

ID N° 16190 - DiVA-Method: Constant Stress Measurement, ΔT 129K

Propylenglycol 10 - 150°C (!)

Systemtest -- Dichte- und Viskositätsmessung von PG über einen sehr weiten Temperaturbereich. 1,2-Propandiol (Propylenglycol) 99.5% reinst nach USP (Laguna).

Sample/Ref.: **Propylene glycol**

Results at 75,0°C

Viscosity: $\eta_{(0,0923\text{Pa})} = 5,16 \pm 0,20 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 5,19 \pm 0,28 \text{ mm}^2/\text{s}$

- Temperature coefficient: $\kappa_\eta = 35,0 \cdot 10^{-3}/\text{K}$

Density: $\rho = 0,9933 \pm 0,00012 \text{ g/cm}^3$

- Coefficient of thermal expansion: $\kappa = 83,9 \cdot 10^{-5}/\text{K}$

Report

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

• 1. MESSPRINZIP

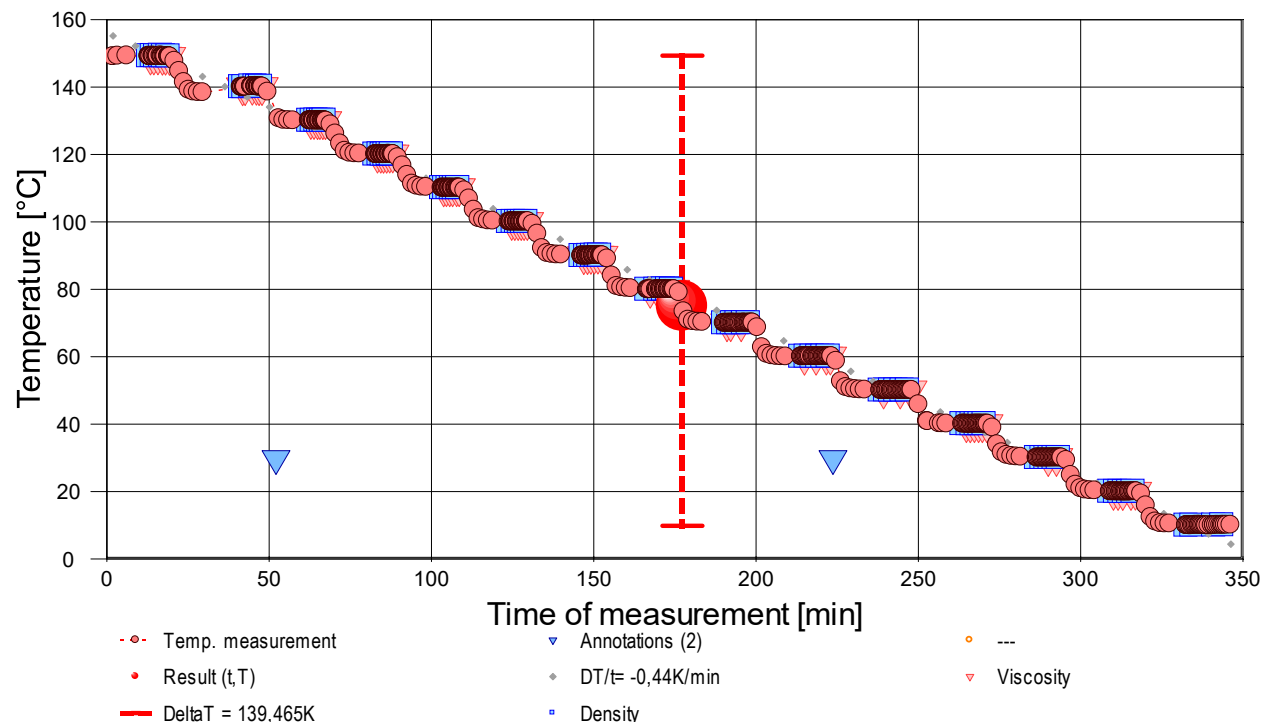
Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen an einem Zylinder, der sich in einem zylindrischen Messgefäß mit der Probenflüssigkeit befindet. Dabei ist der zylindrische Messkörper über eine Aufhängung mit einem Kraftsensor verbunden. Das Gefäß wird durch die Plattform vertikal bewegt und positioniert. Wird die Plattform nach unten bewegt, so fließt das Probenfluid um den stillstehenden Messzylinder durch den exakt ringförmigen Spalt. Die lineare Strömung entlang der Messkörperoberfläche überträgt dadurch eine Kraft. Das ist die Schubspannung, die von der Viskosität erzeugt wird. - Eine genaue Bewegungsgeschwindigkeit fördert ein exakt proportionales Probenvolumen durch den Ringspalt. Das Strömungsprofil ist definiert, Strömung, Kraft, Geschwindigkeit und geometrische Verhältnisse folgen Navier-Stokes sowie einer analogen Form des Hagen-Poiseuille'schen Gesetzes und erlauben unter Berücksichtigung von Aufhängungs- und Auftriebseffekten und der Strömungskinetik eine ungewöhnlich genaue Bestimmung der absoluten Viskosität Newtonscher Fluide. Indem, wie in dieser Messung bei festgelegter Schubspannung (0,0923 Pa) die Proben temperatur verändert wird, können Temperaturkoeffizienten der Viskosität, der Ausdehnungskoeffizient und entsprechende Regressionsfunktionen bestimmt werden, die die Interpolation der thermischen Eigenschaften ermöglichen (weitere Auswertungen erlauben die Bestimmung der Platzwechselenergie und ggf. von Viskositätsindizes).

-- Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte ρ (spezifische Masse, Massekonzentration) gibt die Stoffmenge an, die in einem bestimmten Volumen vorliegt. Sie ist ebenfalls eine temperatur- und druckabhängige Stoffkonstante. Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit wurde hier simultan (sequenziell) mittels Auftriebswägung am ruhenden Zylinder-Messkörper bestimmt: Diese hydrostatische Wägung basiert darauf, dass "ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper (Messkörper) um den Betrag leichter erscheint, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt." Damit aus der Auftriebskraft des Messkörpers die Dichte exakt berechnet werden kann, ist die Bestimmtheit des Messkörpervolumens unter vorliegenden Umständen entscheidend - entsprechendes gilt hinsichtlich der geometrischen Verhältnisse und der Geschwindigkeit für die Viskositätsmessung -

• IMETER M5 DiVA-Ergebnisse sind metrologisch rückführbar und kohärent mit Ergebnissen aus Referenzverfahren (Glaskapillarrisviskosimeter, Hydrometer, 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 71-mal gemessen, die Dichte 88-mal. Messdauer sechs Stunden; stufig, zwischen 149,1 und 9,9°C abfallender Temperaturverlauf, 15 Temperaturniveaus; mit 14 Stufen; 10 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils rund fünf Viskositätsmesswerten. - Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 't/T-Protokoll'



52,1' : PG wurde nachgefüllt (Thermoschwund)-.

223,7' : Problem mit Gold-draht Aufhängung - der Messkörper-Mitnehmer verkantet öfter.

- Mit Diagramm 1. ('t/T-Protokoll') wird eine Übersicht gezeigt, die den Temperaturverlauf in der Messung und eine Zusammenfassung der Vorgänge anzeigt (z.B. 2 Online-Protokollanmerkung(en) während der Messung). -- Die Kreismarkierungen zeigen Temperaturmesswerte an; die blauen Quadrate stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Dichtemessungen, rote Winkel für Viskositätsmessungen. Die Dreiecke zeigen jene Zeitpunkte an, zu welchen vom Prüfer die oben angegebenen Anmerkungen zu Protokoll gegeben wurden.

• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

71 Messwerte; Zeitbereich 13 bis 317 min, Temperatur $\Delta T = -129,231$ K

Resultat: $\eta_{75^\circ\text{C}} = 5,16 \pm 0,2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ bzw. $\pm 3,9\%$ (348,15 K)

Streuung: **0,2** mPa·s absolute bzw. **3,9%** relative Standardabweichung

Berechnung: quadratische Regressionsgleichung temperaturabhängig.

Temperaturzusammenhang zwischen 19,904 und 149,135 °C:

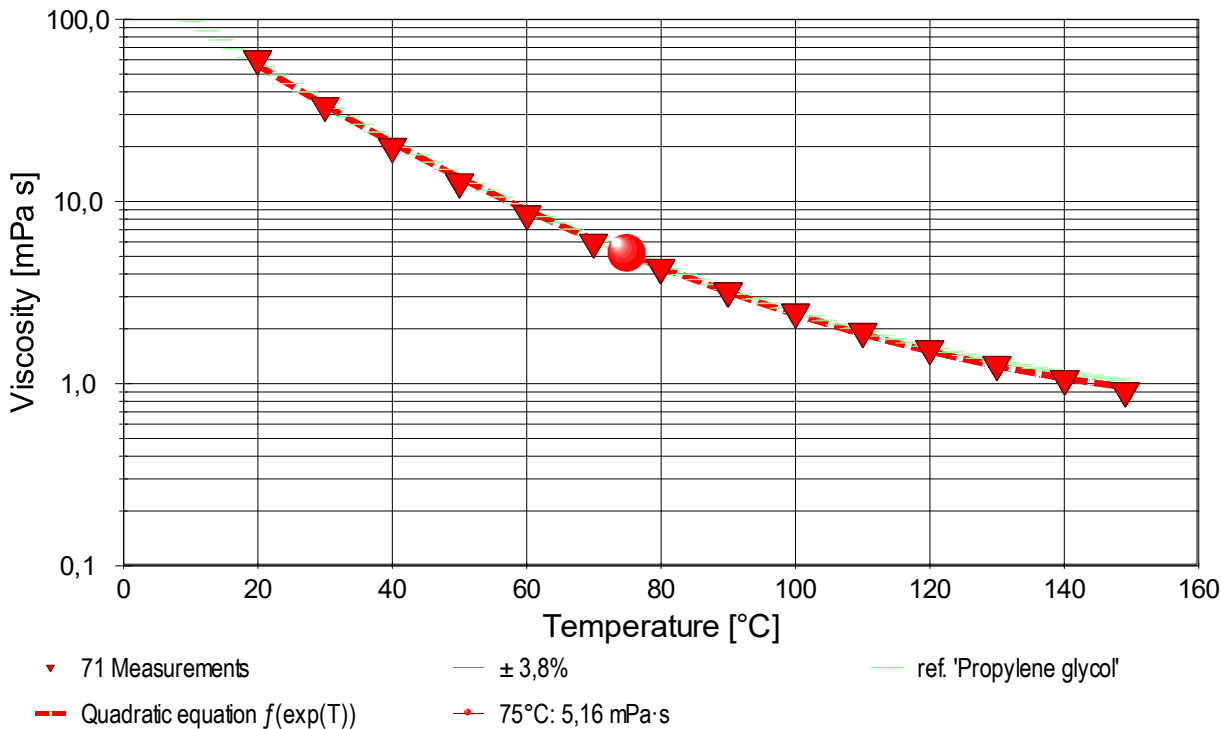
$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = f(\vartheta[^\circ\text{C}]) = 169 \cdot e^{(-0,0585 \cdot \vartheta + 1,60\text{E-}04 \cdot \vartheta^2)} \text{ mit } r^2=0,99908, s^2=3,93\text{E-}2$$

Messung bei konstanter Schubspannung (CS): $\tau = 0,0923 \pm 7,8 \cdot 10^{-4}$ Pa.

Der Temperaturkoeffizient der Viskosität κ_η mit $35 [10^{-3}\text{K}^{-1}]$ entspricht gewöhnlichen Werten gut (etwas über 'Normal'). Die relative Änderung der Viskosität mit der Temperatur beträgt 3,5%, entsprechend 0,18 mPa·s pro Grad bei der Angabetemperatur 75°C.

- Die im Vergleich mit dem Wert der Fortpflanzung der Messunsicherheit von $\pm 0,062$ mPa·s relativ große Standardabweichung zwischen Gleichung und Messwerten ($\pm 0,20$ mPa·s) führt dazu, dass die aus der Fortpflanzung der Unsicherheiten berechnete kombinierte Messunsicherheit des Ergebnisses, die gepunktet unterstrichen zum Ergebniswert angegeben ist, durch die Standardmessunsicherheit ersetzt wurde (Evtl. ist der Temperaturbereich für eine bessere Konvergenz von Gleichung und Messwerten zu groß; vgl. Abschnitt weiter unten). --- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Üblicherweise kann der Temperaturkoeffizient der Viskosität für Fluide bei 25°C im Bereich zwischen 5 und $35 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ liegen. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r^2 , der hier wohl 'gut' zu nennen ist). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

- Diagramm 2. Temperaturabhängigkeit der Viskosität - 'eta-Temp.'



- Das Diagramm 2, "eta-Temp.", zeigt die 71 Viskositätsmesswerte als Dreiecke bei der jeweils beigemessenen Temperatur. Der Angabewert bei 75°C für die Propylene glycol-Probe ist als Kugelmarke abgebildet; der Bereich der Messunsicherheit wird zwischen den beiden feinen Linien ausgewiesen. Der Verlauf der Regressionsfunktion ist als dicke, gestrichelte Linie gezeichnet, und die hinterlegte Referenzfunktion zu 'Propylene glycol-' ist schraffiert in der Breite der Messunsicherheit eingezeichnet.

Die thermodynamische Formulierung gemäß der Arrhenius-Andrade Beziehung lautet für die Propylene glycol-Probe zwischen 20 und 149°C :

$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = f(T[\text{K}]) = 6,889 \cdot 10^{-5} \cdot e^{3942,8/T} \text{ mit } r^2=0,9963 \text{ und } s^2=12$$

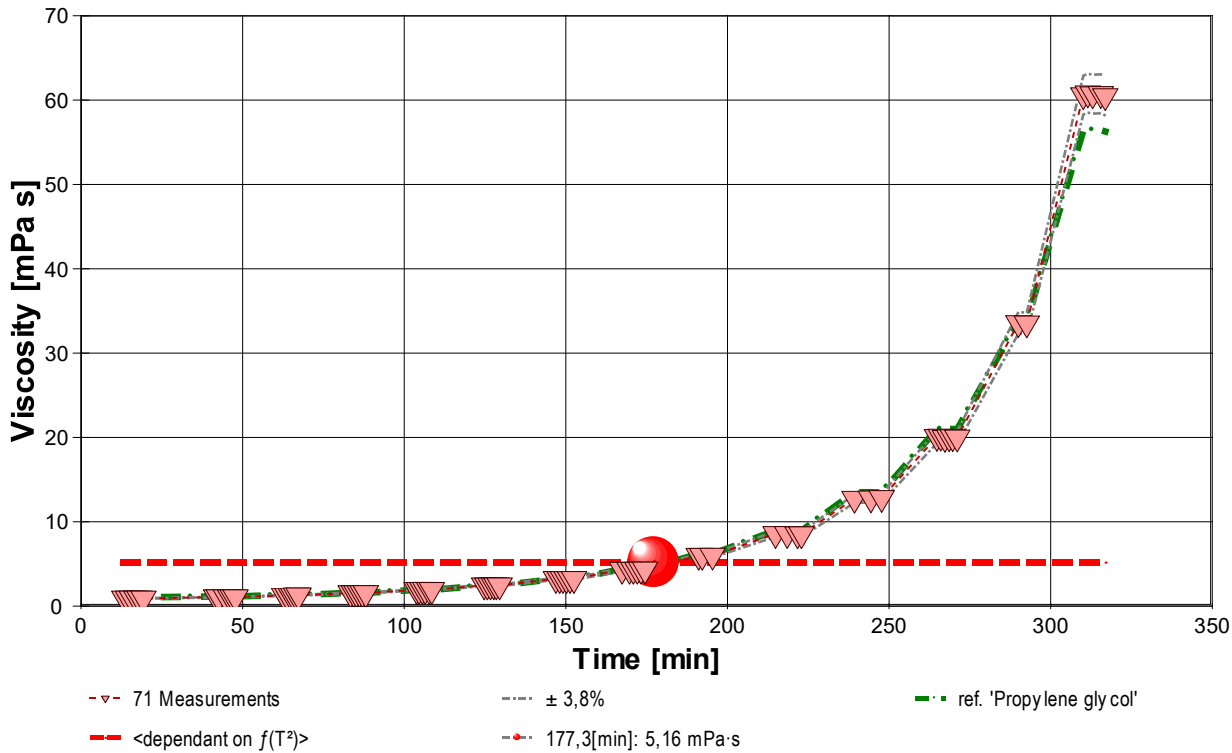
- Die Arrhenius Gleichung der Form " $k = A \cdot e^{-E_a/RT} = \eta$ " gibt in Entsprechung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten k die Viskosität η an. In der Gleichung bedeuten die beiden Konstanten 'A' Arrheniusfaktor bzw. eine Materialkonstante ($\ln(A) = -9,5830$) sowie ' E_a ' die Aktivierungs- bzw. Platzwechselenergie. $E_a = -32,782$ kJ/mol (R ist die allgemeine Gaskonstante). Weil A temperaturabhängig ist, gilt die Gleichung als wenig extrapolierbar.

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

$$\nu \text{ [mm}^2/\text{s]} = f(\vartheta[^\circ\text{C}]) = 169,05 \cdot e^{(-0,058504 \cdot \vartheta + 1,5968 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2)} / (1,0503 - 6,8653 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta - 9,7782 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^2)$$

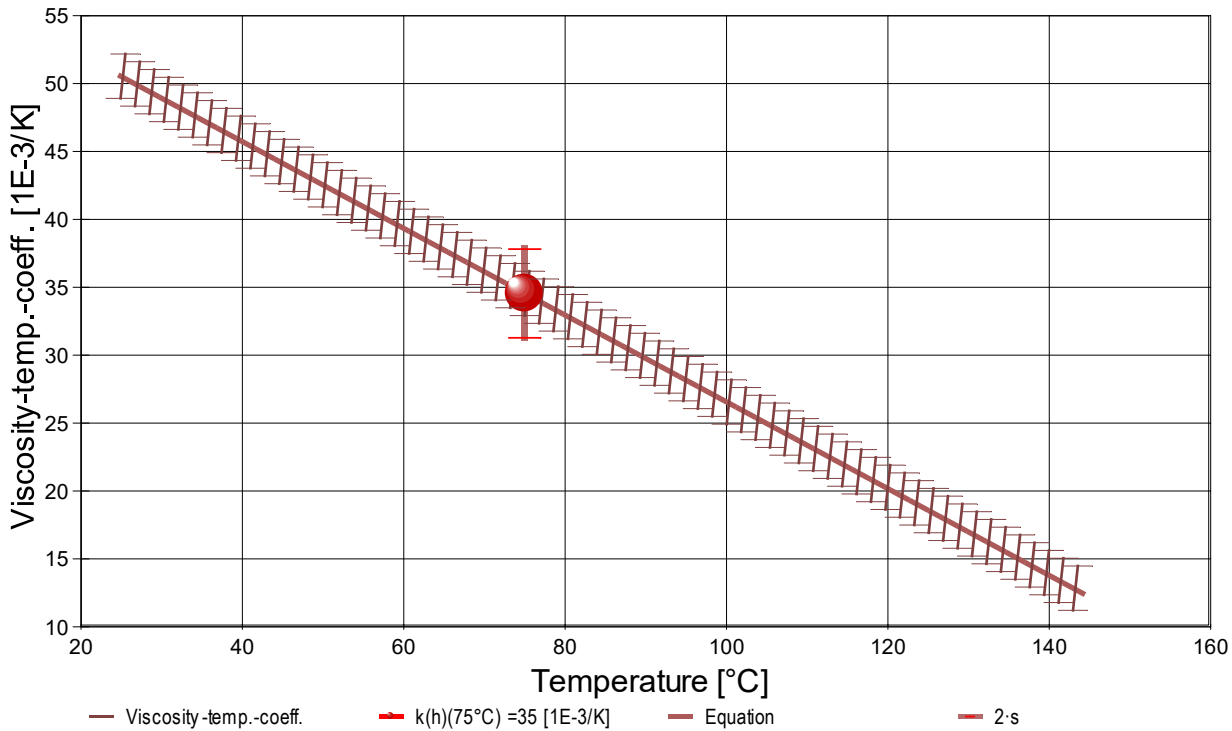
- Die kinematische Viskosität stellt die Zähigkeit eines Fluids inklusive seiner Massenträgheit dar, aus ihr kann ggf. der Viskositätsindex (VI) nach ASTM D2270 berechnet werden. .

- Diagramm 3. Der zeitliche Verlauf der Viskositätswerte - 'eta-f(t)'



- Im Diagramm 3, "eta-f(t)", sind die einzelnen Messwerte als Dreiecke in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Bereich der Unsicherheit eingezeichnet. Referenzwerte werden zum jeweiligen Zeitpunkt temperaturgetreu dargestellt.

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



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

Aus der quadratischen Regressionsgleichung der Viskositätsmesswerte ergibt sich für die Temperaturabhängigkeit des Koeffizienten die folgende Gleichung:

$$\kappa_\eta \mid [10^{-3} \cdot K^{-1}] = f(\vartheta [^\circ C]) = 58,50 - 0,3194 \cdot \vartheta$$

- Die Genauigkeit der Gleichung wird aus der Regressionsfunktion zu $\pm 2 \cdot 10^{-3} / K$ berechnet.

Die Gleichung κ_η liefert zur jeweiligen Temperatur die relative Viskositätsänderung der Propylene glycol-Probe.

- Bestimmungsgleichung: $\kappa_\eta = -1/\eta \cdot (\partial\eta/\partial T)$. Die Berechnung einer Viskositätsänderung über den Temperaturkoeffizienten κ_η nach ' $\eta = \eta_0 \cdot (1 + \kappa_\eta \Delta T)$ ' bzw. ' $\eta = \eta_0 \cdot e^{\kappa_\eta \Delta T}$ ' ist lediglich über wenige Temperaturgrade mit hinreichender Genauigkeit möglich. Die geeignete Formulierung ergibt sich aus dem über ΔT bestimmten Integral ' $\eta = \eta_0 \cdot e^{\int \kappa_\eta(\vartheta) dT}$ ' zur explizit angegebenen Gleichung, also: Die Viskosität η_ϑ bei der Temperatur ϑ kann mit einem bekannten Viskositätswert η_0 und zugehöriger

Temperatur ϑ_0 berechnet werden:

$$\eta_\vartheta = \eta_0 \cdot e^{[-0,05850 \cdot (\vartheta - \vartheta_0) + 1,597E-04 \cdot (\vartheta^2 - \vartheta_0^2)]}$$

- Während die Viskositäts-Temperatur-Gleichung die individuelle Viskosität der 'Propylene glycol-Probe' über den durchmessenen Bereich anzugeben erlaubt, kann ggf. für vergleichbare Fluide von einem bekannten Viskositätswert ausgehend, die Viskosität bei einer anderen Temperatur geschätzt werden.

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

Tabelle 1: Daten der Viskositätsmessung

N° IDN°16190	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.	13,4	149,094	0,9121	9,022	0,7867	0,09020	37,81	98,895	80,8
2.	14,5	149,109	0,9128	8,999	0,7852	0,09004	37,71	98,644	80,6
3.	15,7	149,135	0,9138	9,045	0,7901	0,09060	37,91	99,147	80,9
4.	17,1	149,023	0,9135	8,999	0,7859	0,09011	37,71	98,643	80,5
5.	18,1	149,042	0,9137	8,984	0,7847	0,08998	37,65	98,475	80,3
6.	19,3	148,992	0,9148	8,984	0,7856	0,09008	37,65	98,475	80,3
7.	41,8	139,966	1,068	7,813	0,7962	0,09137	32,73	85,555	60,3
8.	42,6	140,012	1,064	7,813	0,7935	0,09106	32,73	85,555	60,5
9.	44,8	140,132	1,062	7,890	0,7998	0,09179	33,05	86,394	61,2
10.	46,1	140,101	1,062	7,813	0,7918	0,09087	32,73	85,556	60,7
11.	46,9	140,014	1,065	7,813	0,7936	0,09108	32,73	85,555	60,5
12.	47,8	140,043	1,065	7,813	0,7938	0,09110	32,73	85,556	60,5
13.	62,8	129,971	1,268	6,650	0,8026	0,09219	27,84	72,736	43,7
14.	63,8	129,971	1,273	6,650	0,8058	0,09256	27,84	72,737	43,5
15.	64,9	129,938	1,275	6,600	0,8015	0,09206	27,63	72,192	43,1
16.	65,6	129,952	1,273	6,600	0,8001	0,09191	27,63	72,192	43,2
17.	66,5	129,936	1,278	6,600	0,8033	0,09228	27,63	72,192	43,0
18.	67,3	129,934	1,276	6,600	0,8017	0,09209	27,63	72,192	43,1
19.	83,4	119,989	1,553	5,456	0,8053	0,09259	22,83	59,613	29,6
20.	84,4	119,978	1,559	5,422	0,8033	0,09236	22,69	59,236	29,3
21.	85,2	119,940	1,56	5,422	0,8048	0,0925	22,7	59,24	29
22.	86,2	119,967	1,558	5,422	0,8028	0,09230	22,68	59,236	29,3
23.	87,1	120,011	1,556	5,422	0,8015	0,09216	22,69	59,237	29,3
24.	88,1	120,024	1,556	5,456	0,8067	0,09275	22,83	59,613	29,5
25.	103,8	109,996	1,931	4,389	0,8034	0,09246	18,35	47,896	19,3
26.	104,6	110,022	1,934	4,389	0,8050	0,09264	18,35	47,896	19,3
27.	105,6	110,006	1,939	4,389	0,8070	0,09287	18,35	47,896	19,2
28.	106,5	110,009	1,945	4,366	0,8053	0,09267	18,26	47,646	19,1
29.	107,7	110,021	1,935	4,389	0,8052	0,09267	18,35	47,896	19,3
30.	108,5	110,051	1,928	4,389	0,8023	0,09234	18,35	47,896	19,3
31.	124,7	100,020	2,467	3,445	0,8044	0,09266	14,40	37,561	12,0
32.	125,7	100,006	2,461	3,445	0,8025	0,09245	14,40	37,561	12,0
33.	126,7	100,007	2,467	3,445	0,8045	0,09268	14,40	37,561	12,0
34.	127,7	100,009	2,470	3,445	0,8055	0,09279	14,40	37,561	12,0
35.	128,5	100,008	2,471	3,445	0,8059	0,09283	14,40	37,561	12,0
36.	129,5	100,011	2,471	3,445	0,8056	0,09280	14,40	37,561	12,0
37.	146,9	89,879	3,232	2,627	0,8018	0,09245	10,97	28,602	7,03
38.	148,1	89,885	3,231	2,636	0,8043	0,09274	11,01	28,707	7,06
39.	149,1	89,965	3,227	2,634	0,8029	0,09258	11,00	28,686	7,06
40.	150,2	90,023	3,224	2,644	0,8050	0,09282	11,04	28,790	7,10
41.	151,3	90,017	3,223	2,644	0,8049	0,09280	11,04	28,790	7,10
42.	152,5	89,975	3,231	2,634	0,8038	0,09268	11,00	28,686	7,06
43.	167,4	79,878	4,322	1,967	0,8012	0,09247	8,212	21,395	3,97
44.	169,7	79,915	4,322	1,970	0,8026	0,09263	8,226	21,433	3,98
45.	170,9	79,928	4,319	1,972	0,8026	0,09263	8,231	21,445	3,98
46.	172,1	80,003	4,326	1,969	0,8029	0,09266	8,222	21,422	3,97
47.	173,3	79,928	4,327	1,968	0,8025	0,09262	8,216	21,405	3,97
48.	174,5	79,907	4,354	1,963	0,8055	0,09297	8,197	21,356	3,94
49.	191,1	69,938	5,972	1,424	0,8001	0,09243	5,943	15,476	2,10
50.	192,2	69,960	5,98	1,424	0,8004	0,0925	5,94	15,47	2,1
51.	195,4	69,952	5,99	1,425	0,8026	0,0927	5,95	15,48	2,1
52.	214,9	60,004	8,559	0,9977	0,8015	0,09269	4,161	10,829	1,03
53.	218,5	60,019	8,560	0,9969	0,8009	0,09261	4,157	10,819	1,03
54.	221,7	60,060	8,522	1,001	0,8003	0,09255	4,173	10,859	1,04
55.	222,9	60,072	8,529	1,001	0,8012	0,09264	4,174	10,863	1,04
56.	239,3	49,983	12,74	0,6711	0,8010	0,09271	2,797	7,2755	0,471
57.	244,4	50,004	12,78	0,6658	0,7968	0,09223	2,775	7,2184	0,466
58.	247,7	50,034	12,8	0,6655	0,7998	0,0926	2,77	7,215	0,46
59.	264,8	40,008	20,07	0,4267	0,8006	0,09275	1,778	4,6212	0,192
60.	266,0	39,975	20,11	0,4267	0,8019	0,09291	1,778	4,6208	0,191
61.	267,3	40,004	20,0	0,4289	0,8001	0,0927	1,79	4,644	0,19
62.	268,6	40,015	20,03	0,4266	0,7987	0,09253	1,777	4,6196	0,192
63.	269,7	39,996	20,04	0,4266	0,7991	0,09258	1,777	4,6192	0,192
64.	271,1	40,015	20,00	0,4267	0,7980	0,09245	1,778	4,6212	0,192
65.	290,0	29,969	33,57	0,2559	0,8012	0,09291	1,065	2,7678	0,0692
66.	292,6	29,986	33,53	0,2550	0,7977	0,09250	1,062	2,7584	0,0690
67.	310,1	19,929	60,59	0,1418	0,7997	0,09282	0,5900	1,5319	0,0214
68.	311,5	19,911	60,81	0,1411	0,7986	0,09270	0,5870	1,5243	0,0212
69.	313,0	19,904	60,71	0,1414	0,7988	0,09272	0,5882	1,5273	0,0213
70.	315,5	19,914	60,74	0,1413	0,7991	0,09275	0,5881	1,5270	0,0213
71.	316,9	19,971	60,5	0,1419	0,7988	0,0927	0,590	1,533	0,021
[72.	337,7	9,923	118	0,07081	0,7785	0,0905	0,295	0,7643	0,0055]*
[73.	340,3	9,931	118	0,07128	0,7815	0,0908	0,296	0,7693	0,0056]*
[74.	345,9	10,036	119	0,07189	0,7969	0,0926	0,299	0,7759	0,0055]*

*[Beiträge der Messung N° 72, 73, 74 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], γ̇ 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 geschwindigkeitsproportionalen Druckverlust durch die Reibung in der Einlaufzone des Ringspalt (Reibung der MessZylinder-Aufhängung im Medium (F_{hm}), die rekursiv bestimmt wird.

Die reibungsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich aus $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_\zeta - F_{hm}$. Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt.

Die Schubspannung τ entspricht der rein durch die Viskosität des Mediums je Quadratmeter der Zylindermantelfläche ausgeübten Kraft. v_{max} ist die Maximalgeschwindigkeit eines Newton'schen Fluids im Ringspalt relativ zum Messzylinder. Sie ergibt sich aus der Bewegungsgeschwindigkeit und dem geometrischen Aufbau. Die mittlere Geschwindigkeit (nicht in der Tabelle ausgegeben; $v_m = v_z \cdot ra^2 / (ra^2 - ri^2)$), mit ra Röhrenradius und ri Zylinderinnerradius) 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.

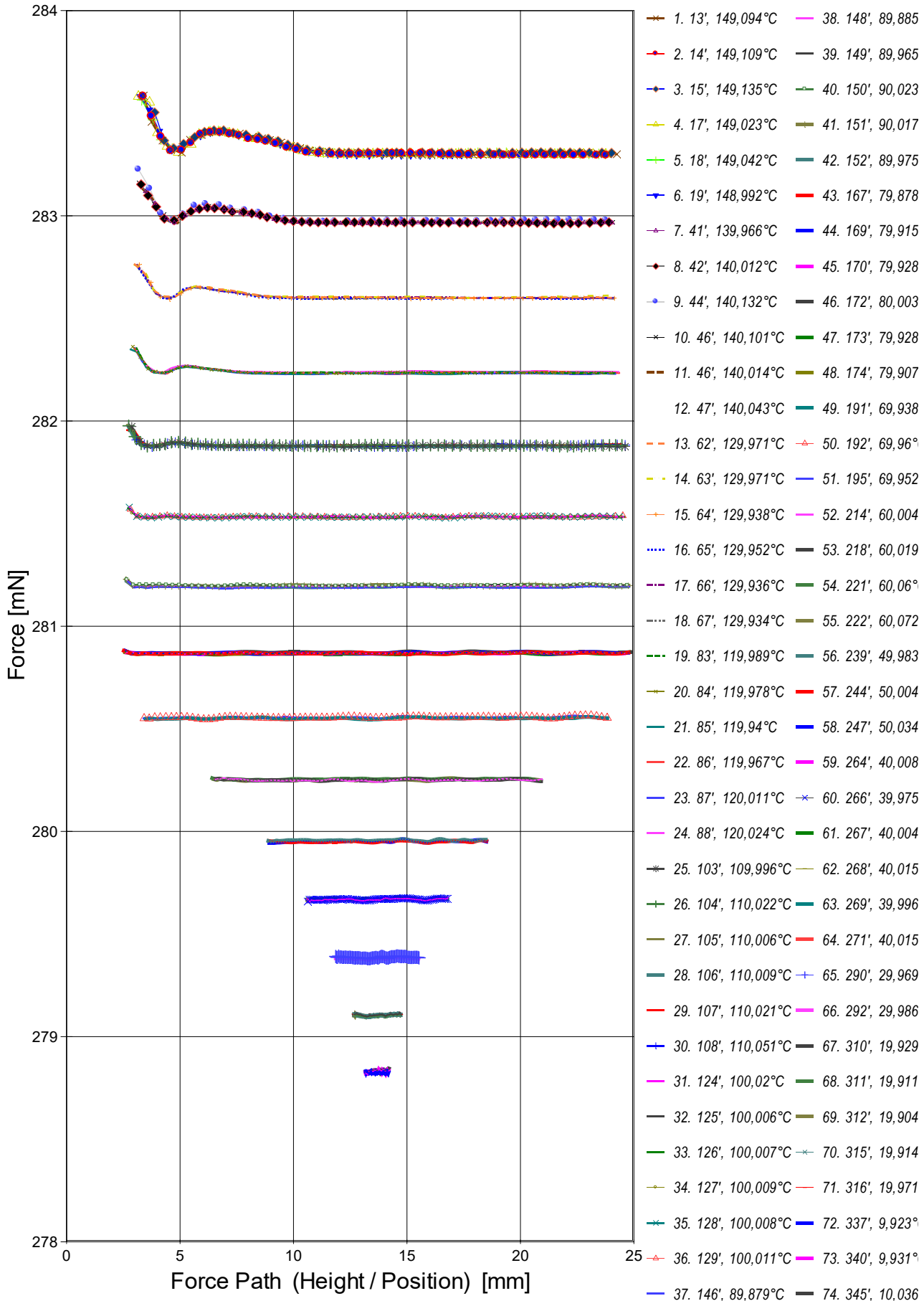
N°	F_w	σ_{Fw}	$\sigma_{Fw\ rel}$ -- Alle Werteinträge in [mN] --	F_p	F_{hp}	F_ζ	F_{hm}	N/n Datenauswahl
1.	283,3012	0,003070	11 ppm	282,4549	5,746E-04	0,0600	2,38E-04	22/48
2.	283,2987	0,003572	13 ppm	282,4541	5,618E-04	0,0597	2,32E-04	22/47
3.	283,3083	0,001023	3,6 ppm	282,4582	5,696E-04	0,0603	2,37E-04	22/47
4.	283,2995	0,001439	5,1 ppm	282,4543	5,617E-04	0,0597	2,33E-04	22/47
5.	283,3058	0,002123	7,5 ppm	282,4620	5,705E-04	0,0595	2,36E-04	24/51
6.	283,2968	0,002705	9,5 ppm	282,4521	5,726E-04	0,0595	2,37E-04	22/48
7.	282,9657	0,001151	4,1 ppm	282,1245	5,797E-04	0,0453	2,41E-04	25/54
8.	282,9662	0,001826	6,5 ppm	282,1277	5,695E-04	0,0453	2,36E-04	26/55
9.	282,9780	0,002199	7,8 ppm	282,1323	5,706E-04	0,0462	2,39E-04	18/39
10.	282,9671	0,001961	6,9 ppm	282,1303	5,755E-04	0,0453	2,38E-04	26/56
11.	282,9681	0,002365	8,4 ppm	282,1295	5,721E-04	0,0453	2,37E-04	25/54
12.	282,9693	0,001466	5,2 ppm	282,1305	5,773E-04	0,0453	2,40E-04	26/56
13.	282,6006	0,001451	5,1 ppm	281,7652	5,764E-04	0,0331	2,40E-04	22/47
14.	282,6048	0,002588	9,2 ppm	281,7662	5,762E-04	0,0331	2,41E-04	23/49
15.	282,5984	0,001001	3,5 ppm	281,7646	5,815E-04	0,0326	2,42E-04	22/47
16.	282,5972	0,001020	3,6 ppm	281,7648	5,887E-04	0,0326	2,44E-04	29/62
17.	282,6011	0,002023	7,2 ppm	281,7655	5,801E-04	0,0326	2,42E-04	23/49
18.	282,5989	0,001219	4,3 ppm	281,7649	5,902E-04	0,0326	2,45E-04	23/50
19.	282,2350	9,381E-04	3,3 ppm	281,4076	5,879E-04	0,0225	2,44E-04	28/59
20.	282,2352	0,001326	4,7 ppm	281,4101	5,836E-04	0,0222	2,41E-04	29/61
21.	282,2337	0,00324	11 ppm	281,4070	5,79E-04	0,0222	2,40E-04	28/59
22.	282,2360	0,002582	9,1 ppm	281,4114	5,918E-04	0,0222	2,45E-04	29/61
23.	282,2317	0,001263	4,5 ppm	281,4083	5,883E-04	0,0222	2,43E-04	29/61
24.	282,2405	0,001028	3,6 ppm	281,4117	5,901E-04	0,0225	2,45E-04	27/58
25.	281,8790	0,001223	4,3 ppm	281,0612	6,037E-04	0,0147	2,48E-04	29/62
26.	281,8802	0,001486	5,3 ppm	281,0609	5,950E-04	0,0147	2,45E-04	35/74
27.	281,8823	0,001032	3,7 ppm	281,0610	5,931E-04	0,0147	2,45E-04	33/69
28.	281,8774	0,001410	5,0 ppm	281,0580	5,972E-04	0,0145	2,46E-04	36/76
29.	281,8821	0,001922	6,8 ppm	281,0626	5,997E-04	0,0147	2,47E-04	29/62
30.	281,8818	0,003061	11 ppm	281,0652	5,989E-04	0,0147	2,45E-04	30/63
31.	281,5341	0,002506	8,9 ppm	280,7210	6,040E-04	0,00911	2,46E-04	38/79
32.	281,5323	0,002407	8,6 ppm	280,7210	6,002E-04	0,00911	2,44E-04	31/65
33.	281,5334	0,001647	5,9 ppm	280,7201	6,026E-04	0,00911	2,46E-04	38/79
34.	281,5324	0,001049	3,7 ppm	280,7182	6,025E-04	0,00911	2,46E-04	31/65
35.	281,5340	0,002411	8,6 ppm	280,7194	6,010E-04	0,00911	2,46E-04	31/66
36.	281,5333	0,002171	7,7 ppm	280,7190	6,057E-04	0,00912	2,47E-04	31/66
37.	281,1904	0,002116	7,5 ppm	280,3836	6,136E-04	0,00534	2,48E-04	37/77
38.	281,1947	0,002054	7,3 ppm	280,3854	6,136E-04	0,00538	2,49E-04	37/77
39.	281,1981	0,002868	10 ppm	280,3902	6,114E-04	0,00537	2,47E-04	36/76
40.	281,1987	0,002110	7,5 ppm	280,3887	6,126E-04	0,00541	2,48E-04	37/77
41.	281,1981	0,002572	9,1 ppm	280,3882	6,138E-04	0,00541	2,49E-04	37/77
42.	281,1952	0,002521	9,0 ppm	280,3865	6,135E-04	0,00537	2,48E-04	37/77
43.	280,8685	0,002323	8,3 ppm	280,0647	6,182E-04	0,00302	2,48E-04	42/87
44.	280,8707	0,002418	8,6 ppm	280,0655	6,178E-04	0,00303	2,48E-04	38/79
45.	280,8699	0,001865	6,6 ppm	280,0647	6,174E-04	0,00303	2,48E-04	37/78
46.	280,8727	0,002767	9,9 ppm	280,0672	6,214E-04	0,00302	2,50E-04	38/79
47.	280,8682	0,002868	10 ppm	280,0630	6,227E-04	0,00302	2,50E-04	38/80
48.	280,8691	0,002692	9,6 ppm	280,0609	6,161E-04	0,00301	2,48E-04	38/79
49.	280,5527	0,002337	8,3 ppm	279,7514	6,111E-04	0,00159	2,43E-04	40/83
50.	280,5565	0,00358	13 ppm	279,7548	6,10E-04	0,00159	2,43E-04	42/87
51.	280,5569	0,00345	12 ppm	279,7530	6,09E-04	0,00159	2,43E-04	44/91
52.	280,2509	0,002974	11 ppm	279,4489	5,751E-04	7,87E-04	2,28E-04	40/84
53.	280,2523	0,002770	9,9 ppm	279,4510	5,737E-04	7,85E-04	2,27E-04	40/83
54.	280,2555	0,001818	6,5 ppm	279,4547	5,673E-04	7,91E-04	2,24E-04	46/95
55.	280,2534	0,003291	12 ppm	279,4518	5,720E-04	7,92E-04	2,26E-04	44/91
56.	279,9568	0,003476	12 ppm	279,1558	5,416E-04	3,58E-04	2,13E-04	39/82
57.	279,9518	0,003316	12 ppm	279,1549	5,420E-04	3,53E-04	2,12E-04	40/84
58.	279,9529	0,00426	15 ppm	279,1530	5,41E-04	3,52E-04	2,13E-04	40/83
59.	279,6700	0,003267	12 ppm	278,8696	5,184E-04	1,46E-04	2,03E-04	40/83
60.	279,6706	0,003002	11 ppm	278,8688	5,190E-04	1,46E-04	2,03E-04	40/83
61.	279,6731	0,00397	14 ppm	278,8732	5,18E-04	1,47E-04	2,03E-04	40/83
62.	279,6686	0,002666	9,5 ppm	278,8700	5,189E-04	1,46E-04	2,03E-04	40/83
63.	279,6683	0,003169	11 ppm	278,8694	5,191E-04	1,46E-04	2,03E-04	40/83
64.	279,6689	0,003236	12 ppm	278,8711	5,191E-04	1,46E-04	2,02E-04	40/83
65.	279,3884	0,002912	10 ppm	278,5874	5,043E-04	5,27E-05	1,96E-04	40/83
66.	279,3834	0,002369	8,5 ppm	278,5860	5,035E-04	5,23E-05	1,95E-04	40/83
67.	279,1072	0,003011	11 ppm	278,3078	4,956E-04	1,63E-05	1,92E-04	40/84
68.	279,1033	0,002927	10 ppm	278,3050	4,953E-04	1,61E-05	1,91E-04	40/83
69.	279,1048	0,002539	9,1 ppm	278,3062	4,950E-04	1,62E-05	1,91E-04	48/99
70.	279,1059	0,002450	8,8 ppm	278,3071	4,956E-04	1,62E-05	1,92E-04	40/84
71.	279,1076	0,00363	13 ppm	278,3091	4,95E-04	1,63E-05	1,91E-04	40/83
[72.	278,8259	0,00491	18 ppm	278,0477	4,91E-04	4,08E-06	1,84E-04	40/83]*
[73.	278,8290	0,00541	19 ppm	278,0477	4,91E-04	4,14E-06	1,85E-04	40/83]*
[74.	278,8343	0,00411	15 ppm	278,0377	4,91E-04	4,21E-06	1,88E-04	41/85]*

*[Angaben der Messung N° 72, 73, 74 wurden durch den Prüfer von der mathematischen Betrachtung 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_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 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_ζ die kinetischen Energie-Korrektur angegeben, die analog zu (Glas-)Kapillarviskosimetern mit dem Faktor ζ der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht: $F_\zeta = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

- 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 ausgebildet, 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 σ und Messunsicherheit $\Sigma\sigma$. Das Gesamtvolumen im Ringspalt von 2,93 cm³ wird über die Bewegungstrecke von 22,0 mm komplett ausgetauscht.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

N°	'Noise' [μPa/mm]	H _{Start} [mm]	L _{cn} [mm]	D _{RSP} [mm]	ΔD _{RSP} [μm]	Ø _{zyl.} [mm]	L _{zyl.} [mm]	Σσ [mPa·s]	Σσ _{rel.}
1.	1,79E-04	3,390	20,859	1,485	-10,1	13,0373	43,0888	0,011	1,2%
2.	1,17E-04	3,378	20,392	1,485	-10,1	13,0373	43,0888	0,011	1,2%
3.	9,11E-05	3,320	20,695	1,485	-10,1	13,0373	43,0888	0,01	1,1%
4.	7,54E-05	3,162	20,599	1,485	-10,1	13,0372	43,0887	0,01	1,1%
5.	1,45E-04	3,314	20,420	1,485	-10,1	13,0372	43,0887	0,01	1,1%
6.	9,92E-05	3,233	20,780	1,485	-10,1	13,0372	43,0887	0,011	1,2%
7.	1,34E-04	3,472	20,564	1,485	-9,34	13,0353	43,0824	0,012	1,1%
8.	1,63E-04	3,284	20,618	1,485	-9,34	13,0353	43,0824	0,012	1,1%
9.	1,38E-04	3,166	20,592	1,485	-9,35	13,0354	43,0825	0,012	1,1%
10.	2,21E-04	3,188	20,876	1,485	-9,35	13,0354	43,0825	0,012	1,1%
11.	1,53E-04	3,367	20,447	1,485	-9,34	13,0353	43,0824	0,012	1,1%
12.	1,45E-04	3,133	20,931	1,485	-9,35	13,0353	43,0824	0,012	1,1%
13.	1,32E-04	3,004	20,987	1,486	-8,53	13,0332	43,0754	0,014	1,1%
14.	3,09E-04	3,004	20,881	1,486	-8,53	13,0332	43,0754	0,015	1,2%
15.	1,17E-04	3,205	20,936	1,486	-8,52	13,0332	43,0754	0,014	1,1%
16.	1,29E-04	3,106	21,035	1,486	-8,53	13,0332	43,0754	0,014	1,1%
17.	1,37E-04	3,106	20,936	1,486	-8,52	13,0332	43,0754	0,014	1,1%
18.	8,80E-05	3,113	21,140	1,486	-8,52	13,0332	43,0754	0,014	1,1%
19.	1,54E-04	3,080	21,142	1,487	-7,72	13,0311	43,0684	0,017	1,1%
20.	1,29E-04	2,913	21,090	1,487	-7,71	13,0311	43,0684	0,017	1,1%
21.	5,11E-04	2,827	21,182	1,487	-7,71	13,0311	43,0684	0,019	1,2%
22.	3,28E-04	2,989	21,350	1,487	-7,71	13,0311	43,0684	0,018	1,2%
23.	1,41E-04	2,995	21,177	1,487	-7,72	13,0311	43,0684	0,017	1,1%
24.	1,75E-04	3,080	21,230	1,487	-7,72	13,0311	43,0684	0,017	1,1%
25.	3,00E-04	2,872	21,737	1,488	-6,90	13,0290	43,0614	0,021	1,1%
26.	3,16E-04	2,736	21,737	1,488	-6,91	13,0290	43,0614	0,021	1,1%
27.	2,07E-04	2,665	21,943	1,488	-6,90	13,0290	43,0614	0,021	1,1%
28.	1,51E-04	2,729	21,623	1,488	-6,90	13,0290	43,0614	0,021	1,1%
29.	3,84E-04	2,670	21,732	1,488	-6,91	13,0290	43,0614	0,022	1,1%
30.	5,37E-04	2,731	21,882	1,488	-6,91	13,0290	43,0615	0,023	1,2%
31.	0,00101	2,761	21,751	1,489	-6,09	13,0269	43,0544	0,028	1,1%
32.	8,37E-04	2,761	21,696	1,489	-6,09	13,0269	43,0544	0,028	1,1%
33.	5,46E-04	2,713	21,854	1,489	-6,09	13,0269	43,0544	0,027	1,1%
34.	4,65E-04	2,896	21,562	1,489	-6,09	13,0269	43,0544	0,026	1,1%
35.	0,00113	2,761	21,589	1,489	-6,09	13,0269	43,0544	0,028	1,1%
36.	0,00101	2,820	21,693	1,489	-6,09	13,0269	43,0544	0,028	1,1%
37.	6,04E-04	2,696	22,080	1,489	-5,27	13,0247	43,0473	0,036	1,1%
38.	9,46E-04	2,658	22,078	1,489	-5,27	13,0247	43,0474	0,036	1,1%
39.	0,00155	2,700	21,817	1,489	-5,28	13,0247	43,0474	0,038	1,2%
40.	0,00117	2,659	22,060	1,489	-5,28	13,0248	43,0474	0,036	1,1%
41.	0,00194	2,619	22,142	1,489	-5,28	13,0247	43,0474	0,037	1,1%
42.	0,00166	2,658	22,065	1,489	-5,28	13,0247	43,0474	0,037	1,1%
43.	0,00241	2,523	22,247	1,490	-4,46	13,0226	43,0404	0,049	1,1%
44.	0,00243	2,583	22,168	1,490	-4,46	13,0226	43,0404	0,049	1,1%
45.	0,00211	2,646	21,923	1,490	-4,46	13,0226	43,0404	0,048	1,1%
46.	0,00288	2,648	22,195	1,490	-4,47	13,0226	43,0404	0,05	1,2%
47.	0,00256	2,582	22,217	1,490	-4,46	13,0226	43,0404	0,051	1,2%
48.	0,00233	2,581	21,989	1,490	-4,46	13,0226	43,0404	0,05	1,1%
49.	0,00326	3,483	20,340	1,491	-3,65	13,0205	43,0334	0,068	1,1%
50.	0,00504	3,416	20,409	1,491	-3,65	13,0205	43,0334	0,073	1,2%
51.	0,00541	3,393	20,431	1,491	-3,65	13,0205	43,0334	0,073	1,2%
52.	0,00859	6,572	14,358	1,492	-2,84	13,0184	43,0265	0,1	1,2%
53.	0,00712	6,564	14,345	1,492	-2,84	13,0184	43,0265	0,1	1,2%
54.	0,00580	6,418	14,438	1,492	-2,85	13,0184	43,0265	0,095	1,1%
55.	0,00894	6,477	14,413	1,492	-2,85	13,0184	43,0265	0,1	1,2%
56.	0,0219	8,891	9,583	1,493	-2,03	13,0163	43,0195	0,15	1,2%
57.	0,0169	8,918	9,581	1,493	-2,03	13,0163	43,0195	0,15	1,2%
58.	0,0213	8,930	9,570	1,493	-2,03	13,0163	43,0195	0,16	1,2%
59.	0,0382	10,631	6,119	1,494	-1,22	13,0142	43,0125	0,24	1,2%
60.	0,0236	10,624	6,153	1,494	-1,22	13,0142	43,0125	0,24	1,2%
61.	0,0453	10,609	6,116	1,494	-1,22	13,0142	43,0125	0,25	1,3%
62.	0,0268	10,624	6,126	1,494	-1,22	13,0142	43,0125	0,23	1,1%
63.	0,0305	10,624	6,147	1,494	-1,22	13,0142	43,0125	0,24	1,2%
64.	0,0320	10,637	6,119	1,494	-1,22	13,0142	43,0125	0,24	1,2%
65.	0,0960	11,858	3,674	1,494	-0,403	13,0121	43,0055	0,39	1,2%
66.	0,0555	11,864	3,636	1,494	-0,405	13,0121	43,0055	0,38	1,1%
67.	0,446	12,671	2,043	1,495	0,411	13,0099	42,9985	0,72	1,2%
68.	0,382	12,681	2,022	1,495	0,413	13,0099	42,9984	0,72	1,2%
69.	0,356	12,658	2,040	1,495	0,414	13,0099	42,9984	0,7	1,2%
70.	0,409	12,675	2,034	1,495	0,413	13,0099	42,9984	0,7	1,2%
71.	0,399	12,671	2,032	1,495	0,408	13,0099	42,9985	0,74	1,2%
[72.	3,79	13,180	1,010	1,496	1,22	13,0078	42,9915	1,6	1,4%]*
[73.	4,35	13,175	1,019	1,496	1,22	13,0078	42,9915	1,6	1,4%]*
[74.	3,26	13,171	1,034	1,496	1,21	13,0078	42,9915	1,5	1,3%]*

*[Angaben der Messung N° 72, 73, 74 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_{cm} Länge der Suspension, deren Flüssigkeitsreibung und Auftrieb zur Korrektur der Kraft angewendet wird [mm]. D_{RSP} Weite des Ringspalts zwischen Zylindermesskörper und Röhre bei der Temperatur [mm], ΔD_{RSP} Änderung der Spaltweite durch Abweichung von der Bezugstemperatur 25°C [μm], \varnothing_{zyl} Durchmesser des Messzylinders [mm], L_{zyl} Länge des Messzylinders [mm]. $\Sigma\sigma$ Absolute Summe der Unsicherheitsbeiträge, die dem jeweiligen Viskositätswert beigeordnet wird [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. 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

88 Messwerte; Zeitbereich 13 bis 344 min, Temperatur $\Delta T = -139,385 \text{ K}$

Ergebniswert: $\rho_{75^\circ\text{C}} = 0,9933 \pm 0,00012 \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 0,12\text{‰}$ (348,15 K, 95,40 kPa)

Streuung: $\pm 9,7 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. 98 ppm relative Standardabweichung

Berechnung: quadratische Regressionsgleichung.

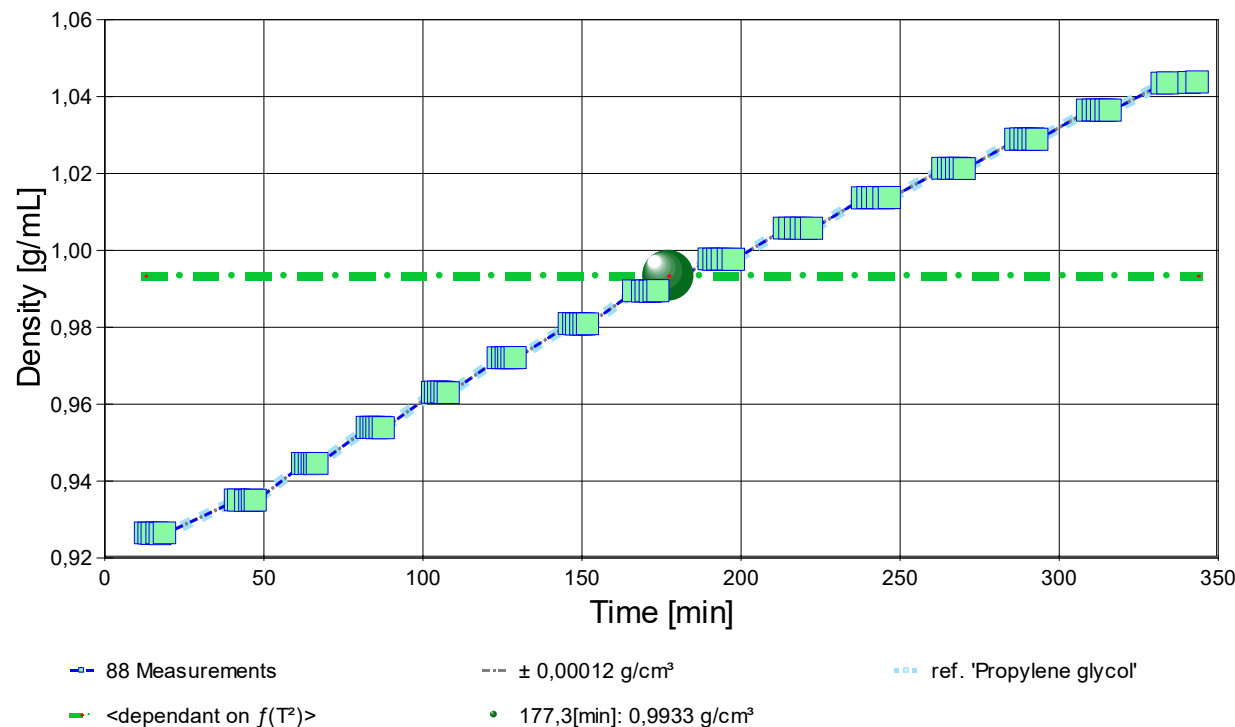
Temperaturabhängigkeit zwischen 9,919 und 149,304 °C:

$$\rho [\text{g/cm}^3] = f(\vartheta [^\circ\text{C}]) = 1,05029 - 68,65 \cdot \vartheta / 1\text{E}5 - 0,09778 \cdot \vartheta^2 / 1\text{E}5 \text{ mit } r^2 = 0,9999928, s^2 = 9,46\text{E-}9$$

Der Ausdehnungskoeffizient κ mit $83,9 [10^{-5}\text{K}^{-1}]$ entspricht üblichen Werten gut (etwas unter 'Normal'). Die relative Änderung der Dichte mit der Temperatur beträgt $0,84\text{‰}$, das sind $0,0008 \text{ g/cm}^3$ pro Grad bei der Angabetemperatur 75°C .

- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Üblicherweise kann der Ausdehnungskoeffizient für Fluide bei 25°C im Bereich zwischen 50 und $150 \cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$ liegen. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r^2 , der hier wohl 'exzellent' zu nennen ist). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

-> Diagramm 6. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - 'rho-f(t)²'



- Im Diagramm 6, "rho-f(t)²", sind die einzelnen Messwerte als Quadrate in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Bereich der Unsicherheit eingezeichnet.

Tabelle 4: Daten der Dichtemessung

N° IDN°16190	t [min]	ϑ [°C]	ρ [g/cm³]	H [mm]	ω [s]	Δρ _ω [g/cm³]	N Werte & Trend	F _A [mN]	F _{korrr.} [mN], TSymb.
1.	13,0	149,169	0,9263	2,048	5,2	-7,0E-05	5 ₂₉ ↗	282,455	0,001 ‡
2.	14,1	149,246	0,9263	2,048	7,8	2,2E-05	8 ₃₀ ←	282,454	-0,001 ‡
3.	15,1	149,174	0,9262	2,048	24,0	-1,3E-04	20 ₃₂ ⇔	282,458	0,000 ‡
4.	16,6	149,304	0,9263	2,048	16,2	3,4E-05	17 ₃₀ ⇔	282,454	0,001 ‡
5.	17,6	149,142	0,9261	2,048	18,0	-2,1E-04	19 ₃₀ ↗	282,462	0,001 ‡
6.	19,0	149,128	0,9263	2,048	7,0	-3,1E-05	7 ₃₀ ⇔	282,452	-0,001 ‡
7.	41,3	139,994	0,9349	2,048	6,1	-5,7E-05	6 ₃₀ ⇔	282,124	-0,001 ‡
8.	42,3	140,009	0,9349	2,048	3,3	-2,8E-05	3 ₃₁ ←	282,128	0,001 ‡
9.	44,5	140,223	0,9347	2,049	6,2	4,5E-06	6 ₃₀ ←	282,132	0,001 ‡
10.	45,8	140,237	0,9348	2,049	3,3	7,3E-05	3 ₃₀ ⇔	282,130	0,000 ‡
11.	46,6	140,093	0,9348	2,048	4,1	-1,4E-05	4 ₃₀ ↗	282,129	0,001 ‡
12.	47,5	140,105	0,9348	2,048	4,4	3,8E-06	4 ₃₀ ⇔	282,130	0,001 ‡
13.	62,4	130,041	0,9444	2,049	5,3	-1,1E-04	5 ₃₁ ←	281,765	0,002 ‡
14.	63,4	130,023	0,9443	2,048	13,4	-1,6E-04	14 ₃₁ ↗	281,766	0,000 ‡
15.	64,5	130,094	0,9444	2,049	7,7	9,5E-06	8 ₃₀ ⇔	281,765	0,001 ‡
16.	65,4	130,034	0,9444	2,048	3,5	-4,3E-05	3 ₃₀ ↘	281,765	0,002 ‡
17.	66,2	130,009	0,9443	2,049	5,1	-3,8E-05	5 ₃₂ ⇔	281,766	0,000 ‡
18.	67,0	130,063	0,9444	2,048	5,2	-2,3E-05	5 ₃₀ →	281,765	0,001 ‡

19.	82,7	120,013	0,9538	2,048	12,6	1,1E-04	13 ₂₉ ↗	281,408	0,001 ‡
20.	84,0	120,084	0,9537	2,049	8,7	-5,5E-05	9 ₂₉ ←	281,410	0,002 ‡
21.	84,9	119,998	0,9537	2,048	3,3	-6,3E-05	3 ₃₀ ⇌	281,407	0,000 ‡
22.	85,8	120,014	0,9537	2,049	9,7	-1,1E-04	10 ₃₂ ⇌	281,411	0,001 ‡
23.	86,8	120,112	0,9537	2,049	5,1	-4,6E-05	5 ₃₁ ⇌	281,408	0,000 ‡
24.	87,8	120,043	0,9537	2,049	3,5	-2,4E-05	3 ₃₁ ←	281,412	0,001 ‡
25.	103,3	110,040	0,9629	2,049	3,3	-1,3E-05	3 ₂₉ ↗	281,061	0,000 ‡
26.	104,2	110,026	0,9629	2,049	8,8	-2,8E-05	9 ₂₉ ↗	281,061	0,000 ‡
27.	105,2	110,057	0,9629	2,049	3,2	-5,6E-05	3 ₃₁ ←	281,061	0,001 ‡
28.	106,2	110,038	0,9629	2,049	3,2	4,6E-05	3 ₃₀ ↗	281,058	0,000 ‡
29.	107,2	110,042	0,9628	2,049	18,0	-1,2E-04	19 ₂₉ ⇌	281,063	0,000 ‡
30.	108,2	110,058	0,9628	2,049	3,2	-1,1E-04	3 ₃₂ ↗	281,065	0,001 ‡
31.	123,9	99,999	0,9718	2,049	19,8	-1,7E-05	21 ₃₀ ↗	280,721	0,000 ‡
32.	125,3	100,025	0,9719	2,049	4,2	-4,8E-05	4 ₃₀ →	280,721	0,000 ‡
33.	126,4	100,012	0,9719	2,049	3,3	-5,0E-05	3 ₃₀ ⇌	280,720	0,000 ‡
34.	127,2	100,018	0,9719	2,048	8,8	-1,1E-06	9 ₃₁ ⇌	280,718	0,000 ‡
35.	128,2	100,013	0,9719	2,049	4,5	6,9E-05	4 ₃₁ ↗	280,719	0,000 ‡
36.	129,2	100,030	0,9719	2,049	3,2	5,4E-05	3 ₃₀ ↗	280,719	0,000 ‡
37.	146,2	89,916	0,9808	2,048	9,5	7,4E-06	10 ₃₀ ↗	280,384	0,000 ‡
38.	147,7	89,891	0,9807	2,048	5,3	-6,7E-05	5 ₃₁ ↘	280,385	0,000 ‡
39.	148,6	89,935	0,9806	2,048	10,7	-5,7E-05	11 ₂₉ →	280,390	0,002 ‡
40.	149,8	90,009	0,9806	2,048	7,9	4,3E-06	8 ₂₉ ↗	280,389	0,000 ‡
41.	150,9	90,053	0,9806	2,048	7,1	-2,6E-07	7 ₂₉ →	280,388	0,000 ‡
42.	152,0	90,012	0,9807	2,048	10,6	-1,1E-06	11 ₃₀ ↗	280,386	0,000 ‡
43.	166,5	79,873	0,9893	2,048	14,2	-9,9E-05	15 ₃₁ →	280,065	0,001 ‡
44.	169,3	79,896	0,9892	2,048	4,2	2,8E-05	4 ₃₁ ↑	280,065	-0,001 ‡
45.	170,4	79,943	0,9893	2,048	7,6	2,4E-05	8 ₃₁ ↗	280,065	0,001 ‡
46.	171,7	79,975	0,9892	2,048	5,9	1,9E-05	6 ₃₀ ↘	280,067	0,000 ‡
47.	172,9	79,994	0,9893	2,048	5,8	2,7E-05	6 ₃₀ ↗	280,063	0,001 ‡
48.	174,1	79,902	0,9893	2,048	3,3	4,4E-05	3 ₃₀ ←	280,061	-0,001 ‡
49.	190,2	69,925	0,9976	2,048	7,9	3,5E-05	8 ₂₉ →	279,751	0,001 ‡
50.	191,7	69,944	0,9975	2,048	3,2	-4,1E-05	3 ₃₀ ⇌	279,755	0,000 ‡
51.	192,9	69,964	0,9975	2,048	3,2	-2,4E-07	3 ₃₁ ↗	279,752	-0,001 ‡
52.	194,3	69,949	0,9975	2,048	23,5	1,0E-05	25 ₃₀ ↗	279,753	0,001 ‡
53.	196,3	69,977	0,9975	2,048	4,4	1,0E-05	4 ₃₁ ↘	279,753	0,000 ‡
54.	197,8	69,957	0,9975	2,048	6,2	-2,1E-05	6 ₂₉ ↗	279,755	0,001 ‡
55.	213,9	59,994	1,0056	2,048	8,9	-1,8E-05	9 ₃₀ →	279,449	-0,001 ‡
56.	215,6	60,029	1,0056	2,048	5,3	3,2E-05	5 ₃₂ ↗	279,451	0,000 ‡
57.	217,4	60,042	1,0056	2,048	16,6	2,7E-06	18 ₃₀ ⇌	279,451	0,000 ‡
58.	219,2	60,025	1,0056	2,048	5,0	-1,9E-05	5 ₃₀ ↗	279,452	0,000 ‡
59.	220,7	60,040	1,0055	2,048	10,6	-6,6E-05	12 ₅₁ ←	279,455	0,001 ‡
60.	222,4	60,083	1,0056	2,048	5,2	3,0E-05	5 ₃₀ →	279,452	0,000 ‡
61.	238,4	49,971	1,0135	2,048	3,3	4,1E-05	3 ₃₁ ↘	279,156	0,000 ‡
62.	240,1	50,008	1,0135	2,048	11,9	6,4E-05	12 ₃₁ ↗	279,153	-0,001 ‡
63.	241,6	50,004	1,0135	2,048	4,6	6,8E-05	5 ₅₂ ⇌	279,155	0,000 ‡
64.	243,2	49,995	1,0135	2,048	22,4	-1,0E-05	24 ₃₁ ↗	279,155	0,001 ‡
65.	245,1	50,010	1,0135	2,048	4,1	-2,3E-06	4 ₃₀ ↓	279,156	0,001 ‡
66.	246,8	50,016	1,0135	2,048	3,2	6,2E-06	3 ₃₁ ↗	279,153	0,000 ‡
67.	263,6	40,035	1,0212	2,048	20,4	1,1E-04	22 ₃₀ ⇌	278,870	0,001 ‡
68.	265,5	39,983	1,0212	2,048	3,3	2,7E-05	3 ₃₀ ←	278,869	0,000 ‡
69.	266,7	39,994	1,0211	2,048	4,5	-1,1E-05	4 ₃₀ →	278,873	0,001 ‡
70.	268,0	40,023	1,0211	2,048	8,1	8,0E-05	8 ₃₀ ↗	278,870	0,001 ‡
71.	269,2	40,002	1,0212	2,048	3,2	-2,8E-06	3 ₃₀ ↗	278,869	0,001 ‡
72.	270,4	40,007	1,0211	2,048	13,2	-1,9E-05	14 ₃₂ ←	278,871	0,001 ‡
73.	286,6	29,977	1,0287	2,048	5,2	-2,5E-05	5 ₃₁ ⇌	278,589	0,001 ‡
74.	288,2	29,966	1,0288	2,048	3,5	3,4E-05	3 ₃₀ ↑	278,586	0,001 ‡
75.	289,5	29,966	1,0288	2,048	4,1	3,4E-05	4 ₃₀ ↓	278,587	0,002 ‡
76.	290,7	29,978	1,0287	2,048	4,1	2,5E-05	4 ₃₁ ⇌	278,588	0,001 ‡
77.	292,0	29,985	1,0288	2,048	4,1	2,1E-05	4 ₂₉ ↗	278,586	0,000 ‡
78.	293,2	29,987	1,0287	2,048	3,2	3,4E-05	3 ₂₉ ↓	278,587	0,000 ‡
79.	309,1	19,947	1,0363	2,048	4,0	-6,1E-05	4 ₃₁ →	278,308	0,001 ‡
80.	310,9	19,924	1,0363	2,048	7,8	3,1E-05	8 ₃₀ ↗	278,305	0,000 ‡
81.	312,2	19,906	1,0363	2,048	15,3	4,9E-05	16 ₃₀ ⇌	278,306	0,000 ‡
82.	313,6	19,903	1,0363	2,048	3,9	8,0E-05	4 ₅₂ ↗	278,308	0,000 ‡
83.	315,0	19,893	1,0363	2,048	3,3	-3,1E-05	3 ₃₀ ↗	278,307	0,000 ‡
84.	316,3	19,957	1,0362	2,048	6,1	2,0E-05	6 ₃₀ ↗	278,309	0,001 ‡
85.	332,6	9,919	1,0433	2,048	4,1	1,4E-04	4 ₃₀ ↗	278,041	-0,006 ‡
86.	334,4	9,934	1,0433	2,048	24,5	0,0026	26 ₃₁ ↗	278,048	0,001 ‡
87.	341,1	9,950	1,0435	2,048	5,3	1,4E-04	5 ₂₉ ↓	278,040	-0,001 ‡
88.	343,6	10,019	1,0436	2,048	22,6	-2,6E-04	25	278,038	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 Wägwertezahl und Trend angezeigten Symbolen, *F_A* Gewicht des Messkörpers in der Probe (Roh-wert der Auftriebskraft) [mN], *F_{korrr.}* zuvor gemessene Referenzkraft - d.h. bei abgetrenntem Messkörper mit berechneter Korrektur der Auftriebskraft der austauchenden Suspensionslänge [mN].

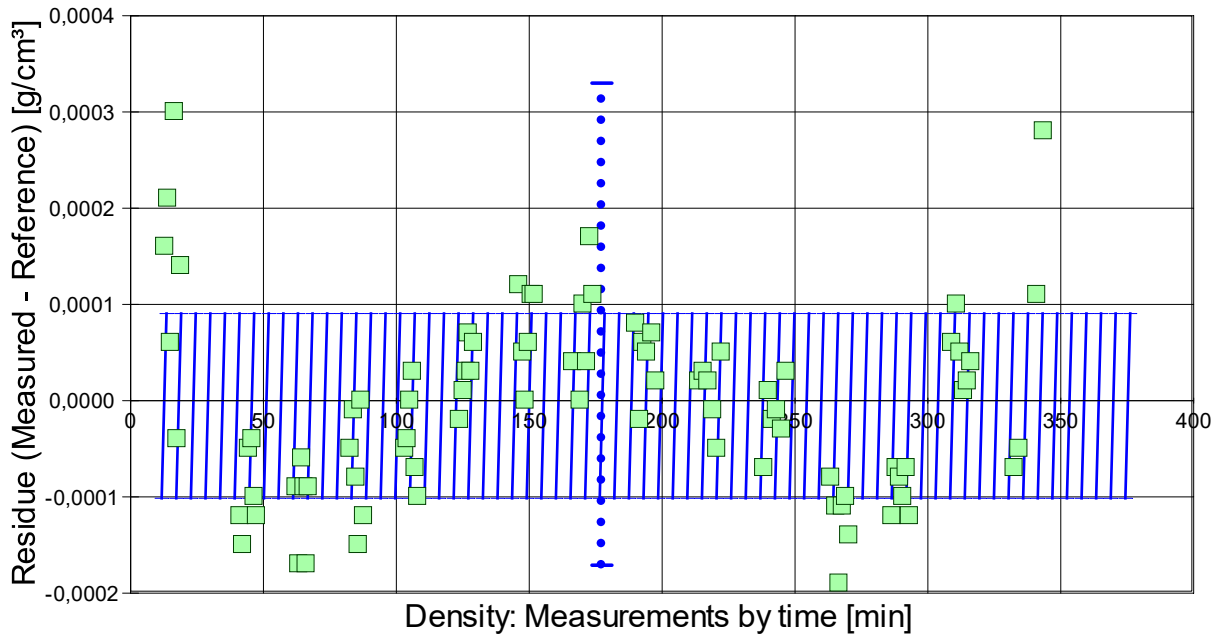
- Die 'Nullhöhe' ist die vertikale Position zu der der Messkörper just auf dem Gefäßboden oder Podest steht (*H*=0mm). Die zu *F_{korrr.}* nachgestellten Zeichen "°" oder "‡" symbolisieren die jeweils angewandten Mess- und Korrekturverfahren ("°" für Dichtemesswerte nach klassischem Verfahren, "‡" für 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 *Propylene glycol* wird in den Diagrammen unten dargestellt. Die Abbildung der Differenzwerte entspricht der zeitlichen Abfolge der Messwerte. Unterhalb zeigt eine tabellarische Aufstellung den Vergleich zum angegebenen Ergebnis.

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

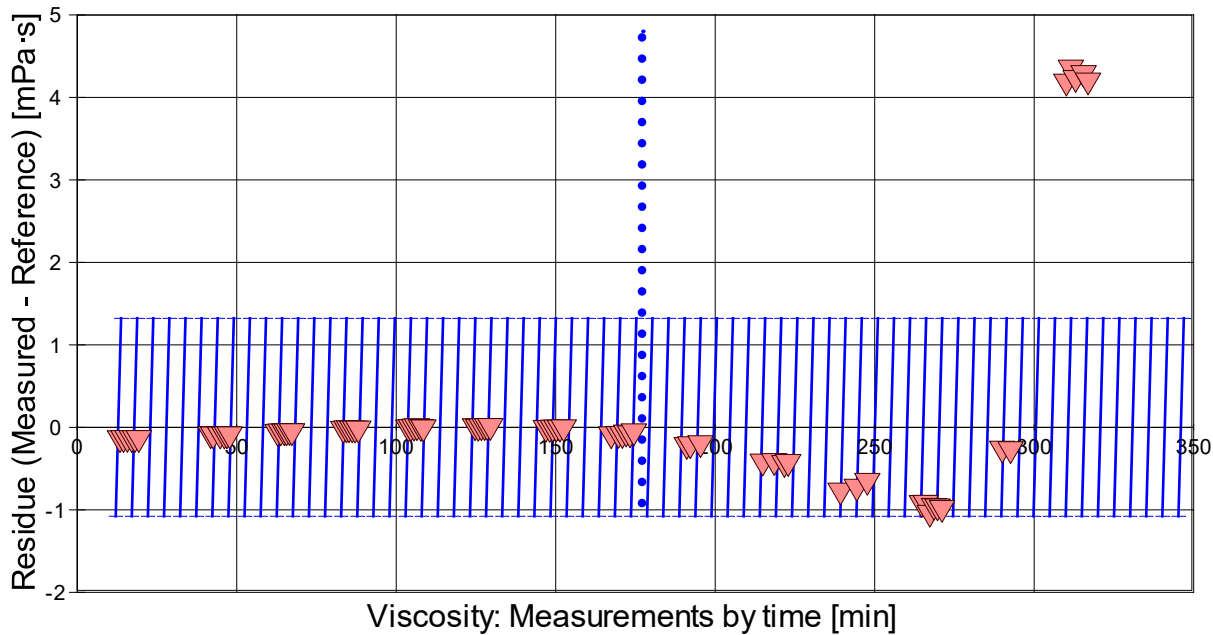
Referenzabweichung der Dichtemesswerte - 'rho-Residuen'



Reference values for 'Propylene glycol' acc. to $f(T[°C])=1.05029 - 68.65 \cdot T/1E5 - 0.09778 \cdot T^2/1E5$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $-5,45E-06 \pm 9,6E-05$ g/cm³, relative: -5,5 ppm at a spread of 97 ppm

- 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 'Propylene glycol' acc. to $f(T[°C])=172 \cdot \exp(-0.0593 \cdot T + 1.68E-4 \cdot T^2)$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $0,122 \pm 1,2$ mPa·s, relative: +2,4% at a spread of 23%

- 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 schraffiert eingezeichnet ist.

• 5.1 Ergebnisvergleich mit der Referenz Propylene glycol bei 75°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
ρ	0,9933	0,9933	$\pm 0,0000$ g/cm ³	---	@
$-\Delta\rho/\Delta T$	0,0008	0,0008	$\pm 0,0000$ g/cm ³ ·K ⁻¹	---	@
	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
η	5,18	5,16	-0,02 mPa·s	0,4%	2
$-\Delta\eta/\Delta T$	0,18	0,18	$\pm 0,00$ mPa·s·K ⁻¹	---	@

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'PROPYLENE GLYCOL' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol η steht für die Messgröße, $-\Delta\eta/\Delta T$ für die absolute Änderung bei einem Grad Temperaturabnahme (bei 75°C); die Zahl zu "Δ u" gibt ggf. an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit. Das Zeichen "@" bringt zum Ausdruck, dass bei der Messgröße kein signifikanter Unterschied zwischen Mess- und Referenzwert auftritt.

• 6. ANGABEN ZUR KONFIGURATION

a). **Messkörper:** Name **BayStII_13.0/Au**, b). IdentN° 7046, c). Spaltweite 1,495 mm.

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

f). **Messkörperdaten:** Messzylindermasse 32,5795 ± 0,0001 g, ~volumen 4,060751 ± 0,00051 cm³, ~durchmesser 13,011 ± 0,001 mm, ~länge 43,002 ± 0,001 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 48,735·10⁻⁶K⁻¹. g).

Messzylindersuspension: Querschnitt 0,003 mm², Umfang 0,19 mm, h). Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (drift- und fehlerfreie Dichtemessung).

i). **Behälter/Röhre:** Durchmesser 16,0005 ± 0,005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 9,2·10⁻⁶K⁻¹.

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

k). **Kinetische Energie:** Faktor Zeta: $\zeta = 1,35$.

Individuelle Werte: l). Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: 71,9 mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: 28,9 mm.

m). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die relative Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus der Standardmessunsicherheit der Ausgleichsfunktion ermittelt und beträgt 3,8%; die n). Messunsicherheit der Dichte (± 0,00012 g/cm³) stammt von Unsicherheitsangaben zu Messkörpervolumen und -masse sowie der Kraft- und der Temperaturmessung.

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

System control

1. 'Curve at 198,6 min (N°52) failed' - force below limit (0,01 mN).
2. 'Curve at 240,7 min (N°57) failed' - force below limit (0,01 mN).
3. 'Curve at 287,6 min (N°65) failed' - force below limit (0,01 mN).
4. 'Curve at 288,8 min (N°65) failed' - force below limit (0,01 mN).
5. 'Curve at 291,3 min (N°66) failed' - force below limit (0,01 mN).
6. 'Curve at 293,8 min (N°67) failed' - force below limit (0,01 mN).
7. 'Curve at 314,2 min (N°70) failed' - force below limit (0,01 mN).
8. Insgesamt 7 x falsche Ansteuerungen im Meniskuseliminierverfahren (Meniskusstartposition), bei den Minutenzeiten 83,5 und 121,7 und 144,9 und 213,8 und 287,2 und 310,2 und 331,9 Minuten.
9. Insgesamt 1 x falsche Ansteuerungen im Meniskuseliminierverfahren (Position der Auftriebsmessung), bei den Minutenzeiten 190,2 Minuten - die mutmaßlich 'wahre Dichte' ist kleiner als dort gemessen!

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

Programm

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

(the digital twin of process IDN°16190 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured basal raw data)

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZA224) wurde im Messablauf und bereits 1,0 Stunden vor dieser Messung 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 ±0,0051[K], R° 100,0018[Ohm], AutoCal 30[min] (BN°2, -25/150°C, 4S, FS15, Offset: -0,0226). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.1.12, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

Justierung der Wägezelle während der Messung:

at 251,6 min, Adjustment -0,0013 g

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

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m ³]
11,0	47,91	25,2	94,844	1,1008
34,1	47,31	25,4	94,874	1,10043
62,0	47,15	25,8	94,889	1,09908
82,3	46,81	25,9	94,89	1,09862
102,9	46,64	26,02	94,90	1,09848

123,4	46,43	26,04	94,90	1,09842
144,5	46,28	26,10	94,921	1,09844
166,0	46,096	26,22	94,941	1,09821
188,0	46	26,3	94,940	1,09801
213,7	46,56	26,46	94,968	1,09748
238,0	46,6	26,61	94,971	1,0969
263,2	44,6	26,6	94,985	1,09742
286,2	42,29	26,48	94,982	1,09822
308,8	43,27	26,59	94,988	1,09769
331,9	44,07	26,65	94,993	1,09739

Obige Zusammenstellung gibt die Aufzeichnung der Atmosphären Daten 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:

*- **Problem bei $T < 20^\circ\text{C}$: Mess-Geschwindigkeit und -Strecke werden zu klein, da wegen der CS-Anpassung ("konstante Schubspannung"), die mit abnehmender Temperatur einher geht, Messstrecke und Geschwindigkeit bei 10°C zu klein, zu kurz. Daher wird die Gleichung unterhalb von 30°C sehr ungenau;**

*- **Die Re (Reynoldszahl) durchläuft fünf Größenordnungen.**

*- **Auswertung: Sehr große Temperaturspanne für eine Gesamtauswertung - nicht gut geeignet für eine präzise Arrhenius-Gleichung. Werte bei 10°C ausgeblendet - ggf. hier Vogel-Fulcher-Tammann-Gleichung (VFT) Ansatz für PG angemessener.**

*- **KI Recherche (Grok, ChatGPT'1/26) erbrachte in Stichproben eine sehr gute Kohärenz mit Literaturwerten.**

*- **Der VI (Viskositätsindex) von ~ 144 bestätigt, dass Propylenglykol eine sehr gute Viskositäts-Temperatur-Stabilität aufweist (besser als viele Standard-Hydrauliköle).**

(*- Messung bei hoher Temperatur begonnen, um ggf. Restfeuchtigkeit auszutreiben.)

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

.....