	3,568	26,912	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,00078	4,3%
58.	6,21E-05	3,345	26,955	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,00096	5,2%
59.	6,42E-05	3,268	27,200	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,00095	5,1%
60.	3,18E-05	3,192	27,189	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,00093	5,0%
61.	5,03E-05	3,084	27,553	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,001	5,5%
62.	4,93E-05	3,602	26,659	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,001	5,5%
63.	1,70E-05	3,526	26,878	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,00081	4,5%
64.	5,53E-05	3,469	26,883	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,00095	5,2%
65.	5,38E-05	3,473	27,095	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,001	5,4%
66.	8,59E-05	3,124	27,299	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,001	5,4%
67.	2,16E-05	3,096	27,377	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,0011	6,0%
68.	8,83E-05	3,351	26,863	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0011	6,0%
69.	9,50E-05	3,285	27,188	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0011	6,0%
70.	4,32E-05	3,605	26,572	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0011	6,0%
71.	1,04E-04	3,605	26,749	0,8512	-0,00360	14,2991	43,0800	0,0013	7,1%
72.	8,55E-05	3,544	26,630	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0011	6,1%
73.	9,07E-05	3,437	26,951	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0012	6,5%
74.	1,08E-04	3,156	27,458	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0012	6,4%
75.	6,44E-05	3,159	27,450	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0013	7,0%
76.	7,19E-05	3,126	27,424	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,0014	7,6%
77.	2,39E-05	3,385	27,112	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0013	7,0%
78.	4,88E-05	3,282	27,112	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,0013	7,0%
79.	1,00E-04	3,386	27,286	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,0015	8,1%
80.	8,46E-05	3,198	27,163	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0014	7,5%
81.	7,64E-05	3,337	27,308	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0014	7,4%
82.	1,09E-04	3,204	27,519	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,0016	8,7%
83.	1,58E-04	3,250	27,249	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0016	8,7%
84.	2,73E-05	3,069	27,387	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0014	7,6%
85.	1,42E-04	2,995	27,602	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0016	8,6%
86.	2,55E-05	3,204	27,394	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0015	8,0%
87.	2,10E-04	3,121	27,394	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0017	8,9%
88.	8,70E-05	3,008	27,689	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0016	8,6%
89.	1,45E-04	3,006	27,692	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0017	9,1%
90.	1,40E-04	3,083	27,652	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0018	9,5%

91.	1,66E-04	3,125	27,488	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0019	10%
92.	2,58E-04	3,125	27,488	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,002	11%
93.	4,23E-04	3,088	27,523	0,8512	-0,00367	14,2991	43,0800	0,0021	11%
94.	2,55E-04	3,084	27,633	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,002	11%
95.	1,62E-04	3,084	27,704	0,8512	-0,00375	14,2991	43,0800	0,0019	10%
96.	1,66E-04	3,185	27,497	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,0019	10%
97.	1,58E-04	3,205	27,533	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,002	11%
98.	3,89E-04	3,173	27,664	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,0022	12%
99.	4,30E-04	3,203	27,381	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,0022	12%
100.	5,64E-04	3,102	26,827	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,0025	14%
101.	2,64E-04	3,076	26,620	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,0024	13%
102.	3,92E-04	3,134	26,709	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,0024	13%
103.	4,41E-04	3,042	24,996	0,8512	-0,00404	14,2991	43,0800	0,0024	13%
104.	3,97E-04	3,014	24,889	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,0025	13%
105.	3,40E-04	3,042	24,998	0,8512	-0,00389	14,2991	43,0800	0,0025	14%
106.	2,81E-04	2,985	23,210	0,8512	-0,00397	14,2991	43,0800	0,0024	13%
107.	7,43E-04	3,060	23,062	0,8512	-0,00411	14,2991	43,0800	0,0029	15%
108.	6,30E-04	3,110	22,986	0,8512	-0,00470	14,2991	43,0800	0,0027	14%
109.	6,12E-04	3,003	21,488	0,8512	-0,00588	14,2991	43,0801	0,003	16%
110.	3,82E-04	2,979	21,629	0,8512	-0,00639	14,2991	43,0801	0,0027	14%
111.	1,30E-04	2,979	21,489	0,8512	-0,00705	14,2991	43,0801	0,0026	13%
112.	7,65E-04	2,927	20,087	0,8512	-0,00808	14,2991	43,0801	0,0031	16%
113.	2,96E-04	2,949	20,109	0,8512	-0,00823	14,2991	43,0801	0,0028	15%
114.	9,14E-04	2,994	19,866	0,8512	-0,00823	14,2991	43,0801	0,0032	16%
115.	5,33E-04	2,941	18,707	0,8512	-0,00808	14,2991	43,0801	0,0031	16%
116.	3,53E-04	2,920	18,647	0,8512	-0,00764	14,2991	43,0801	0,003	16%
117.	3,63E-04	2,961	18,587	0,8512	-0,00720	14,2991	43,0801	0,0031	16%
118.	2,02E-04	2,873	17,399	0,8512	-0,00624	14,2991	43,0801	0,0032	17%
119.	2,10E-04	2,969	17,171	0,8512	-0,00551	14,2991	43,0801	0,0033	17%
120.	2,12E-04	2,893	17,360	0,8512	-0,00492	14,2991	43,0801	0,0031	17%
[121.	0,0114	2,851	16,225	0,8512	-0,00382	14,2991	43,0800	0,013	42%]*
[122.	0,0113	2,918	16,015	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,013	42%]*
[123.	0,0109	2,938	16,118	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,013	42%]*
124.	0,00106	2,841	14,999	0,8512	-0,00154	14,2991	43,0800	0,004	21%
125.	8,15E-04	2,841	15,033	0,8512	-9,55E-04	14,2991	43,0800	0,004	21%
126.	7,08E-04	2,857	15,066	0,8512	-5,88E-04	14,2991	43,0800	0,004	20%
127.	3,99E-05	5,706	23,104	0,8512	1,47E-04	14,2991	43,0800	0,00044	2,4%
128.	6,19E-05	5,386	23,424	0,8512	4,41E-04	14,2991	43,0800	0,00055	3,0%
129.	0	5,386	23,104	0,8512	5,88E-04	14,2991	43,0800	0,00025	1,4%
130.	4,95E-06	4,403	24,994	0,8512	5,14E-04	14,2991	43,0800	0,00028	1,5%
131.	3,10E-05	4,682	24,119	0,8512	8,08E-04	14,2991	43,0800	0,0004	2,2%
132.	2,43E-05	4,366	24,435	0,8512	9,55E-04	14,2991	43,0800	0,00038	2,1%
133.	1,04E-05	4,577	24,913	0,8512	9,55E-04	14,2991	43,0800	0,00031	1,7%
134.	2,06E-05	4,317	24,376	0,8512	0,00110	14,2991	43,0800	0,00036	2,0%
135.	5,67E-06	4,837	24,116	0,8512	0,00147	14,2991	43,0800	0,0003	1,6%
136.	5,35E-06	4,486	24,415	0,8512	0,00162	14,2991	43,0800	0,0003	1,6%
137.	0	4,229	24,947	0,8512	0,00162	14,2991	43,0800	0,00028	1,5%
138.	5,00E-06	4,229	25,189	0,8512	0,00176	14,2991	43,0800	0,0003	1,6%
139.	6,56E-06	4,670	24,385	0,8512	0,00176	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
140.	6,56E-06	5,360	23,695	0,8512	0,00184	14,2991	43,0800	0,00032	1,8%
141.	1,16E-05	5,150	24,130	0,8512	0,00198	14,2991	43,0800	0,00034	1,9%
142.	5,15E-06	4,602	24,649	0,8512	0,00198	14,2991	43,0800	0,00034	1,8%
143.	0	4,826	23,993	0,8512	0,00191	14,2991	43,0800	0,00031	1,7%
144.	6,68E-06	4,826	24,230	0,8512	0,00198	14,2991	43,0800	0,00035	1,9%
145.	0	4,320	24,766	0,8512	0,00169	14,2991	43,0800	0,00032	1,8%
146.	1,47E-05	4,125	24,961	0,8512	0,00169	14,2991	43,0800	0,00038	2,1%
147.	7,07E-06	4,125	25,169	0,8512	0,00162	14,2991	43,0800	0,00037	2,0%
148.	1,16E-05	4,255	25,136	0,8512	8,08E-04	14,2991	43,0800	0,00039	2,1%
149.	5,05E-06	4,255	25,306	0,8512	2,20E-04	14,2991	43,0800	0,00039	2,1%
150.	7,01E-06	4,448	24,737	0,8512	-2,20E-04	14,2991	43,0800	0,00039	2,1%
151.	5,93E-06	4,197	25,845	0,8512	-0,00103	14,2991	43,0800	0,0004	2,2%
152.	0	4,186	25,147	0,8512	-0,00132	14,2991	43,0800	0,00036	2,0%
153.	0	4,186	25,327	0,8512	-0,00154	14,2991	43,0800	0,00036	2,0%
154.	2,41E-05	4,114	25,855	0,8512	-0,00191	14,2991	43,0800	0,00047	2,6%
155.	1,61E-05	3,947	26,033	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	0,00045	2,5%

*[Angaben der Messung N° 121, 122, 123 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], **θ_{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 **$\Sigma\sigma_{rel}$** 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!

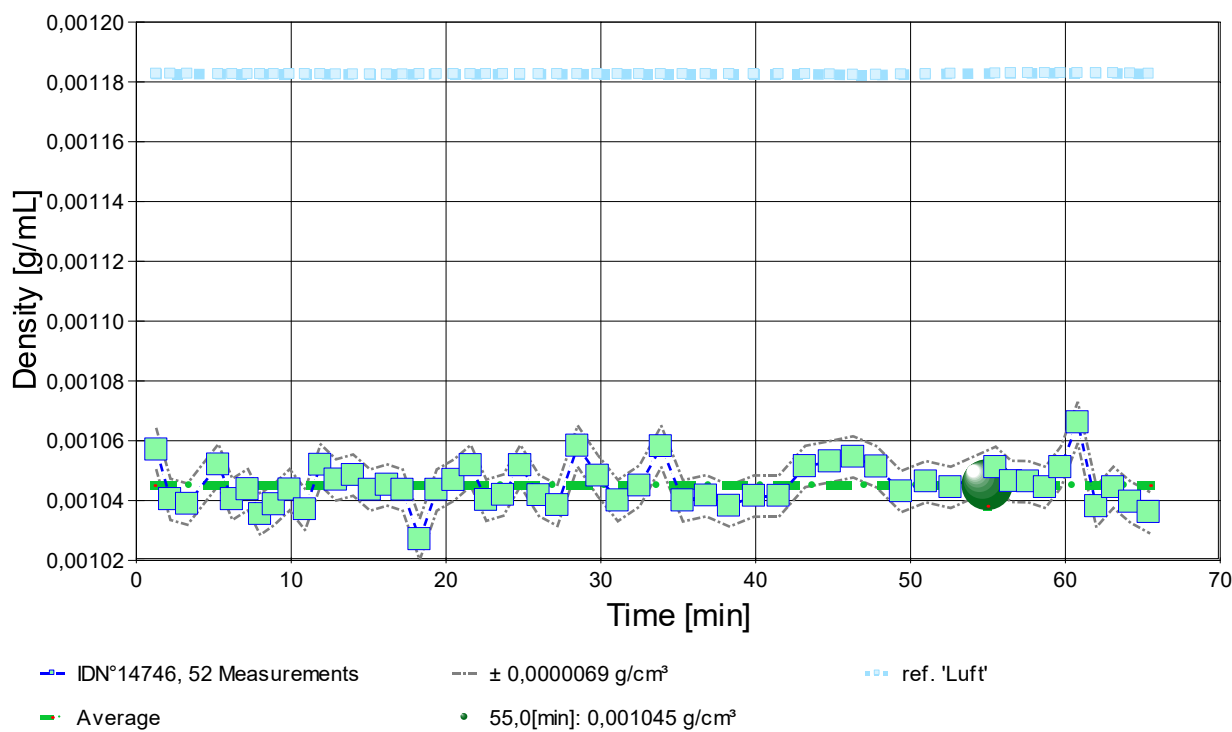
• 4. DICHT E - MESSUNG

52 Messwerte; Zeitbereich 1 bis 65 min, Temperatur $\Delta T = 0,137 \text{ K}$

Ergebnis: $0,001045 \pm 0,0000069 \text{ g/cm}^3$ als Mittelwert

Die Standardabweichung ($\pm 0,0000069 \text{ g/cm}^3$) übersteigt den spezifizierten Fehlerbereich ($\pm 0,0000066 \text{ g/cm}^3$) !

- Diagramm 6. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - ' $\rho_{\text{ho}}(t)$ '



- Im Diagramm 6, " $\rho(t)$ ", 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°14746	t [min]	ϑ [°C]	ρ [g/cm³]	H [mm]	ω [s]	$\Delta\rho_\omega$ [g/cm³]	N Werte & Trend	F _A [mN]	F _{kor.} [mN], TSymb.
1.	1,3	25,038	0,001057	2,448	4,3	1,7E-05	4 ₂₉ →	472,096	0,000 ‡
2.	2,2	25,039	0,001040	2,448	5,3	8,6E-06	5 ₃₁ ↗	472,097	0,000 ‡
3.	3,3	25,040	0,001039	2,448	5,2	2,0E-06	5 ₃₁ ↓	472,097	0,000 ‡
4.	5,3	25,044	0,001052	2,448	3,2	3,0E-05	3 ₃₀ ↗	472,097	0,000 ‡
5.	6,2	25,046	0,001040	2,448	3,5	-1,1E-05	3 ₃₁ ↗	472,097	0,000 ‡
6.	7,2	25,045	0,001044	2,448	4,1	-1,5E-06	4 ₃₀ ↗	472,097	0,000 ‡
7.	8,0	25,045	0,001035	2,448	3,2	-4,8E-06	3 ₃₀ →	472,097	0,000 ‡
8.	8,9	25,047	0,001039	2,448	3,2	1,2E-05	3 ₃₀ ↓	472,097	0,000 ‡
9.	9,9	25,048	0,001044	2,448	3,2	1,3E-05	3 ₃₁ ↓	472,096	-0,001 ‡
10.	10,9	25,051	0,001037	2,448	4,1	1,5E-05	4 ₃₁ ↔	472,096	-0,001 ‡
11.	11,9	25,050	0,001052	2,448	3,2	7,1E-06	3 ₃₁ ↗	472,097	0,001 ‡
12.	12,9	25,060	0,001047	2,448	4,3	1,9E-05	4 ₃₀ ↗	472,097	0,000 ‡
13.	14,0	25,063	0,001049	2,448	4,9	3,5E-06	5 ₃₀ ↗	472,096	0,000 ‡
14.	15,1	25,062	0,001044	2,448	3,2	-1,5E-06	3 ₂₉ ↗	472,097	0,000 ‡
15.	16,2	25,061	0,001045	2,448	3,2	2,4E-05	3 ₃₀ ↗	472,096	-0,001 ‡
16.	17,2	25,060	0,001044	2,448	3,2	-3,1E-06	3 ₂₉ →	472,097	0,000 ‡
17.	18,3	25,059	0,001027	2,448	4,0	-1,1E-06	4 ₃₀ ↗	472,098	0,000 ‡
18.	19,4	25,055	0,001043	2,448	3,2	-1,5E-06	3 ₂₉ ↗	472,097	0,000 ‡
19.	20,5	25,054	0,001047	2,448	4,4	-1,2E-05	4 ₃₀ →	472,096	0,000 ‡
20.	21,6	25,054	0,001052	2,448	4,1	1,7E-05	4 ₃₁ ↗	472,096	0,000 ‡
21.	22,6	25,053	0,001040	2,448	3,2	2,8E-07	3 ₂₉ →	472,097	0,000 ‡
22.	23,7	25,051	0,001042	2,448	4,2	1,9E-07	4 ₂₉ ↗	472,097	0,000 ‡
23.	24,8	25,051	0,001052	2,448	5,2	8,3E-06	5 ₃₀ ↔	472,096	-0,001 ‡
24.	26,0	25,049	0,001042	2,448	3,2	1,4E-05	3 ₃₁ ↗	472,096	0,000 ‡
25.	27,2	25,052	0,001038	2,448	4,1	1,7E-05	4 ₃₀ ↓	472,097	0,000 ‡
26.	28,5	25,050	0,001058	2,448	3,5	2,7E-05	3 ₂₉ ↔	472,096	0,000 ‡
27.	29,8	25,053	0,001048	2,448	3,2	1,9E-05	3 ₃₀ ↓	472,096	0,000 ‡
28.	31,1	25,052	0,001040	2,448	3,2	5,3E-06	3 ₃₁ →	472,097	0,000 ‡
29.	32,5	25,051	0,001045	2,448	4,1	2,0E-05	4 ₃₁ ↗	472,097	0,000 ‡
30.	33,9	25,050	0,001058	2,448	3,2	1,7E-05	3 ₃₁ →	472,096	0,000 ‡
31.	35,3	25,051	0,001040	2,448	3,2	1,6E-05	3 ₃₂ →	472,098	0,001 ‡
32.	36,8	25,051	0,001042	2,448	6,9	1,3E-05	7 ₂₉ ↓	472,096	-0,001 ‡
33.	38,3	25,053	0,001038	2,448	3,2	1,2E-05	3 ₂₉ ←	472,097	0,000 ‡
34.	39,9	25,055	0,001042	2,448	4,3	1,1E-05	4 ₃₂ ↗	472,097	0,001 ‡
35.	41,5	25,055	0,001041	2,448	3,2	1,4E-05	3 ₃₁ ↗	472,096	0,000 ‡
36.	43,2	25,054	0,001051	2,448	3,5	2,4E-05	3 ₃₀ ↔	472,097	0,000 ‡
37.	44,8	25,078	0,001053	2,448	3,2	1,2E-05	3 ₃₀ ↗	472,098	0,002 ‡
38.	46,3	25,111	0,001055	2,448	3,2	3,5E-06	3 ₃₁ ↗	472,096	0,000 ‡
39.	47,8	25,110	0,001051	2,448	3,2	9,9E-06	3 ₃₀ ↔	472,096	-0,001 ‡
40.	49,4	25,086	0,001043	2,448	3,2	3,6E-06	3 ₂₉ ↗	472,097	0,000 ‡
41.	51,0	25,054	0,001046	2,448	3,3	8,5E-06	3 ₃₀ ↗	472,096	0,000 ‡
42.	52,6	25,022	0,001044	2,448	2,2	5,1E-06	3	472,097	0,000 ‡
43.	55,5	24,998	0,001051	2,448	2,2	1,0E-05	3	472,096	0,000 ‡
44.	56,5	24,994	0,001046	2,448	4,3	6,7E-06	5	472,096	-0,001 ‡
45.	57,6	24,989	0,001046	2,448	2,2	2,2E-05	3	472,096	-0,001 ‡
46.	58,7	24,979	0,001044	2,448	2,2	1,0E-05	3	472,097	0,000 ‡
47.	59,7	24,976	0,001051	2,448	4,8	3,7E-05	6	472,096	0,000 ‡
48.	60,8	24,974	0,001066	2,448	4,2	3,7E-05	5	472,096	0,001 ‡
49.	62,0	24,978	0,001038	2,448	3,3	1,7E-06	4	472,096	-0,001 ‡
50.	63,1	24,988	0,001044	2,448	2,3	1,0E-05	3	472,097	0,000 ‡

51.	64,2	25,014	0,001040	2,448	2,2	1,9E-05	3	472,096	-0,001 ‡
52.	65,4	25,027	0,001036	2,448	2,2	1,3E-05	3	472,097	-0,001 ‡

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], $\Delta\rho_\omega$ 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 austauchenden Suspensionslänge [mN].

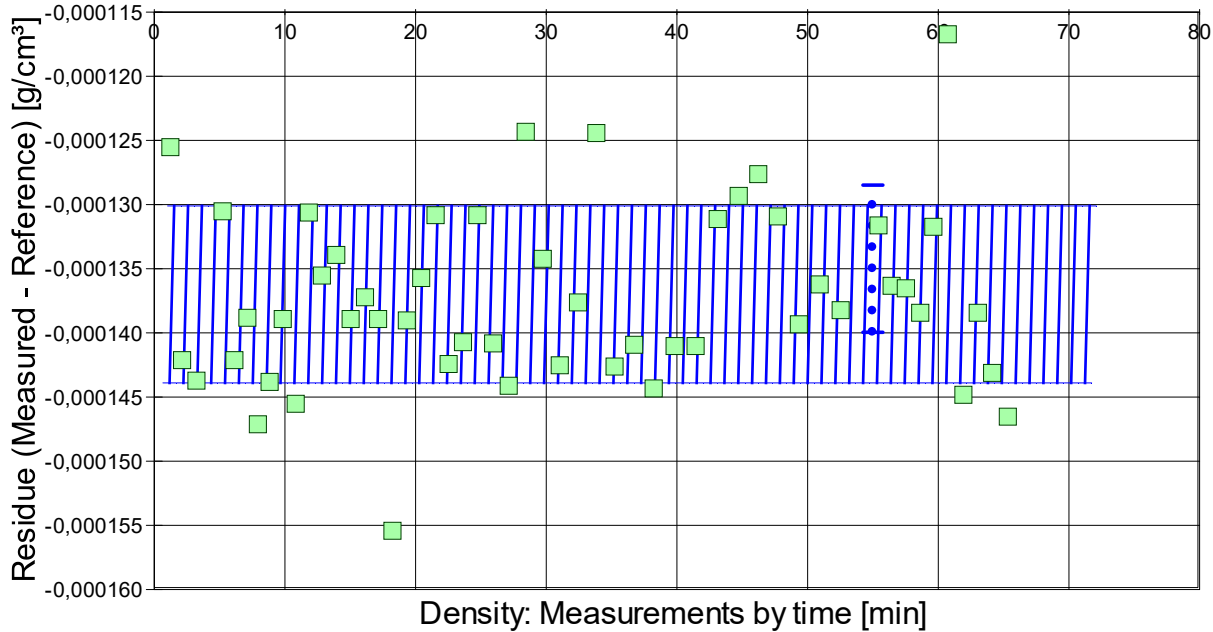
- Die 'Nullhöhe' ist die vertikale Position zu der der Messkörper just auf dem Gefäßboden oder Podest steht ($H=0$ mm). Die zu $F_{korr.}$ nachgestellten Zeichen '°' oder '‡' symbolisieren die jeweils angewandten Mess- und Korrekturverfahren ('°' für Dichtemesswerte nach klassischem Verfahren, '‡' für 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 *Luft* wird in den Diagrammen unten dargestellt. Die Abbildung der Differenzwerte entspricht der zeitlichen Abfolge der Messwerte. .

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

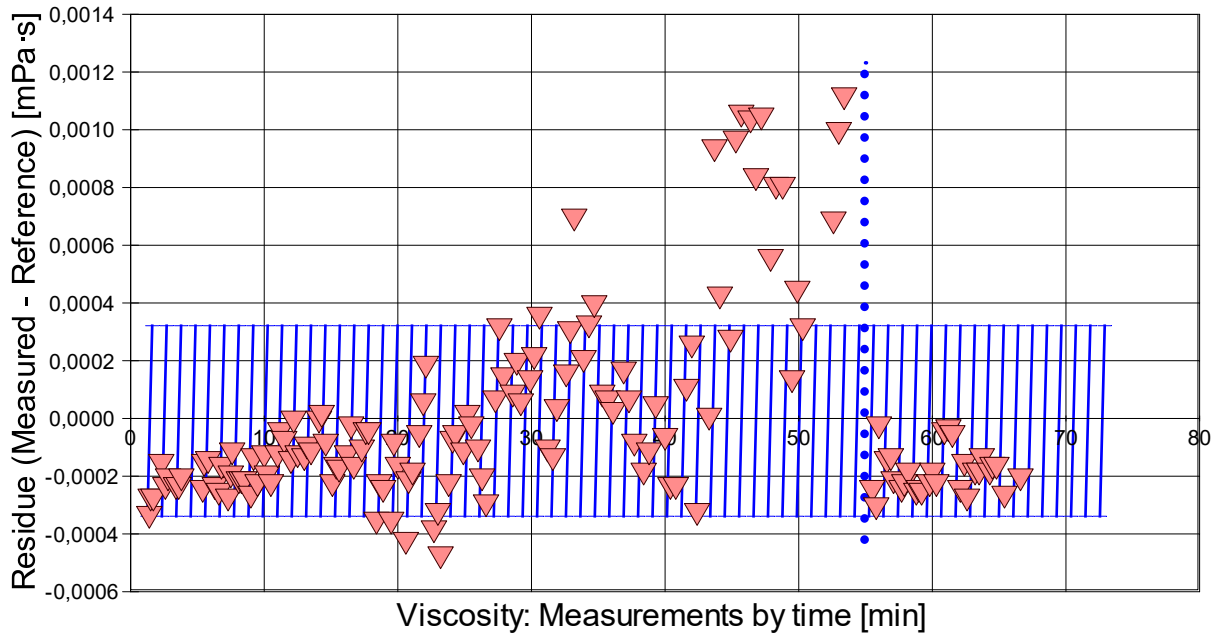
Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'



Reference values for 'Luft' acc. to $f(T[°C])=(-0.0046 \cdot T + 1.2978)/1000$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $-1,37E-04 \pm 6,9E-06$ g/cm³, relative: -13% at a spread of 0,66%

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

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



Reference values for 'Luft' acc. to $f(T[°C])=0.0001 \cdot (182.2 \cdot ((T+273.16)/293)^{(18.13/(T+273.16)+0.656))$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $-8,75E-06 \pm 3,3E-04$ mPa·s, relative: -0,47% at a spread of 1,8%

- Das Chart N°8, "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

• 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⁽⁺⁺⁺⁾.
 f). **Messkörperdaten:** Messzylindermasse 48,1349 ± 0,0003 g, ~volumen 6,054 ± 0,0005 cm³, ~durchmesser 14,2991 ± 0,001 mm, ~länge 43,08 ± 0,001 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 53,2·10⁻⁶K⁻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 ± 0,0005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 20·10⁻⁶K⁻¹.
 j). **Bezugstemperatur:** für Abmessungen und Ausdehnungskoeffizienten 25°C.
 k). **Kinetische Energie:** Faktor Zeta: $\zeta = 1,37$.

Individuelle Werte:

i). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 6,4% bestimmt; die ^{m)} Messunsicherheit der Dichte ± 0,0000069 g/cm³ stammt von der Varianz der Regressionsfunktion.

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

Temperaturangaben beziehen sich auf die Skala der ITS-90. **Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen bzw. Varianzen qualifiziert. Diese Angaben werden berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu jeweils berechneten Funktionswerten dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für ±(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 break by user in command line N°581.

(the digital twin of process IDN°14746 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZA224) wurde am Vortag dieser Messung von *Labor* justiert.

IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001[K], Messunsicherheit ± 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 7.0.53, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m ³]
0,8	50,91	24,254	96,879	1,12831
55,0	50,31	24,58	96,917	1,12748

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:

Für die Qualität des Rheometers ist ein Nachweis über die Linearität des Messsystems von zentraler Bedeutung. Diese Prüfung wurde hier mit Luft erbracht.

Die Luftdichte wird in dieser Messung zwar zu klein bemessen - neben Meereshöhe (Luftdruck/Dichte) spielte vermutlich Feuchtigkeit in der Messzelle eine Rolle (Kondensation am MK), was zu einer 30% zu geringer gemessenen Dichte führt.

Interessante Kraftkurven im Diagramm "Force-Path": ausgeprägter sinuswellenförmiger- Resonanz:

[121. 51,1 25,052 0,031 1,129 0,0199× 0,0012	8,1 36,9 0,3]*
[122. 51,5 25,043 0,032 1,129 0,0200× 0,0012	8,1 36,9 0,3]*
[123. 51,9 25,035 0,032 1,129 0,0201× 0,0012	8,1 36,9 0,3]*

(Diese bemerkenswerten stör-Messwerte in Tabelle 1 wurden ausgeblendet)

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