

ID N° 14776 - DiVA-Method: Rheological Measurement

kritRheology on 1BW at 25° (RANDOM Rates & Stops)

Messung einer gealterten Newtonschen Normalprobe (Mineralölbasis). Was passiert mit den Normaleigenschaften beim Altern? [Repetition N°1]

Sample/Ref.: **1BW-SNr.31** • ideal Newtonian

Results at **25,04°C**

Viscosity: $\eta_{(100,0s^{-1})} = 0,888 \pm 0,035 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 1,136 \pm 0,045 \text{ mm}^2/\text{s}$

39 randomized shear rates $(0,73 \leftrightarrow 810) \cdot \text{s}^{-1}$, resolves $K = 0,8843 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{0,9999}$ and $n = 0,9999$ with $\tau^0 = 0,09303 \text{ mPa}$,

Density: $\rho = 0,78101 \pm 0,000065 \text{ g/cm}^3$

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 $0,734$ bis $810,72$ /s kommt technisch die Bedeutung von Oberflächenverlauf bis etwa kräftigem Pumpen, Rakeln 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-Resultate 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](https://imeter.de/?view=article&id=58)

• 2. ÜBERSICHT

Dichte und Viskosität wurden 39-mal gemessen. Messdauer 40 Minuten; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum in etwa isotherm bei 25,04°C. .

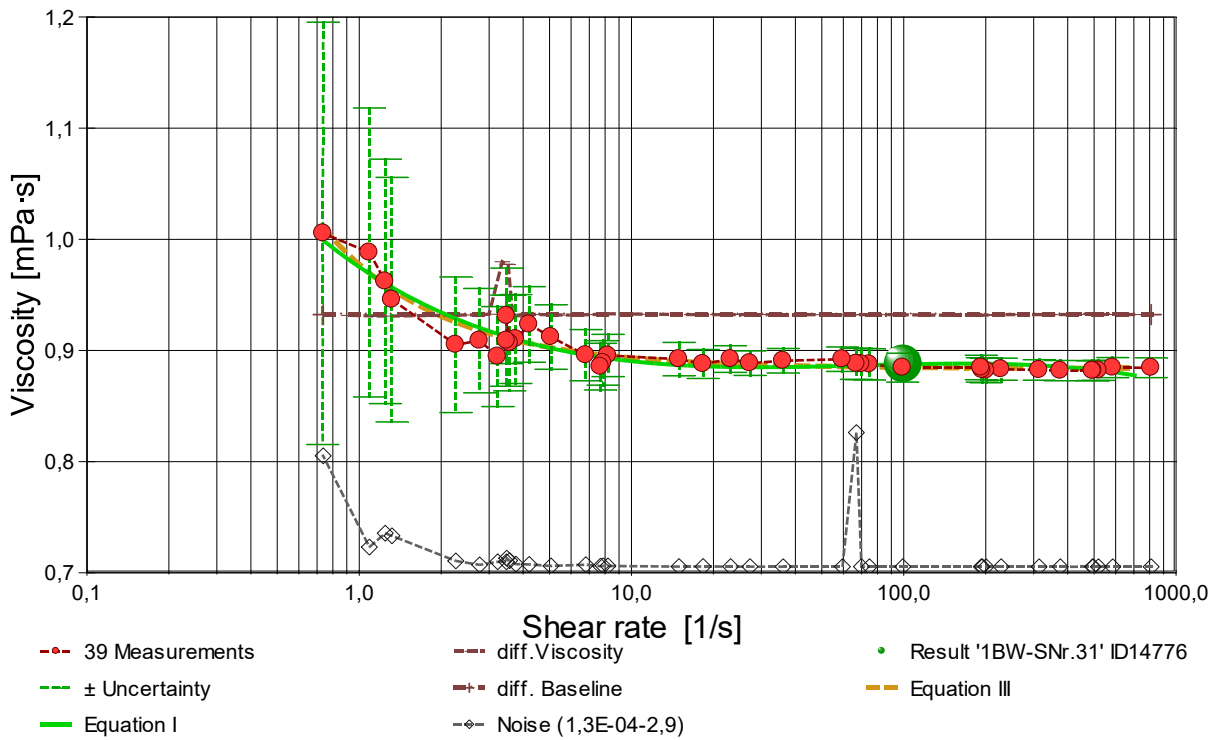
• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

Temperatur **1BW-SNr.31-Probe** in Rheometrie-Messung: $25,038 \pm 0,004$ °C, Zeitbereich: 1,7 bis 39,2 Minuten. Die 39 Viskositätsmesswerte wurden mit ebenso vielen **randomisierten** Scherraten ($\dot{\gamma}$) ermittelt und analysieren den Bereich zwischen $0,734$ bis $810,72 \text{ s}^{-1}$ wobei die Viskosität (η) Werte zwischen $0,882$ bis $1,02 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ erreicht. Die Ergebnisangabe der Messung $0,8876 \pm 0,035 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ für $\dot{\gamma} = 100,0 \text{ s}^{-1}$ wurde aus einer Regressionsgleichung zu den Messwerten kalkuliert:

$$\eta_{25,0^\circ\text{C}} [\text{mPa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma} [1/\text{s}]) = 0,97515 \cdot \dot{\gamma}^{(-0,073712 + 0,01812 \cdot \ln(\dot{\gamma}) - 0,0014225 \cdot \ln(\dot{\gamma})^2)} \quad \text{Gleichung 1, } r^2 = 0,905, \sigma \pm 0,0099\%$$

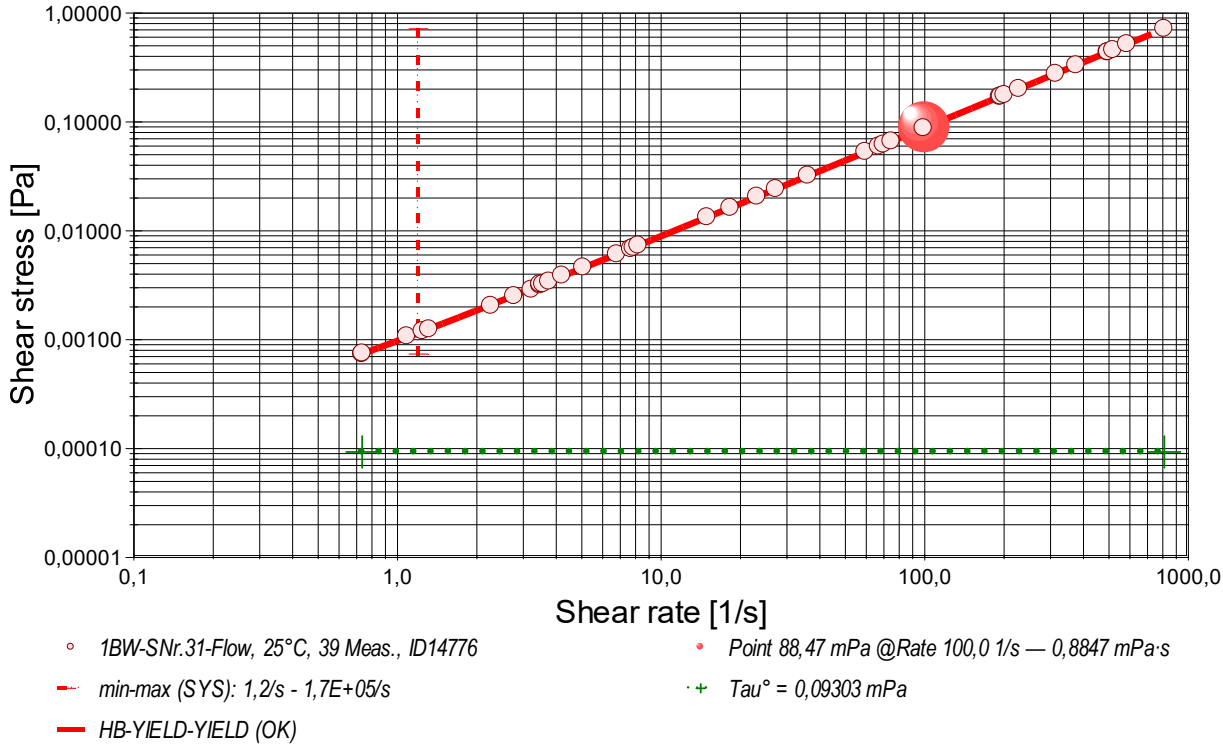
- Die Regressionsgleichung kombiniert die Menge der Messwerte. Zur Qualitätsbeurteilung, wie gut die Messwerte durch die Regressionsgleichung abgebildet werden, wird der Standardfehler als Gauß'sche Unsicherheit d.h. als RMSPE (Root Mean Square Percentage Error) bestimmt, der Wurzel aus dem mittleren 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 ($\pm \Delta\sigma$, Tabelle III). Der numerische Differenzenquotient der 39 Scherraten (diff.Viscosity) ist als relative Kurve mit zugehöriger Basislinie mit $d\eta/d\ln(\dot{\gamma}) = 0$ eingezeichnet. Der Verlauf der Viskositätsänderung bietet mitunter exakt lokalisierbare rheologische Qualitäten: ein Kurvenverlauf über der Nullbezugslinie ('diff.Baseline') bedeutet Dilatanz, unter Null liegt Strukturviskosität vor, eine Differenziallage, auf oder dicht an der Null-Linie, drückt newtonische Proportionalität aus. Mit raute-förmigen Marken wird 'Noise' (als strukturell-dissipatives Merkmal der Schergradienten Fluktuation) angezeigt. Die zwei Regressionsgraphen nach Gleichung I und Gleichung III zeigen im Diagramm die mathematischen Näherungen an die Messwerte.

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



- Die dynamische Viskosität ist definiert als das Verhältnis von Schubspannung zu Schergeschwindigkeit ($\eta = \tau / \dot{\gamma}$) und ist für newtonsche Fluide zu allen Verhältnisse von 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 1BW bei 25°C beschreibt die Gleichung II insgesamt exzellent:

$$\tau \text{ [Pa]} = 0,00009303 + 8,843 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{\gamma}^{0,9999} \quad \text{Gleichung II, } r^2 = 0,9999958, \sigma \pm 0,86\%$$

Fließgrenze ($\tau^0 = 0,09303 \text{ mPa}$), Konsistenz ($K = 0,8843 \text{ mPa}$) und Fließindex ($n = 0,9999$) charakterisieren das Fließverhalten der 1BW-SNr.31-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 Scherung:

$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = 0,09303 \cdot \dot{\gamma}^{-1} + 0,8843 \cdot \dot{\gamma}^{-1,00004} \quad \text{Gleichung III, } r^2 = 0,945, \text{VK} = 3,8\%, \sigma \pm 0,86\%$$

Der Flow-Index n klassifiziert die 1BW-SNr.31-Probe: • **Newtonsche Idealdynamik**.

• Intermediäres Verhalten: Yield-Stress und Konsistenzfaktor stehen in einem kompetitiven Gleichgewicht (Bingham-Charakteristik).

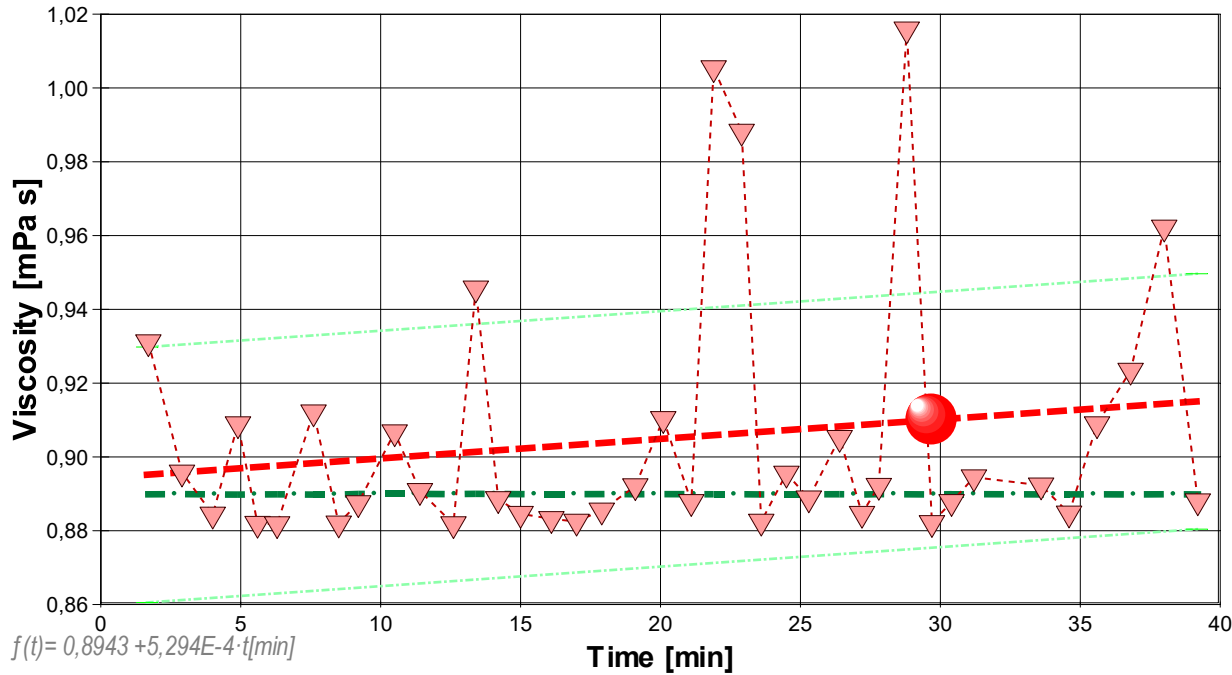
- Der Yield Stress ist konsistent mit der strukturellen Viskosität der Probe.
- Der Verlauf des $\tau/\dot{\gamma}$ -Differenzials im Viskositätsdiagramm ermöglicht die Beurteilung spezifischer Flußmodifikatoren anhand des Verlaufs der *differenziellen Viskosität* ($\dot{\gamma}$).

- Die Begriffe 'Yield Stress', 'Fließgrenzspannung', 'Fließgrenze' sind synonym, um eine *Rigidität* am quasi ruhenden Fluid zu quantifizieren. Der ausgewiesene Wert von $\tau^0 = 0,09303$ mPa befindet sich unterhalb gewöhnlicher Anzeigemöglichkeit; es fehlen Vergleichsdaten.

¹M5 DiVA - *DifferentialViscosity-Axio-rheometry*. M5 DiVA means real-flow-Rheometry.

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

- Diagramm 4. Der zeitliche Verlauf der Viskositätswerte - 'eta-f(t)'



- - - IDN*14776, 39 Measurements, randomized shear rates $\pm 3,9\%$ - - - ref. '1BW-SNr.31'
 - - - 1BW-SNr.31, lin. equation f(t) - - - 29,7[min]: 0,8876 mPa s

- 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 ^o IDN*14776	t [min]	θ [°C]	η [mPa·s]	v _z [mm/s]	F _z [mN]	τ [Pa]	v _{max} [mm/s]	γ̇ [s ⁻¹]	Re [Zahl]
1.	1,7	25,039	0,931	0,1049	0,0560	0,00324	0,754	3,480	0,74
2.	2,9	25,035	0,896	0,2048	0,1052	0,00609	1,47	6,798	1,5
3.	4,0	25,041	0,8844	24,43	12,3881	0,7170	175,6	810,72	182
4.	4,9	25,045	0,909	0,08346	0,0435	0,00252	0,600	2,770	0,61
5.	5,6	25,041	0,8819	14,95	7,5619	0,4377	107,5	496,29	112
6.	6,3	25,039	0,8818	14,88	7,5218	0,4354	106,9	493,75	111
7.	7,6	25,044	0,912	0,1526	0,0798	0,00462	1,10	5,064	1,1
8.	8,5	25,044	0,882	6,045	3,0574	0,177	43,4	200,6	45
9.	9,2	25,031	0,888	2,254	1,1469	0,0664	16,2	74,80	17
10.	10,5	25,031	0,907	0,1075	0,0559	0,00323	0,773	3,568	0,78
11.	11,4	25,031	0,891	1,087	0,5550	0,0321	7,81	36,07	8,1
12.	12,6	25,035	0,8818	11,33	5,7270	0,3315	81,40	375,90	84,8
13.	13,4	25,029	0,946	0,03973	0,0215	0,00125	0,286	1,319	0,28
14.	14,2	25,032	0,889	0,8212	0,4184	0,0242	5,90	27,26	6,1
15.	15,0	25,035	0,885	2,986	1,5148	0,0877	21,5	99,12	22
16.	16,1	25,036	0,8832	6,868	3,4782	0,2013	49,36	227,95	51,3
17.	17,0	25,036	0,8825	9,466	4,7900	0,2772	68,03	314,18	70,8
18.	17,9	25,034	0,885	0,2318	0,1177	0,00681	1,67	7,695	1,7
19.	19,1	25,036	0,892	1,794	0,9180	0,0531	12,9	59,56	13
20.	20,1	25,035	0,910	0,1133	0,0591	0,00342	0,814	3,760	0,82
21.	21,1	25,036	0,888	0,5519	0,2810	0,0163	3,97	18,32	4,1
22.	21,9	25,038	1,0	0,02213	0,0128×	7,4E-04	0,16	0,734	0,1
23.	22,9	25,038	0,99	0,03276	0,0186×	0,0011	0,24	1,09	0,2
24.	23,6	25,041	0,883	5,854	2,9624	0,171	42,1	194,3	44
25.	24,5	25,039	0,895	0,2470	0,1268	0,00734	1,78	8,199	1,8
26.	25,3	25,039	0,889	0,2371	0,1208	0,00699	1,70	7,870	1,8
27.	26,4	25,037	0,905	0,06821	0,0354	0,00205	0,490	2,264	0,50
28.	27,2	25,043	0,8846	17,65	8,9510	0,5181	126,8	585,69	132
29.	27,8	25,035	0,892	0,4505	0,2305	0,0133	3,24	14,95	3,3
30.	28,8	25,038	1,0	0,02220	0,0129×	7,5E-04	0,16	0,737	0,1
31.	29,7	25,041	0,8821	15,63	7,9075	0,4577	112,4	518,89	117
32.	30,4	25,036	0,888	2,106	1,0723	0,0621	15,1	69,91	16
33.	31,2	25,036	0,895	0,09721	0,0499	0,00289	0,699	3,226	0,72

34.	33,6	25,040	0,892	0,6968	0,3565	0,0206	5,01	23,13	5,2
35.	34,6	25,040	0,885	5,804	2,9445	0,170	41,7	192,6	43
36.	35,6	25,039	0,909	0,1047	0,0546	0,00316	0,753	3,476	0,76
37.	36,8	25,041	0,923	0,1269	0,0672	0,00389	0,912	4,211	0,91
38.	38,0	25,038	0,962	0,03754	0,0207	0,00120	0,270	1,246	0,26
39.	39,2	25,041	0,888	2,018	1,0278	0,0595	14,5	66,99	15

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, 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 $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_\zeta - F_{h\eta} - F_\theta$. 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; $v_m = v_z \cdot r_a^2 / (r_a^2 - r_i^2)$), mit r_a Röhrenradius und r_i Zylinderradius) wird für die Berechnung der Reynoldszahl benötigt. $Re = \rho \cdot v_m \cdot d / \eta$, mit der charakteristischen Länge d , die (wie bei Rohrströmungen) für den Ringspalt aus dem hydrodynamischen Radius mit $d = 2 \cdot (r_a - r_i)$ berechnet wird. Die Scherrate, Schergeschwindigkeit oder Deformation $\dot{\gamma}$, die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

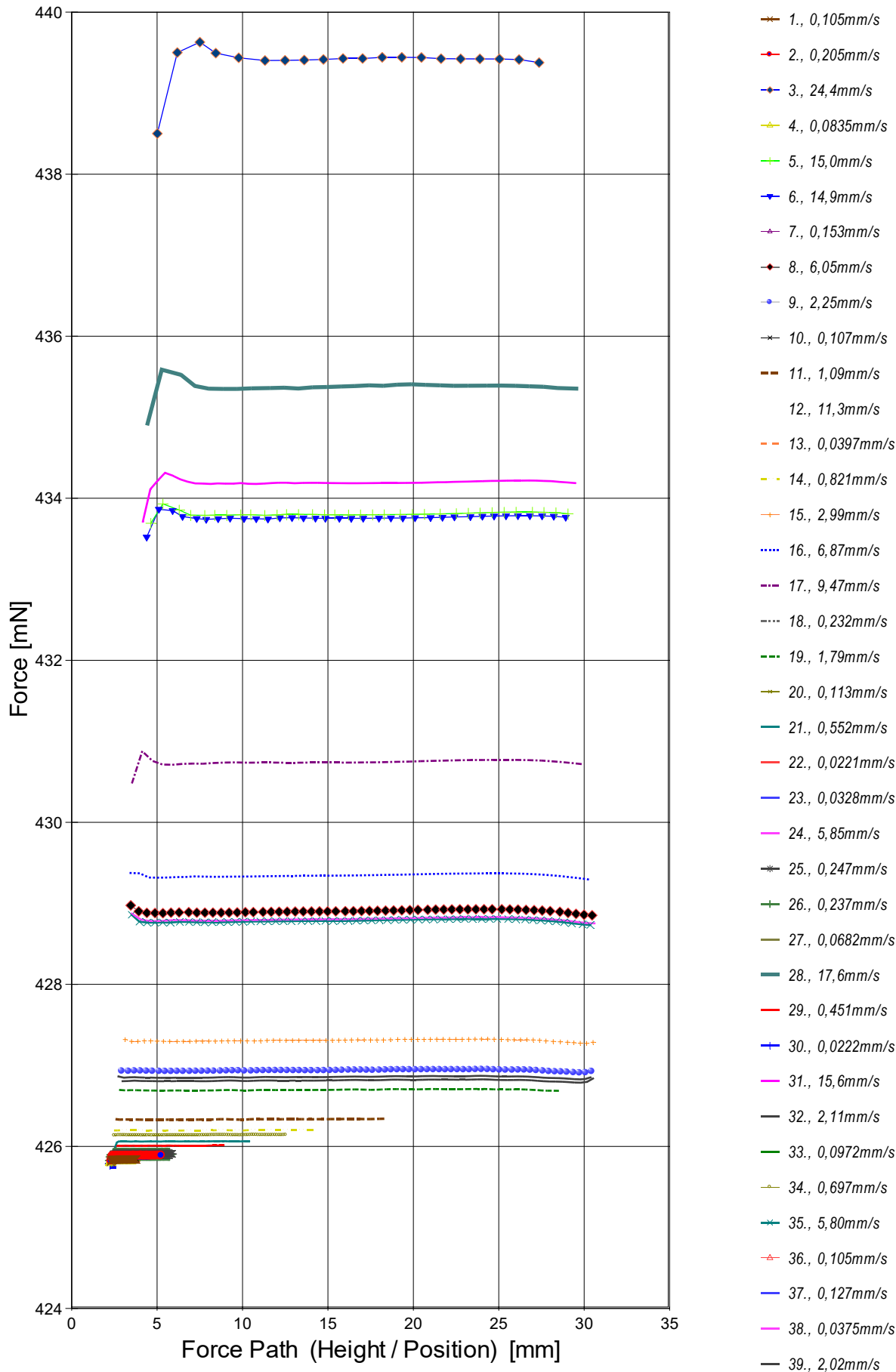
Tabelle 2, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.

N°	F_w	σ_{Fw}	$\sigma_{Fw\ rel}$ -- Alle Werteinträge in [mN] --	F_p	F_{hp}	F_ζ	$F_{h\eta}$	N/n Datenauswahl
1.	425,8366	5,43E-04	1,3 ppm	425,7797	8,71E-04	2,33E-05	9,62E-07	36/75
2.	425,8853	5,84E-04	1,4 ppm	425,7793	0,00104	8,88E-05	2,16E-06	40/83
3.	439,4293	0,01081	25 ppm	425,7793	0,003762	1,26	9,20E-04	8/20
4.	425,8244	2,22E-04	0,52 ppm	425,7799	8,34E-04	1,47E-05	7,16E-07	40/83
5.	433,8143	0,01233	28 ppm	425,7806	0,003884	0,473	5,80E-04	15/34
6.	433,7696	0,01196	28 ppm	425,7809	0,003832	0,468	5,69E-04	16/35
7.	425,8600	4,41E-04	1,0 ppm	425,7793	9,52E-04	4,93E-05	1,50E-06	40/83
8.	428,9125	0,0175	41 ppm	425,7797	0,00400	0,0774	2,41E-04	27/57
9.	426,9368	0,0122	29 ppm	425,7812	0,00399	0,0108	9,04E-05	37/78
10.	425,8371	6,23E-04	1,5 ppm	425,7803	8,76E-04	2,45E-05	9,66E-07	40/83
11.	426,3365	0,00153	3,6 ppm	425,7797	0,00255	0,00250	2,79E-05	40/83
12.	431,7762	0,01253	29 ppm	425,7795	0,003964	0,272	4,48E-04	23/49
13.	425,8026	6,31E-04	1,5 ppm	425,7800	7,60E-04	3,34E-06	3,23E-07	39/82
14.	426,1998	0,00136	3,2 ppm	425,7803	0,00209	0,00143	1,73E-05	40/83
15.	427,3125	0,0149	35 ppm	425,7810	0,00399	0,0189	1,19E-04	35/73
16.	429,3563	0,01523	35 ppm	425,7803	0,003991	0,0998	2,74E-04	23/50
17.	430,7575	0,01177	27 ppm	425,7797	0,003976	0,190	3,76E-04	19/42
18.	425,9004	5,09E-04	1,2 ppm	425,7818	0,00109	1,14E-04	2,52E-06	40/83
19.	426,7030	0,00523	12 ppm	425,7801	0,00374	0,00682	6,77E-05	40/83
20.	425,8400	5,35E-04	1,3 ppm	425,7799	8,87E-04	2,72E-05	1,03E-06	36/76
21.	426,0625	0,00106	2,5 ppm	425,7807	0,00164	6,45E-04	9,09E-06	40/83
22.	425,7937	4,7E-04	1,1 ppm	425,7799	7,3E-04	1,04E-06	1,84E-07	40/83
23.	425,7995	5,0E-04	1,2 ppm	425,7799	7,5E-04	2,27E-06	2,74E-07	37/77
24.	428,8130	0,0186	43 ppm	425,7800	0,00401	0,0725	2,35E-04	28/59
25.	425,9076	4,12E-04	0,97 ppm	425,7800	0,00112	1,29E-04	2,79E-06	40/83
26.	425,9029	5,31E-04	1,2 ppm	425,7812	0,00110	1,19E-04	2,62E-06	40/83
27.	425,8167	3,87E-04	0,91 ppm	425,7803	8,09E-04	9,85E-06	5,65E-07	40/83
28.	435,3887	0,01169	27 ppm	425,7800	0,003940	0,659	6,96E-04	13/30
29.	426,0103	0,00107	2,5 ppm	425,7790	0,00147	4,30E-04	6,67E-06	40/83
30.	425,7941	5,4E-04	1,3 ppm	425,7801	7,3E-04	1,04E-06	1,86E-07	45/93
31.	434,2027	0,01157	27 ppm	425,7793	0,003905	0,517	6,09E-04	27/57
32.	426,8589	0,0116	27 ppm	425,7793	0,00396	0,00939	8,38E-05	44/91
33.	425,8321	5,09E-04	1,2 ppm	425,7812	8,58E-04	2,00E-05	8,44E-07	44/92
34.	426,1381	0,00132	3,1 ppm	425,7806	0,00189	0,00103	1,33E-05	40/83
35.	428,7940	0,0170	40 ppm	425,7802	0,00400	0,0713	2,32E-04	27/58
36.	425,8365	4,66E-04	1,1 ppm	425,7810	8,71E-04	2,32E-05	9,38E-07	39/82
37.	425,8470	3,99E-04	0,94 ppm	425,7789	9,10E-04	3,41E-05	1,21E-06	40/83
38.	425,8011	4,28E-04	1,0 ppm	425,7793	7,57E-04	2,98E-06	3,09E-07	40/83
39.	426,8162	0,0112	26 ppm	425,7819	0,00398	0,00862	8,06E-05	38/79

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_ζ 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_ζ die kinetischen Energie-Korrektur angegeben, die analog zu (Glas-) Kapillarrisometern mit dem Faktor ζ der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht: $F_\zeta = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r_i^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

→ 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 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' [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.	0,187	2,288	1,491	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,043	4,6%
2.	0,0463	2,323	2,922	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,023	2,6%

3.	1,27E-04	5,013	22,350	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,0089	1,0%
4.	0,0419	2,278	1,191	0,8512	-0,00331	14,2991	43,0800	0,047	5,2%
5.	2,44E-04	4,635	24,418	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
6.	2,29E-04	4,391	24,531	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
7.	0,0184	2,302	2,174	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,029	3,2%
8.	0,00115	3,456	27,010	0,8512	-0,00323	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
9.	0,00217	2,950	27,503	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	0,014	1,6%
10.	0,134	2,285	1,539	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	0,043	4,7%
11.	0,00171	2,638	15,588	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
12.	5,37E-04	3,847	26,207	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,0091	1,0%
13.	0,674	2,263	0,569	0,8512	-0,00213	14,2991	43,0800	0,11	12%
14.	0,00326	2,535	11,741	0,8512	-0,00235	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
15.	0,00185	3,128	27,390	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,013	1,5%
16.	9,60E-04	3,447	26,826	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,0099	1,1%
17.	6,35E-04	3,543	26,325	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,0092	1,0%
18.	0,0136	2,323	3,322	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	0,021	2,4%
19.	0,00251	2,835	25,627	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
20.	0,0583	2,294	1,618	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,04	4,4%
21.	0,00661	2,446	7,925	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,013	1,5%
22.	2,42	2,256	0,316	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,19	19%
23.	0,430	2,261	0,467	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,13	13%
24.	0,00123	3,519	27,075	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
25.	0,0183	2,338	3,543	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,019	2,1%
26.	0,0202	2,328	3,401	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,02	2,3%
27.	0,127	2,274	0,981	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,061	6,7%
28.	3,84E-04	4,444	25,093	0,8512	-0,00316	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
29.	0,00426	2,402	6,469	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,015	1,7%
30.	2,71	2,254	0,320	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,2	20%
31.	3,03E-04	4,167	25,295	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,009	1,0%
32.	0,00285	2,740	27,618	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,014	1,6%
33.	0,110	2,273	1,399	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,045	5,0%
34.	0,00508	2,500	10,028	0,8512	-0,00294	14,2991	43,0800	0,012	1,3%
35.	0,00116	3,511	26,845	0,8512	-0,00294	14,2991	43,0800	0,011	1,2%
36.	0,108	2,283	1,496	0,8512	-0,00286	14,2991	43,0800	0,041	4,5%
37.	0,0516	2,294	1,826	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,034	3,7%
38.	0,730	2,262	0,540	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	0,11	11%
39.	0,00292	2,980	27,532	0,8512	-0,00301	14,2991	43,0800	0,014	1,6%

Tabellensymbole: *Noise* Mittelwert von Auslenkungen und höherfrequenten Lastschwankungen 'Schergradienten Fluktuation' im Kurvenzug der Messkraft bestimmt. Der Wert ist über die Geschwindigkeit und Messkörper-mantelfläche normiert [$\mu\text{Pa}/\text{mm}$], H_{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 [mPa·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

39 Messwerte; Zeitbereich 2 bis 39 min, Temperatur $\Delta T = 0,016 \text{ K}$ ($\vartheta = 25,036 \pm 0,004^\circ\text{C}$)

Resultat bei 30 min: $\rho_{25,04^\circ\text{C}} = 0,78101 \pm 0,000065 \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 83 \text{ ppm}$ (298,19 K, 97,45 kPa)

Streuung: $\pm 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. 17 ppm relative Standardabweichung

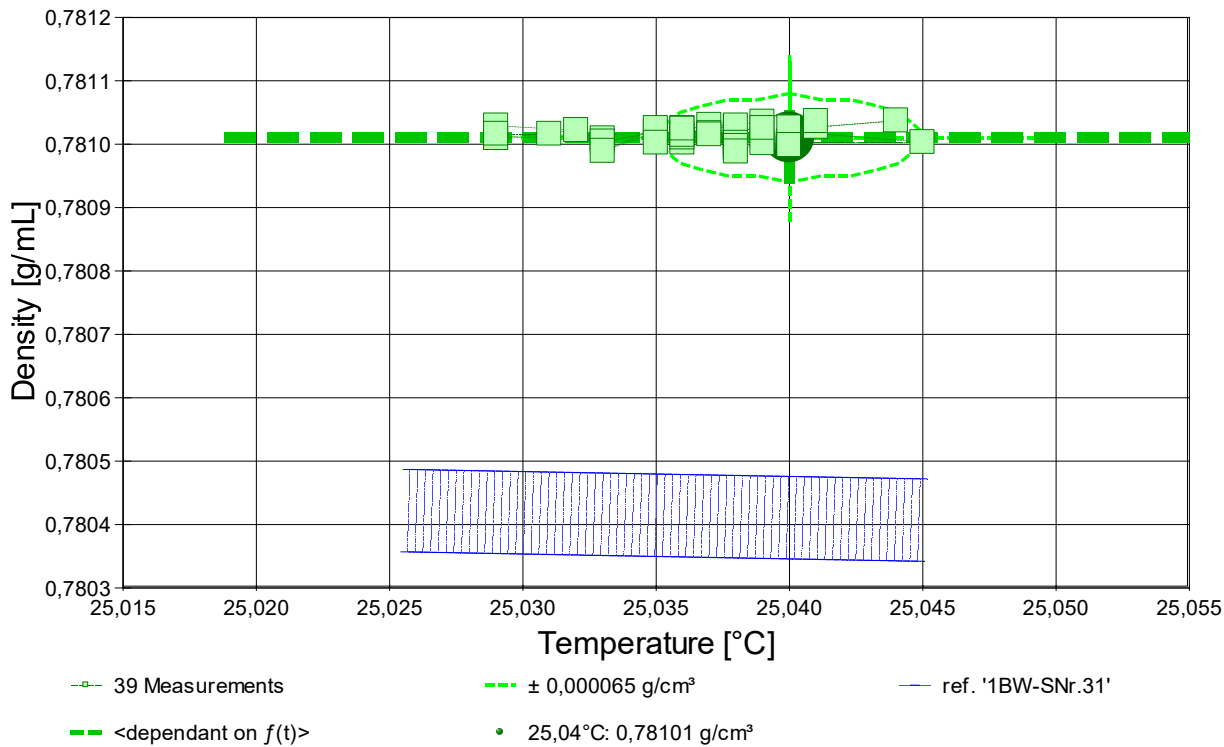
Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Zeitzusammenhang durch Regression zwischen Minute 2 und 39:

$$\rho(t[\text{min}]) = 0,781019 - 2,377\text{E-}7 \cdot t \quad \text{mit } r^2 = 0,04, s^2 = 1,62\text{E-}10$$

- 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 ' $r^2=0,04$ ' 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.'



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

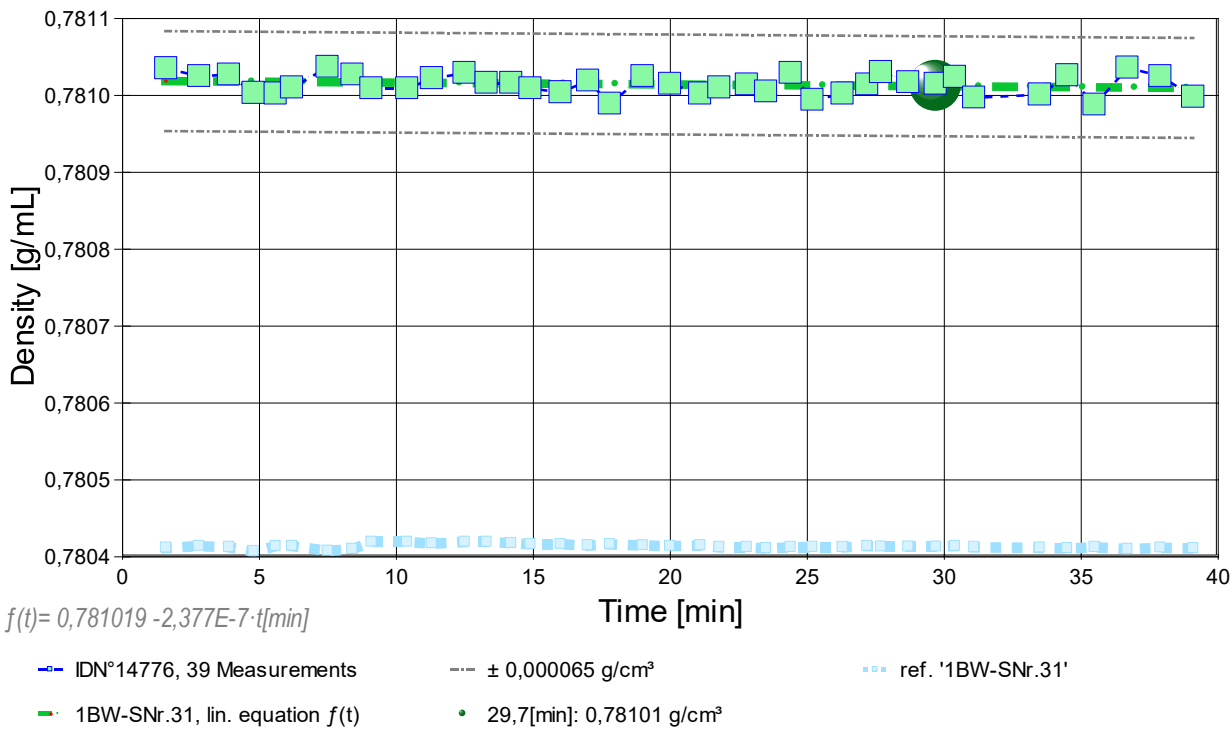


Tabelle 4: Daten der Dichtemessung

N° IDN°14776	t [min]	θ [°C]	ρ [g/cm³]	H [mm]	ω [s]	Δρ _ω [g/cm³]	N Werte & Trend	F _A [mN]	F _{kor.} [mN], TSymb.
1.	1,6	25,039	0,78104	2,248	3,3	-2,3E-05	3 ₃₀ ⇔	425,780	0,002 ‡
2.	2,8	25,036	0,78103	2,248	4,4	-5,0E-05	4 ₂₉ ↑	425,779	0,001 ‡
3.	3,9	25,038	0,78103	2,248	4,1	-3,3E-05	4 ₃₁ ↓	425,779	0,001 ‡
4.	4,8	25,045	0,78100	2,248	4,2	-4,0E-05	4 ₃₁ ↘	425,780	0,000 ‡
5.	5,6	25,036	0,78100	2,248	4,1	-1,0E-06	4 ₃₁ ⇔	425,781	0,001 ‡
6.	6,2	25,036	0,78101	2,248	4,1	-4,0E-05	4 ₃₂ ⇔	425,781	0,002 ‡
7.	7,5	25,044	0,78104	2,248	4,4	-1,7E-05	4 ₂₉ ↓	425,779	0,002 ‡
8.	8,4	25,041	0,78103	2,248	3,5	-2,7E-05	3 ₃₁ ⇔	425,780	0,002 ‡
9.	9,1	25,029	0,78101	2,248	3,3	-2,3E-05	3 ₃₀ ↑	425,781	0,002 ‡
10.	10,4	25,029	0,78101	2,248	5,3	-3,5E-05	5 ₃₁ ↑	425,780	0,001 ‡
11.	11,3	25,032	0,78102	2,248	4,3	-5,9E-05	4 ₂₉ ⇔	425,780	0,001 ‡
12.	12,5	25,029	0,78103	2,248	4,1	-3,8E-05	4 ₃₁ ←	425,779	0,002 ‡
13.	13,3	25,029	0,78102	2,248	3,3	-1,5E-05	3 ₂₉ ↗	425,780	0,001 ‡
14.	14,2	25,031	0,78102	2,248	4,1	-2,0E-05	4 ₃₀ ↑	425,780	0,002 ‡

15.	14,9	25,033	0,78101	2,248	3,3	-3,1E-05	3 ₃₀ ⇌	425,781	0,002 ‡
16.	16,0	25,033	0,78100	2,248	4,3	-6,8E-05	4 ₃₀ ↑	425,780	0,001 ‡
17.	17,0	25,035	0,78102	2,248	4,1	-4,2E-05	4 ₂₉ ⇌	425,780	0,001 ‡
18.	17,8	25,033	0,78099	2,248	6,0	-6,1E-05	6 ₃₀ →	425,782	0,002 ‡
19.	19,0	25,035	0,78103	2,248	4,0	-4,8E-05	4 ₂₉ ←	425,780	0,002 ‡
20.	20,0	25,036	0,78102	2,248	4,2	-3,7E-05	4 ₃₀ ↗	425,780	0,001 ‡
21.	21,1	25,035	0,78100	2,248	3,5	-1,6E-05	3 ₃₁ ⇌	425,781	0,001 ‡
22.	21,8	25,038	0,78101	2,248	5,3	-4,8E-05	5 ₃₀ ↗	425,780	0,001 ‡
23.	22,8	25,038	0,78101	2,248	3,3	-3,2E-05	3 ₂₉ ⇌	425,780	0,001 ‡
24.	23,5	25,040	0,78101	2,248	4,3	-6,5E-05	4 ₃₁ ↘	425,780	0,001 ‡
25.	24,4	25,038	0,78103	2,248	4,2	-3,3E-05	4 ₃₀ ⇌	425,780	0,002 ‡
26.	25,2	25,038	0,78099	2,248	5,0	-3,8E-05	5 ₃₁ ↑	425,781	0,001 ‡
27.	26,3	25,038	0,78100	2,248	5,1	-3,8E-05	5 ₂₉ ↑	425,780	0,001 ‡
28.	27,2	25,036	0,78101	2,248	4,0	-2,6E-05	4 ₃₀ ↘	425,780	0,001 ‡
29.	27,7	25,037	0,78103	2,248	3,2	-4,4E-05	3 ₃₀ ↘	425,779	0,001 ‡
30.	28,7	25,037	0,78102	2,248	5,4	-9,4E-05	6 ₅₁ ⇌	425,780	0,001 ‡
31.	29,7	25,037	0,78102	2,248	3,9	-9,8E-06	4 ₅₀ ⇌	425,779	0,001 ‡
32.	30,4	25,036	0,78102	2,248	3,1	7,0E-06	3 ₅₁ ↑	425,779	0,001 ‡
33.	31,1	25,038	0,78100	2,248	4,7	-2,8E-05	5 ₅₁ ↑	425,781	0,001 ‡
34.	33,5	25,039	0,78100	2,248	3,2	-4,5E-05	3 ₃₀ ↑	425,781	0,001 ‡
35.	34,5	25,040	0,78103	2,248	3,3	-3,9E-05	4	425,780	0,002 ‡
36.	35,5	25,038	0,78099	2,248	4,2	-2,4E-05	5	425,781	0,001 ‡
37.	36,7	25,041	0,78104	2,248	2,2	-3,9E-05	3	425,779	0,001 ‡
38.	37,9	25,039	0,78102	2,248	2,3	-2,9E-05	3	425,779	0,001 ‡
39.	39,1	25,040	0,78100	2,248	3,0	-6,7E-06	4	425,782	0,002 ‡

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 austauchenden Suspensionslänge [mN].

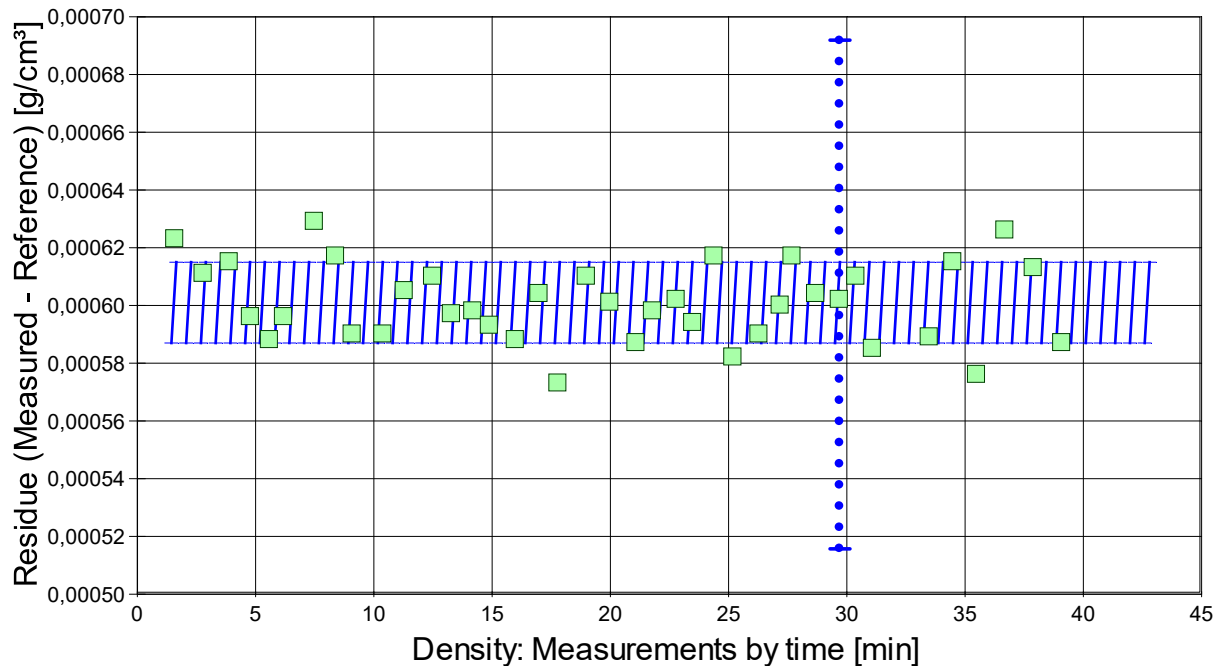
- Die 'Nullhöhe' ist die vertikale Position zu der der Messkörper just auf dem Gefäßboden oder Podest steht (*H*=0mm). Die zu *F_{korr.}* nachgestellten Zeichen "† oder ‡" symbolisieren die jeweils angewandten Mess- und Korrekturverfahren ("†" für Dichtemesswerte nach klassischem Verfahren, "‡" für absolute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

• 5. REFERENZVERGLEICH

Beurteilung von Viskositäts- und Dichtemessungen anhand der Residuen: Die Differenzen zwischen Messwerten und zur jeweiligen Temperatur berechneten Sollwerten des Referenzeintrags *1BW-SNr.31* 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 7.*

Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'

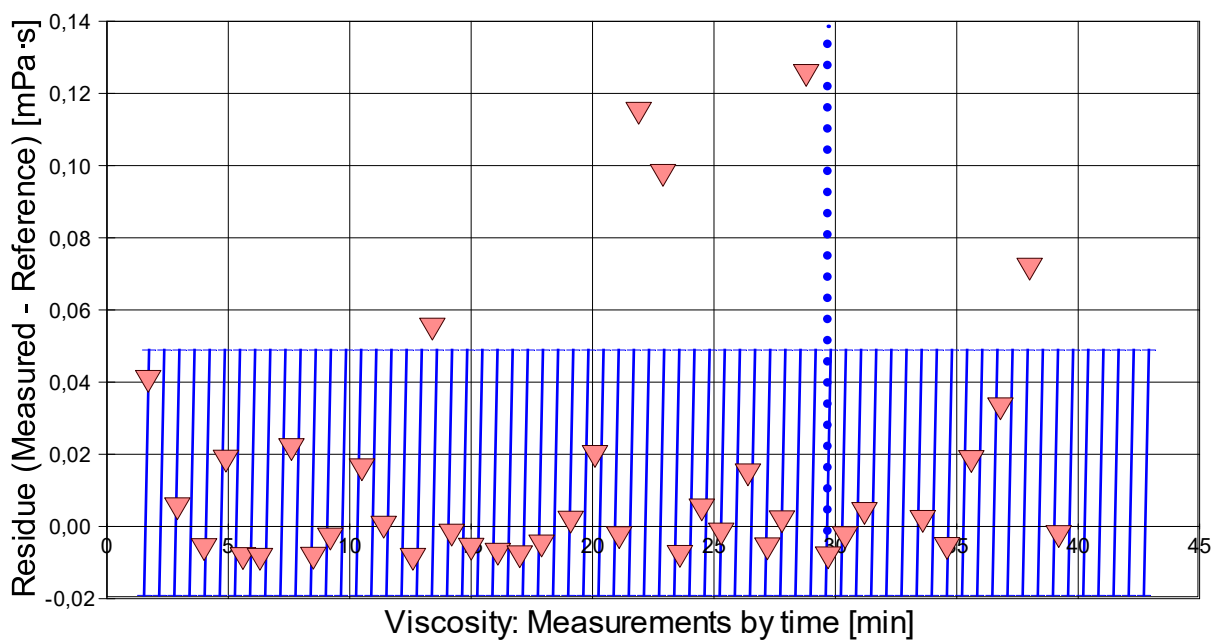


Reference values for '1BW-SNr.31' acc. to $f(T[°C]) = -2.79002E-07 \cdot T^2 - 7.57759E-04 \cdot T + 0.799560$

Mean and Standarddev. of Residuals: $6,01E-04 \pm 1,4E-05$ g/cm³, relative: +0,77‰ at a spread of 18 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 '1BW-SNr.31' acc. to $f(T[^\circ\text{C}])=\exp(1.62669\text{E}+05/(T+273.15)^2 + 2.16554\text{E}+02/(T+273.15) - 2.67237)$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $0,0149 \pm 0,034$ mPa·s, relative: +1,7% at a spread of 3,8%

- 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.

• 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 $53,2 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$. 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: $F_\theta = 0,0018$ mN. m). Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: $76,6$ mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: $33,6$ mm.

n). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 3,9% bestimmt; die o). Messunsicherheit der Dichte $\pm 0,000065$ g/cm³ stammt von oben genannten Unsicherheitsangaben zu Messkörpervolumen und -masse sowie von den gegebenen Spezifikationen zur Kraft- und Temperaturmessung.

- **Die Messunsicherheit** des einzelnen Viskositätsmesswertes wird aus den folgenden Unsicherheitsquellen bestimmt: 1.: der geometrischen Toleranzangaben zu Messkörperdurchmesser, 2.: zur Länge und 3.: zum Radius des Gefäßes. Individuell aus 4.: der Standardabweichung der Messkraft ($\sigma_{F1/2}$), 5.: der Exzentrizität pauschal zu 0,5% (v.M.), 6.: der Unsicherheit der Kalibrierung zu 0,5% (v.M.), 7.: der Geschwindigkeitsangabe zu 0,1% , 8.: pro Grad Temperaturmessunsicherheit werden 5% (v.M.) angesetzt. - Die Gesamtunsicherheiten einer Messung wird aus der Wurzel der Quadratesumme der Einzelunsicherheiten berechnet; diese sind summarisch zu jeder Einzelmessung angegeben in der Spalte σ_n von Tabelle 3, Detaildaten zur Viskositätsmessung II, und in den jeweiligen Diagrammen eingezeichnet.
Temperaturangaben beziehen sich auf die Skala der ITS-90. **Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen bzw. Varianzen qualifiziert. Diese Angaben werden berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu jeweils berechneten Funktionswerten dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für \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.

(the digital twin of process IDN°14776 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Wägeeinheit (WZA224) wurde 2,9 Stunden vor dieser Messung von Labor justiert.

IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems $0,1$ mg, Messunsicherheit (Linearität) $0,2$ mg, Dichte der Justiermasse $\rho_{\text{cal}} 8,000$ 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], $R^\circ 100,0018$ [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:

<u>Time [min]</u>	<u>ϕ [%]</u>	<u>T_a [°C]</u>	<u>p_a [kPa]</u>	<u>ρ_{air} [kg/m³]</u>
0,8	50,49	24,73	97,043	1,1283

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:

Aus einer Studie über alternde Normalproben. Gegenüber Erstmessung und Spezifikationen hat sich die Dichte merklich erhöht. Die Viskosität zeigt sich leicht verringert. Die Messkurven sind ziemlich rau, was auf Gelpartikel hindeuten könnte. Alter der Normalprobe zur Messung 4 Jahre.

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

.....
