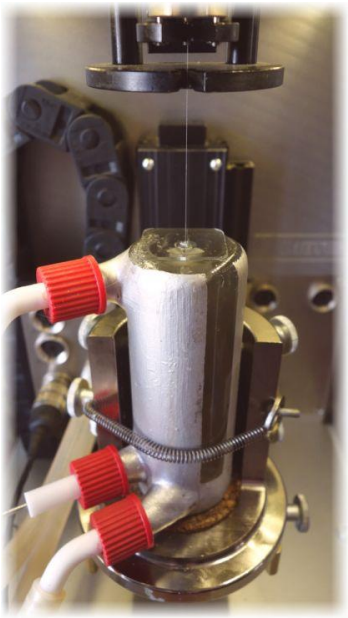
Rheometer-Funktion / „Random Rates“

Rheologie einer Natriumlaurylsulfat - Lösung



Dieses Beispiel dokumentiert die Messung der Viskosität in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit – jedoch nicht mit ansteigender oder abfallender Rate – sondern mit *zufälligen Scherraten*. Das ist eine der Techniken, die Wirklichkeit von Stoffen zu verstehen, indem eine mögliche Hysterese ausgeblendet wird. In der Tabelle 1 sind die wesentlichen Kennzahlen hierzu.

Bei der Probe handelt es sich um die Lösung eines Standardtensids in Wasser. Die Konzentration von 10 g pro Liter entspricht ungefähr dem Vierfachen der CMC (kritische Mizellen Konzentration). Rheologisch bemerkenswert ist die das Nicht-Newtonische Verhalten bei sehr kleinen Schergeschwindigkeiten.

Es zeigt sich das Rheogramm angenähert Newton‘sch, wenn der Probe eine *Fließgrenze* von 1.7 mPa zugerechnet wird (Die Offset-Korrektur F_Θ wird auf 0,0032 mN eingestellt. *Yield Stress* = F_Θ / Mantelfläche des Zylinders). Am Ende dieses Dokuments sind dazu zwei unter dieser Vorgabe berechnete Diagramme wiedergegeben.

IMETER

IMETER V.5.0 rev.26

ID N° 14956 - DiVA-Method: Rheological Measurement

Title: **SDS-Solution 10.4g/L (rheo random)**
Remarks:
Solution of 98.7038 g Water + 1.0444 g SDS 99+%

Sample/Ref.: **Wasser**

-------- Results for **25,04°C** ----------

Viscosity: $\eta_{(100/s)}$ = 0,9751 ±0,098 mPa·s, v = 0,977 cSt
Flow behavior index 0,9316 (93 shear rates: 0,083 - 537/s)

Density: ρ = 0,99854 ±0,000083 g/cm³

Report

Hinweis: *Dieser Bericht ist mit Kommentierungen versehen. - Die Erklärungen sind formatiert wie dieser Text. - -- Zunächst eine kurze Beschreibung zum Prinzip der Messung:*

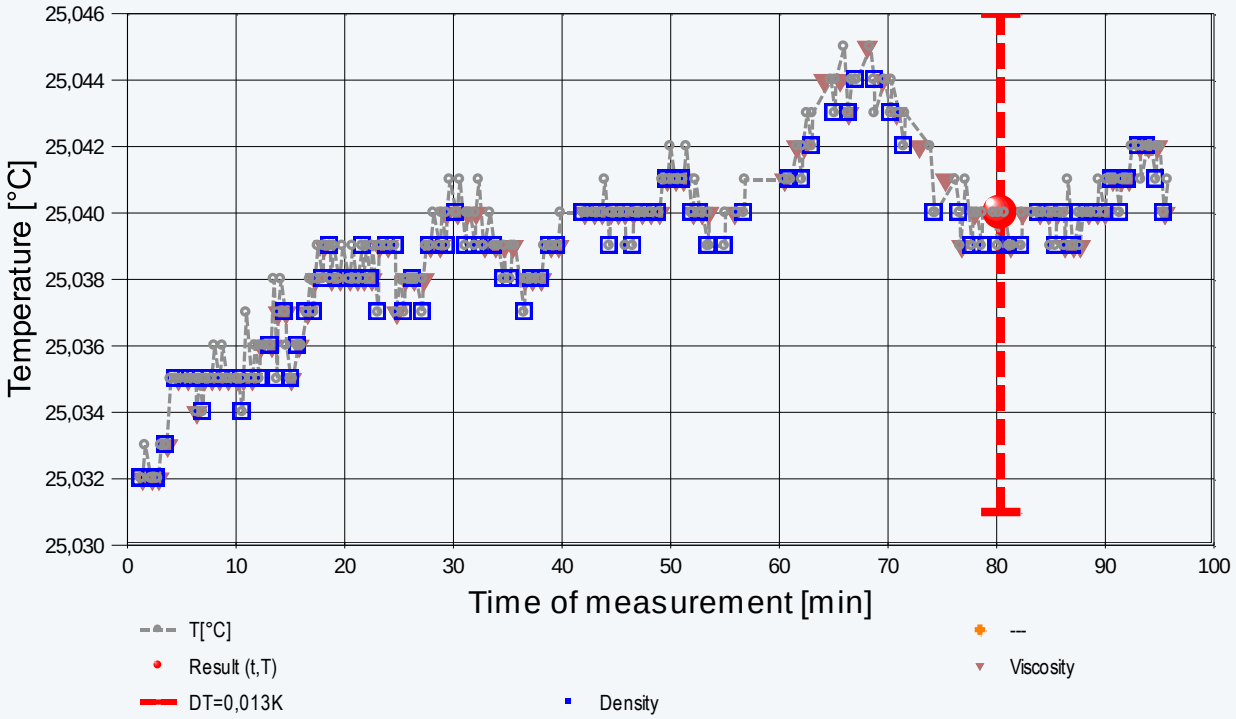
• 1. M E S S P R I N Z I P

Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen mit einem geraden Kreiszylinder (=Messkörper), der sich konzentrisch in einer Röhre mit der Probe befindet. Dabei ist der Messkörper über die Aufhängung an einer Wägezelle angeschlossen. Die *Röhre* ist auf einem Plattform koaxial-konzentrisch zum Messkörper ausgerichtet. Wird die Plattform - also die Röhre - bewegt, so fließt Probe durch den ringförmigen Spalt zwischen Messkörper und Röhre. Dadurch wirkt auf den Messkörper eine zusätzliche Kraft, die durch Strömung und Zähigkeit der Probe hervorgerufen wird. - Über die Beweggeschwindigkeit ergibt sich aus der Geometrie von Röhre und Messzylinder eine entsprechende Zwangsströmung durch den Ringspalt. Strömung, Kraft, Geschwindigkeit und geometrische Verhältnisse gehorchen der analogen Form des Hagen-Poiseuille'schen Gesetzes für Ringspalte und erlauben unter Berücksichtigung von Aufhängung, Auftriebseffekten und der Strömungskinetik eine ungewöhnlich exakte Berechnung der absoluten Viskosität für Newtonsche Fluide. Für nicht-Newtonschen Flüssigkeiten wird unter gleicher Berechnung die sog. *scheinbare Viskosität* erhalten.Im Unterschied zu analog funktionierenden Rotationsviskosimetern bzw. Rheometern (mit konzentrischen Zylindern) ist das zur Messung gescherte Fluidvolumen genau festgelegt und betrifft dieses über eine nur sehr kurze und definierte Messzeit.

Über die Variation der Beweggeschwindigkeit ist die Rheometerfunktion angesprochen - d.h. die Messung der 'Viskosität' in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit. Dem hier durchmessenen Bereich 0,083 bis 537,43 /s kommt technisch die Bedeutung von *Oberflächenverlauf* bis etwa *Pumpen, starkem Rühren* zu.
Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte *(spezifische Masse, Massekonzentration)* gibt das Verhältnis von Masse zu Volumen an. Sie ist ebenfalls eine temperaturabhängige Stoffkonstante. Die Dichte wird in diesem Verfahren nach der Auftriebsmethode (hydrostatische Wägung) bestimmt: *"Ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper (Messkörper) erscheint um soviel leichter, wie die, seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt."* Damit aus der Auftriebskraft der Dichtewert definitiv berechnet werden kann, ist die Bestimmtheit des von Temperatur und Druck abhängenden Messkörpervolumens evident - entsprechendes gilt hinsichtlich der geometrischen Verhältnisse und der Geschwindigkeit für die Viskositätsmessung -

• 2. Ü B E R S I C H T

Dichte und Viskosität wurden 100 mal gemessen.
Messdauer zwei Stunden; Temperaturverlauf im gesamten Zeitraum nicht immer isotherm bei 25,04°C.
¬ *Diagramm 1 -*



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

• 3. V I S K O S I T Ä T S - M E S S U N G

Temperaturangabe der rheologischen Messung: 25,039 ±0,003 °C, Zeitbereich: 1,4 bis 95,5 Minuten.
Die 100 *Viskositätsmesswerte* wurden mit 93 unterschiedlichen Scherraten ($\dot{\gamma}$) ermittelt. Diese überdecken den Bereich von 0,083 bis 537,43 s^{-1} wobei die *scheinbare* Viskosität (η') Werte zwischen 0,948 bis 3,32 mPa·s erreicht.

Die Ergebnisangabe der Messung (0,9751 ±0,098 mPa·s) ist für $\dot{\gamma}$=100 s^{-1} angegeben; sie wird aus der folgenden Regressionsgleichung bestimmt:

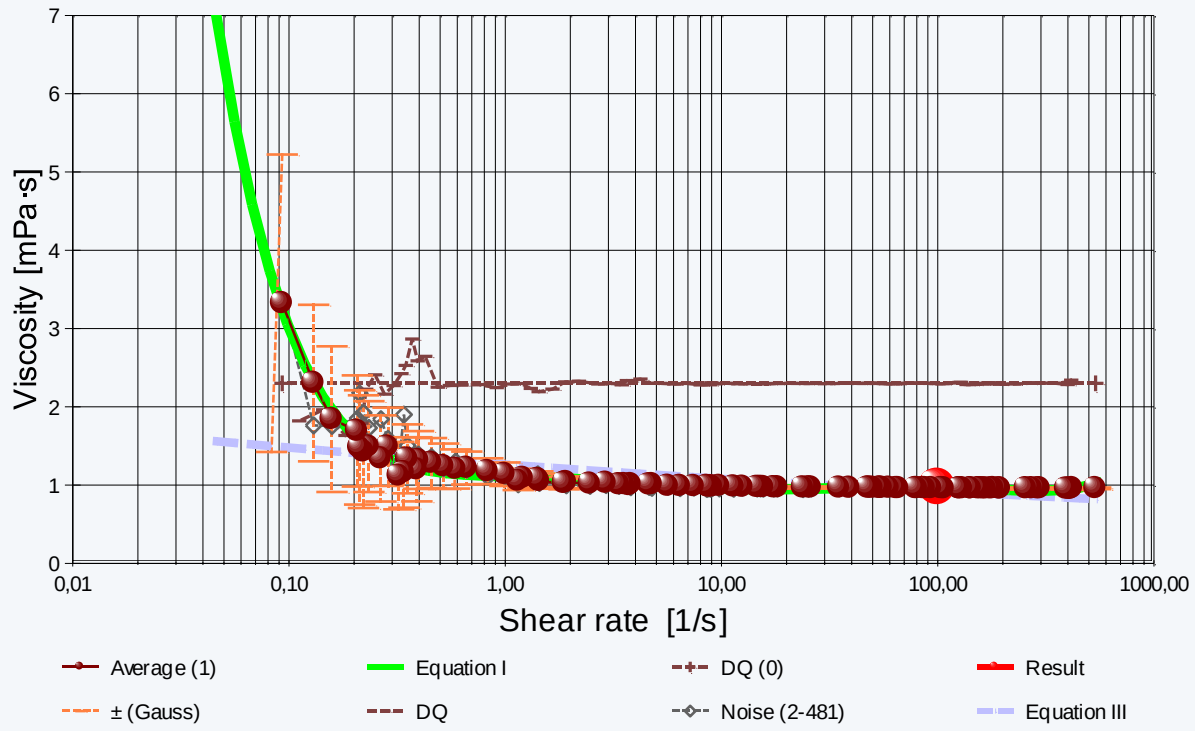
$$\eta'_{25,039°C}\,[\text{mPa·s}] = f(\dot{\gamma}[1/s]) = 1{,}1129 - 0{,}034088\cdot\ln(\dot{\gamma}) + 5{,}6964\cdot10^{-3}\cdot\ln(\dot{\gamma})^2 - 0{,}048253\cdot\ln(\dot{\gamma})^3 + 0{,}027937\cdot\ln(\dot{\gamma})^4 - 5{,}5012\cdot10^{-3}\cdot\ln(\dot{\gamma})^5 + 3{,}6068\cdot10^{-4}\cdot\ln(\dot{\gamma})^6$$

Gleichung I, r^2= 0,978, $s_{rel.}$= ±3,87%

Die Regressionsgleichung steht für die Abbildung der Wertemenge; Der Ausdruck η(x) = 1,1129 -0,034088 log(x) +5,6964E-3* log(x)^2 -0,048253* log(x)^3 +0,027937* log(x)^4 -5,5012E-3* log(x)^5 +3,6068E-4* log(x)^6 kann z.B. hier heraus kopiert und z.B. in Excel eingefügt werden, um diese "Eigenschaft" (in den Grenzen der Scherraten) für Simulationen oder Diagramme zu verwenden. Wegen mitunter sehr großen Spannen der Viskositätswerte wird hier zur Qualitätsangabe der Regressionsgleichung die mittlere relative Standardabweichung der Messwerte zur Regressionsgleichung verwendet: $s_{rel.}$=100%·√s² / x (Wurzel der Varianz durch Mittelwert Mal 100%) = 3,87%. Für den Angabewert entspricht diese Streuung ±0,038 mPa·s. Aus der Gleichung wird der Gradient - d.h. die Änderung der Viskosität mit einer Änderung der Schergeschwindigkeit um eine Einheit für den Ergebniswert angegeben, er beträgt in Richtung zunehmender Deformation absolut -2,7E-4 mPa s², bzw. relativ, wie angegeben, -0,28‰.*

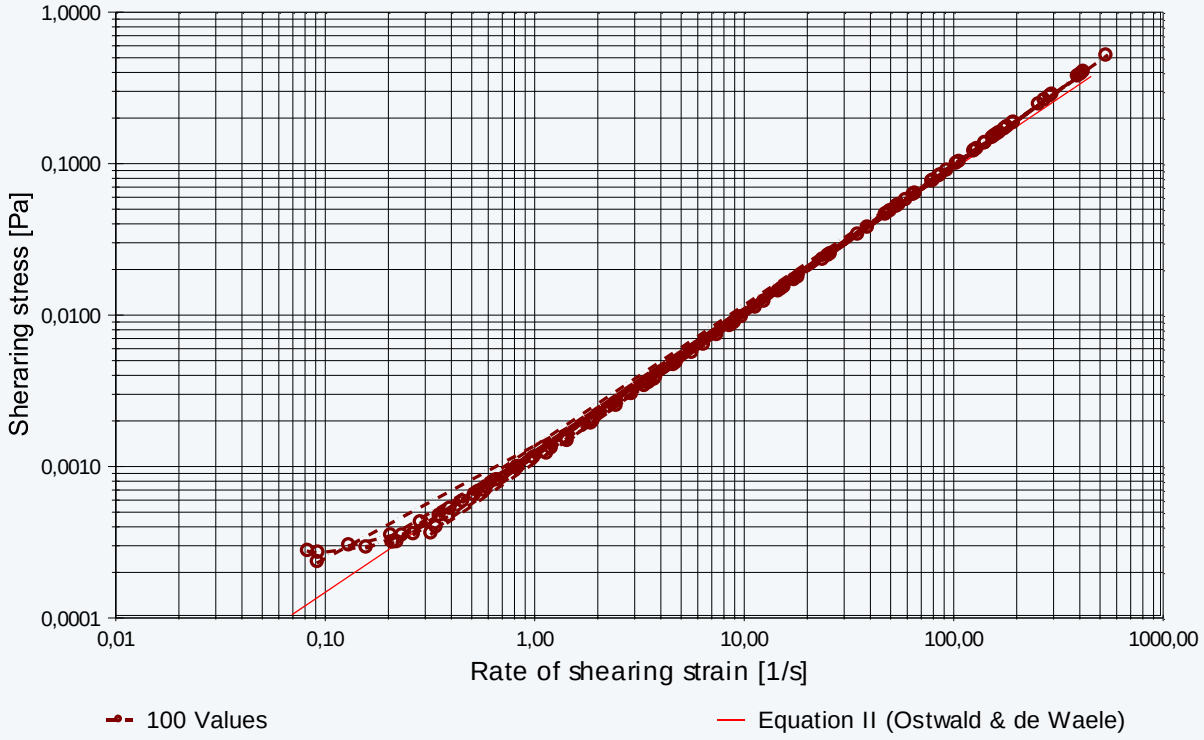
Der mittlere relative Fehler aus der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung der geometrischen und sensorischen Unsicherheiten bzgl. Zylinder, Röhre, Geschwindigkeit und der jeweils gemessenen Kräfte beträgt 10 % und für den Angabewert damit 0,098 mPa·s.
Zum Angabewert bei 100 s^{-1} beträgt der relative Gradient -0,28‰, hier liegt Strukturviskosität vor. Neben dem Fließindex wird dieser Umstand auch durch den Mittelwert der numerisch berechneten Differenzenquotienten von η' und $\dot{\gamma}$ bestätigt: $\Delta\eta'/\Delta\text{Ln}(\dot{\gamma})$ = -0,101.

¬ *Diagramm 2 -*



Das Diagramm 2, "Visko-kurve", oben, zeigt die Viskositätswerte als kugelförmige Markierungen. Senkrechte gestrichelte Linien markieren den sie umgebenden Bereich der Fehlerfortpflanzung ('± (Gauss)'). Der numerische Differenzenquotient ('DQ'), der die Änderung der η'-Kurvensteigung mit der Schergeschwindigkeit zum Ausdruck bringt, ist mit Linien eingezeichnet und dem Nullbezug ('DQ (0)') in gleicher Markierungsart gezeichnet <ohne Ordinatenbezug skaliert>; der Wertebereich umfasst -8,83 bis 6,69 Einheiten. Mit rautenförmigen Marken wird eine verborgene Qualität der Messwerte dargestellt: 'Noise' bzw. "Rauigkeit". Sie ergibt sich aus den absoluten Differenzenqutotienten, der einem Viskositätswert zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte in der (stationären) Messkurve. Je größer dieser Wert ist, desto deutlicher sind Sprünge in der Messkraft aufgetreten. Hier betragen die Extemwerte (ordinal skaliert) 2,20 und 481µN/m (auch µJ/m² - in der Dimension einer Flächenenergie). Spitzenwerte zeigen somit eine Deformation an, bei der die Probe besonders "körnig" wirkt. -- Die zwei Regressionsgraphen nach Gleichung I und Gleichung III zeigen im Diagramm die mathematischen Näherungen an die Messwerte.

¬ *Diagramm 3 -*



Die dynamische Viskosität ist definiert als das Verhältnis von Schubspannung zu Schergeschwindigkeit "η = τ / γ"; sie ist für newtonsche Fluide für alle Verhältnisse von τ und γ konstant. - Das Diagramm 3,"Fliesskurve", oben, zeigt die Lage der einzelnen Messwerte in den Koordinaten von Schergeschwindigkeit und Schubspannung dargestellt. Der Verlauf markiert die sog. Fließkurve. Zu den Werten ist die Regressionsfunktion (Gleichung II)

gemäß dem Potenzgesetz - bzw. dem Fließgesetz nach W. Ostwald und de Waele in 'Fehlerbreite' eingezeichnet.

Konsistenz (1,26 mPa·s) und *Fließindex* (0,9316) ergeben sich aus dem Ostwald & de Waele Fließgesetz *konventionell* aus der Gleichung von Schubspannung (τ) und Scherung (γ):

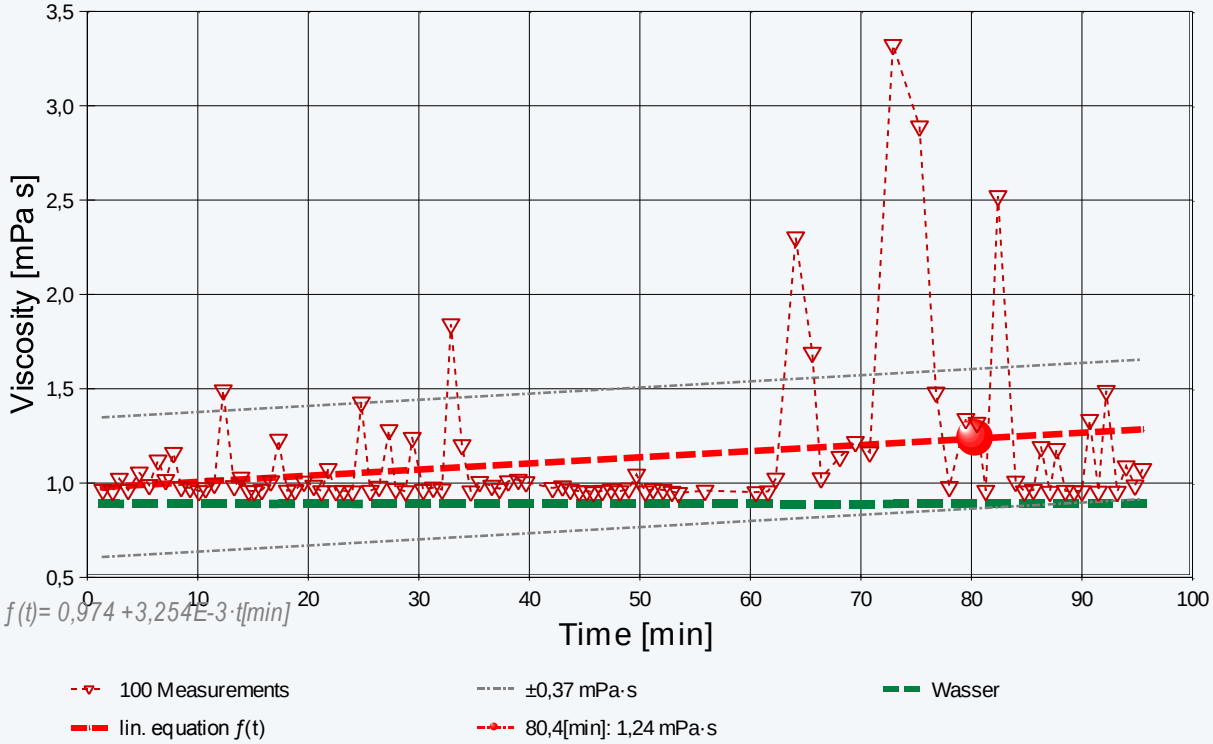
τ [Pa] = $1{,}264 \cdot 10^{-3} \cdot \gamma^{\cdot\,(0{,}9316)}$ Gleichung II, r^2= 0,9977

Es ergibt sich daraus die Gleichung III zur - im Vergleich mit Gleichung I - weniger präzisen Beschreibung der Viskosität als Funktion der Scherung:

η' [mPa·s] = $1{,}264 \cdot \gamma^{\cdot\,(-0{,}06844)}$ Gleichung III, $s_{rel.}$= ±13,7%

<Bitte beachten: die automatisch erzeugten Texte und Gleichungen sind grundsätzlich mit Vorsicht zu betrachten. Die hier aufbereiteten Messdaten sind von einem Fachmann zu sichten und zu kommentieren.>

¬ ***Diagramm 4 -***



Im Diagramm 4, "eta-ƒ(t)" sind die einzelnen Messwerte als Dreiecke in zeitlicher Sequenz abgebildet. - Die Darstellung zeigt die Viskositätswerte entsprechend der Chronologie der angewendeten Scherraten. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Bereich der Unsicherheit eingezeichnet. Referenzwerte werden temperaturgetreu bei der jeweiligen Zeit dargestellt.

• 3.1. Tabelle 1, Daten der Viskositätsmessung

Die gegebenen Zusammenhänge beruhen auf Ableitungen der ermittelten Messdaten - Tabelle 1 stellt dazu Eingangs- und Ergebnisdaten zur Verfügung.

N°	*t*	*T*	*η*	.	v_z	F_z	.	*τ*	$v_{max.}$	$\dot{\gamma}$	*Re*
1.	1,4	25,032	0,9645		1,454	0,8041		0,04654	10,45	48,257	12,7
2.	2,3	25,032	0,9589		12,626	6,9426		0,4018	90,75	419,07	111
3.	2,9	25,032	1,02		0,0433	0,0254		1,47E-3	0,311	1,438	0,36
4.	3,7	25,033	0,9635		1,662	0,9185		0,05316	11,95	55,178	14,6
5.	4,7	25,035	1,06		0,0346	0,0209		1,21E-3	0,249	1,148	0,28
6.	5,6	25,035	0,990		0,171	0,0969		5,61E-3	1,23	5,663	1,5
7.	6,4	25,034	1,1		0,0097	0,0062×		3,6E-4	0,07	0,322	7E-2
8.	7,1	25,035	1,02		0,0743	0,0433		2,51E-3	0,534	2,467	0,62
9.	7,8	25,035	1,2		0,0103	0,0068×		3,9E-4	0,074	0,340	7E-2
10.	8,5	25,035	0,980		0,263	0,1476		8,54E-3	1,89	8,723	2,3
11.	9,3	25,035	0,974		0,457	0,2550		0,0148	3,28	15,16	4,0
12.	10,1	25,035	0,9582		8,946	4,9152		0,2845	64,29	296,91	78,8
13.	10,7	25,035	0,973		0,471	0,2625		0,0152	3,38	15,62	4,1
14.	11,5	25,035	0,997		0,113	0,0646		3,74E-3	0,813	3,752	0,96
15.	12,3	25,036	1,5		0,0071	0,0060×		3,5E-4	0,051	0,234	4E-2
16.	13,3	25,036	0,984		0,225	0,1270		7,35E-3	1,62	7,465	1,9
17.	13,9	25,037	1,03		0,0570	0,0336		1,95E-3	0,410	1,892	0,47
18.	14,6	25,037	0,9591		16,192	8,9057		0,5155	116,4	537,43	142
19.	15,1	25,035	0,9585		5,452	2,9967		0,1735	39,19	180,96	48,0
20.	15,8	25,036	0,9640		1,619	0,8952		0,05181	11,64	53,749	14,2

21.	16,6	25,037	1,01	0,115	0,0665	3,85E-3	0,825	3,810	0,96
22.	17,3	25,038	1,2	0,0178	0,0125×	7,3E-4	0,13	0,590	0,1
23.	18,1	25,039	0,9596	3,128	1,7212	0,09962	22,48	103,82	27,5
24.	18,8	25,038	0,9629	1,794	0,9903	0,05732	12,89	59,527	15,7
25.	19,6	25,038	1,01	0,106	0,0611	3,53E-3	0,760	3,508	0,89
26.	20,5	25,038	0,986	0,194	0,1097	6,35E-3	1,39	6,441	1,7
27.	21,2	25,038	0,9565	8,211	4,5038	0,2607	59,01	272,53	72,4
28.	21,8	25,038	1,08	0,0427	0,0263	1,52E-3	0,307	1,418	0,34
29.	22,5	25,038	0,9583	4,760	2,6155	0,1514	34,21	157,98	41,9
30.	23,2	25,039	0,9593	2,816	1,5490	0,08966	20,24	93,466	24,8
31.	24,0	25,039	0,9564	7,713	4,2302	0,2448	55,44	256,02	68,1
32.	24,8	25,037	1,4	0,0067	0,0054×	3,2E-4	0,048	0,221	4E-2
33.	25,6	25,038	0,959	2,420	1,3313	0,0771	17,4	80,32	21
34.	26,4	25,038	0,981	0,273	0,1535	8,89E-3	1,96	9,064	2,4
35.	27,3	25,038	1,3	0,0137	0,0101×	5,8E-4	0,099	0,456	9E-2
36.	27,9	25,039	0,969	0,719	0,3993	0,0231	5,17	23,86	6,3
37.	28,8	25,039	0,9568	4,641	2,5465	0,1474	33,36	154,04	40,9
38.	29,4	25,040	1,2	0,0156	0,0111×	6,4E-4	0,11	0,519	0,1
39.	30,4	25,040	0,9641	1,631	0,9016	0,05219	11,72	54,131	14,3
40.	31,3	25,040	0,976	0,377	0,2111	0,0122	2,71	12,52	3,3
41.	32,1	25,040	0,966	1,057	0,5855	0,0339	7,60	35,08	9,2
42.	32,9	25,039	1,8	0,0048	0,0050×	2,9E-4	0,034	0,158	2E-2
43.	33,9	25,039	1,2	0,0118	0,0081×	4,7E-4	0,085	0,390	8E-2
44.	34,7	25,039	0,9560	8,739	4,7906	0,2773	62,81	290,05	77,1
45.	35,5	25,039	1,01	0,140	0,0805	4,66E-3	1,00	4,631	1,2
46.	36,6	25,038	0,986	0,258	0,1460	8,45E-3	1,86	8,572	2,2
47.	37,3	25,038	0,970	0,548	0,3050	0,0177	3,94	18,19	4,8
48.	38,1	25,038	1,01	0,144	0,0833	4,82E-3	1,03	4,774	1,2
49.	39,0	25,039	1,02	0,107	0,0624	3,61E-3	0,768	3,548	0,89
50.	39,7	25,039	1,01	0,107	0,0618	3,58E-3	0,770	3,556	0,90
51.	42,1	25,040	0,974	0,441	0,2465	0,0143	3,17	14,64	3,8
52.	43,0	25,040	0,983	0,268	0,1512	8,75E-3	1,93	8,905	2,3
53.	43,7	25,040	0,9647	1,434	0,7931	0,04591	10,31	47,590	12,5
54.	44,5	25,040	0,9567	3,811	2,0907	0,1210	27,39	126,48	33,6
55.	45,2	25,040	0,9585	2,627	1,4437	0,08356	18,88	87,180	23,1
56.	45,8	25,040	0,9518	12,175	6,6447	0,3846	87,50	404,09	108
57.	46,6	25,040	0,959	2,389	1,3134	0,076	17,2	79,31	21
58.	47,4	25,040	0,968	0,782	0,4343	0,0251	5,62	25,97	6,8
59.	48,2	25,040	0,9575	3,220	1,7678	0,1023	23,14	106,86	28,4
60.	49,0	25,040	0,971	0,526	0,2929	0,017	3,78	17,46	4,6
61.	49,7	25,041	1,04	0,0577	0,0346	2,00E-3	0,415	1,917	0,47
62.	50,5	25,041	0,9559	4,293	2,3532	0,1362	30,85	142,49	37,9
63.	51,2	25,041	0,969	0,762	0,4235	0,0245	5,48	25,30	6,6
64.	52,1	25,040	0,9641	1,509	0,8345	0,0483	10,85	50,099	13,2
65.	52,9	25,040	0,9542	5,020	2,7467	0,1590	36,08	166,61	44,4
66.	53,5	25,040	0,9483	12,351	6,7163	0,3887	88,77	409,93	110
67.	55,9	25,040	0,960	1,945	1,0705	0,062	14,0	64,54	17
68.	60,5	25,041	0,9523	11,861	6,4770	0,3749	85,25	393,68	105
69.	61,6	25,042	0,9557	4,905	2,6881	0,1556	35,25	162,80	43,3
70.	62,3	25,042	1,02	0,0563	0,0331	1,92E-3	0,405	1,870	0,46
71.	64,1	25,044	2,3	0,0039	0,0052×	3,0E-4	0,028	0,130	1E-2
72.	65,6	25,044	1,7	0,0062	0,0060×	3,5E-4	0,045	0,207	3E-2
73.	66,4	25,043	1,03	0,0881	0,0519	3,00E-3	0,633	2,925	0,72
74.	68,1	25,045	1,1	0,0300	0,0196×	1,1E-3	0,22	0,996	0,2
75.	69,5	25,044	1,2	0,0200	0,0140×	8,1E-4	0,14	0,664	0,1
76.	70,8	25,043	1,2	0,0250	0,0167×	9,7E-4	0,18	0,830	0,2
77.	72,9	25,042	3,3	0,0025	0,0048×	2,8E-4	0,018	0,083	6E-3
78.	75,3	25,041	2,9	0,0028	0,0046×	2,7E-4	0,02	0,093	8E-3
79.	76,8	25,039	1,5	0,0064	0,0054×	3,1E-4	0,046	0,212	4E-2
80.	78,0	25,040	0,980	0,343	0,1930	0,0112	2,47	11,40	3,0
81.	79,5	25,040	1,3	0,0080	0,0062×	3,6E-4	0,058	0,266	5E-2
82.	80,5	25,040	1,3	0,0120	0,0090×	5,2E-4	0,086	0,397	8E-2
83.	81,3	25,039	0,959	2,579	1,4177	0,0821	18,5	85,59	23
84.	82,4	25,040	2,5	0,0028	0,0040×	2,3E-4	0,02	0,0924	9E-3
85.	84,0	25,040	1,01	0,101	0,0586	3,39E-3	0,728	3,363	0,85
86.	84,8	25,040	0,9557	3,792	2,0779	0,1203	27,25	125,85	33,5
87.	85,6	25,040	0,9643	1,177	0,6506	0,03766	8,456	39,050	10,3
88.	86,3	25,039	1,2	0,0250	0,0171×	9,9E-4	0,18	0,829	0,2
89.	87,1	25,039	0,9543	5,862	3,2075	0,1857	42,13	194,55	51,8
90.	87,7	25,039	1,2	0,0175	0,0119×	6,9E-4	0,13	0,582	0,1
91.	88,5	25,040	0,959	1,984	1,0911	0,0632	14,3	65,85	17
92.	89,3	25,040	0,9570	3,914	2,1479	0,1243	28,13	129,91	34,5
93.	90,0	25,040	0,9570	4,278	2,3474	0,1359	30,74	141,98	37,7
94.	90,7	25,041	1,3	0,0106	0,0081×	4,7E-4	0,076	0,353	7E-2
95.	91,5	25,041	0,9554	5,823	3,1904	0,1847	41,85	193,28	51,4
96.	92,2	25,041	1,5	0,0086	0,0074×	4,3E-4	0,062	0,287	5E-2
97.	93,2	25,042	0,9540	5,311	2,9053	0,1682	38,17	176,27	47,0

98.	94,0	25,042	1,09	0,0364	0,0227	1,32E-3	0,262	1,208	0,28
99.	94,8	25,042	0,988	0,295	0,1669	9,66E-3	2,12	9,779	2,5
100.	95,5	25,040	1,08	0,0427	0,0263	1,52E-3	0,307	1,416	0,33

Tabellensymbole: ***t*** Zeitpunkt [min], ***T*** 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.

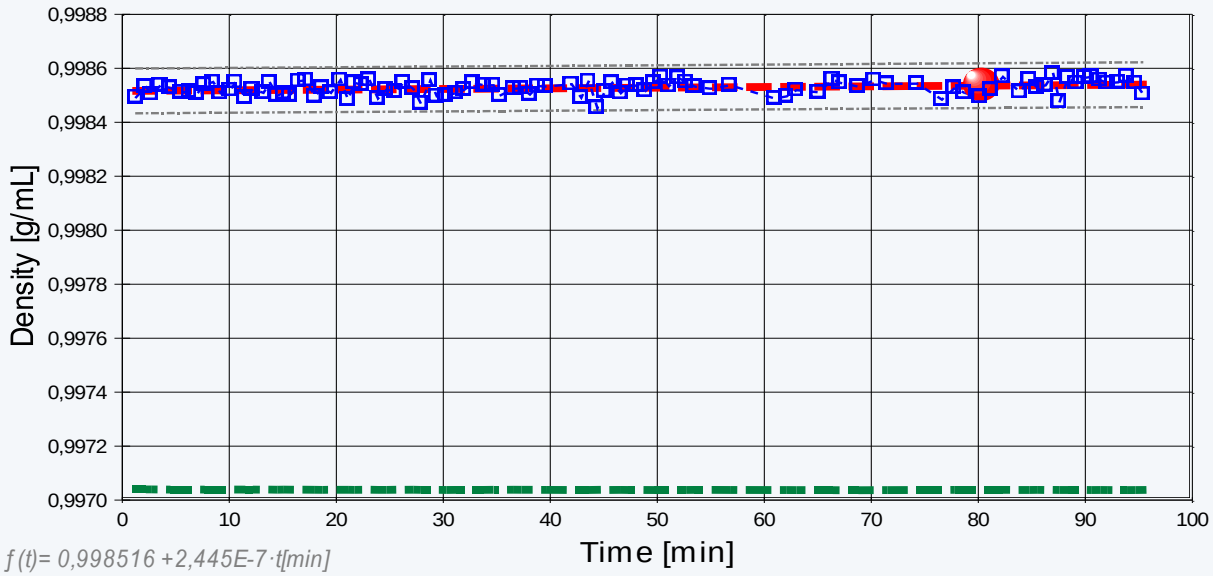
Tabelle 1 listet die wesentlichen Kennzahlen zu den einzelnen Messungen auf. Die zentrale Messgröße ist in der Spalte F_z angegeben, das ist die 'rein-viskose' Kraft und zentrale Größe für die Berechnung der Viskosität durch die IMETER-Ringspaltgleichung. Sie wird nach Korrekturen aus der stationären Kraft (F_w) erhalten. Berücksichtigt werden die Auftriebskräfte von Zylinder (F_ρ) und Aufhängung ($F_{h\rho}$), der geschwindigkeitsproportionale Druckverlusten durch die kinetische Energie und die Reibung in der Einlaufzone des Ringspaltes (F_ζ), die viskose Reibung (rekursiv) des/der Aufhängungsdrähte/Stäbe des Zylinders im Medium ($F_{h\eta}$) sowie einen konstanten Beitrags F_Θ der durch eine vorgegebene Fließgrenze, Benetzungskraft, Konvektion (...) begründet sein muss .
Die Korrektur der stationären Kraft ergeb sich damit aus $F_z = F_w - F_\rho - F_{h\rho} - F_\zeta - F_{h\eta} - F_\Theta$. Die Korrekturen können in einem erweiterten Berichtsformat (zuschaltbar) in allen Einzelheiten ausgegeben werden. Das Zeichen "×" kennzeichnet solche F_z-Werte, die eine (zu) große Standardabweichung aufweisen (σ>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 des Newton'schen Fluids im Ringspalt relativ zum Zylinder. 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, $\dot{\gamma}$ ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

• 4. D I C H T E - M E S S U N G

Akquisitionsperiode der 100 Messwerte im Messablauf: 1 bis 95 min, Temperatur ΔT =0,012 K (T=25,039 ±0,003°C)
Ergebniswert: ρ = **0,99854 ±0,000083 g/cm³** (298,19 K, 94,48 kPa)
Streuung: ±2,45·10^{-5} g/cm³ absolute bzw. 25ppm relative Standardabweichung
Berechnung: lineare Regressionsgleichung, eher zeitabhängig.
Zeit-zusammenhang durch Regression zwischen Minute 1 und 95:
ρ (t[min]) =0,998516 +2,445E-7·t r^2=0,08 s^2=6,02E-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. - Aus der Abwägung der Einflüsse werden formale Zusammenhänge für die Bewertung ermittelt und auch 'Qualitätsangaben' erzeugt, die, wie hier, offenbar nicht ganz eindeutig sind (eine Messzeitabhängigkeit kann immer Temperatureinflüsse überlagern - Ergebnisse werden eindeutiger, wenn im Messablauf stärker unregelmäßige Temperaturänderungen eingestellt werden). Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei 'r²=0,08' eine schlechte Korrelation anzeigt), die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) muss deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

¬ ***Diagramm 5 -***



Im Diagramm 5, "rho-ƒ(t)", oben, sind die einzelnen Messwerte als Quadrate in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Unsicherheitsbereich eingezeichnet.

• 4.1. Tabelle 2, Dichtemessung

N°	*t*	*T*	*ρ*	*H*	*ω*	$\Delta_{rel.}$	*N*	F_A	$F_{korr.}$
1.	1,3	25,032	0,99849	2,048	2,3	0,26‰	3	412,8641	0,0014 ‡
2.	2,2	25,032	0,99853	2,048	2,5	0,17‰	3	412,8620	0,0016 ‡

3.	2,7	25,032	0,99850	2,048	5,9	2,5ppm	7	412,8626	0,0005 ‡
4.	3,6	25,033	0,99854	2,048	2,2	20ppm	3	412,8655	0,0054 ‡
5.	4,5	25,035	0,99853	2,048	9,7	79ppm	11	412,8613	0,0006 ‡
6.	5,5	25,035	0,99851	2,048	3,0	0,17‰	4	412,8626	0,0009 ‡
7.	6,3	25,035	0,99851	2,048	2,3	0,30‰	3	412,8649	0,0033 ‡
8.	7,0	25,034	0,99851	2,048	3,3	0,27‰	4	412,8621	0,0001 ‡
9.	7,7	25,035	0,99854	2,048	2,3	0,45‰	3	412,8624	0,0024 ‡
10.	8,5	25,035	0,99855	2,048	2,3	0,11‰	3	412,8606	0,0012 ‡
11.	9,2	25,035	0,99851	2,048	2,2	0,24‰	3	412,8645	0,0027 ‡
12.	10,1	25,035	0,99852	2,048	2,3	0,12‰	3	412,8623	0,0011 ‡
13.	10,6	25,034	0,99855	2,048	2,2	0,11‰	3	412,8616	0,0022 ‡
14.	11,5	25,035	0,99849	2,048	2,2	0,39‰	3	412,8612	-0,0017 ‡
15.	12,2	25,035	0,99852	2,048	3,1	98ppm	4	412,8631	0,0022 ‡
16.	13,2	25,036	0,99851	2,048	2,3	0,62‰	3	412,8626	0,0008 ‡
17.	13,8	25,035	0,99855	2,048	3,1	38ppm	4	412,8625	0,0030 ‡
18.	14,5	25,037	0,99850	2,048	2,2	0,56‰	3	412,8616	-0,0008 ‡
19.	15,1	25,035	0,99851	2,048	2,2	0,20‰	3	412,8606	-0,0013 ‡
20.	15,7	25,036	0,99850	2,048	2,3	0,34‰	3	412,8610	-0,0014 ‡
21.	16,5	25,037	0,99855	2,048	2,2	0,47‰	3	412,8607	0,0015 ‡
22.	17,2	25,037	0,99856	2,048	2,3	74ppm	3	412,8616	0,0026 ‡
23.	18,0	25,038	0,99850	2,048	2,2	46ppm	3	412,8632	0,0007 ‡
24.	18,7	25,039	0,99853	2,048	2,2	0,45‰	3	412,8628	0,0021 ‡
25.	19,5	25,038	0,99851	2,048	3,1	0,20‰	4	412,8629	0,0011 ‡
26.	20,4	25,038	0,99856	2,048	2,5	0,14‰	3	412,8606	0,0016 ‡
27.	21,1	25,038	0,99848	2,048	2,2	0,12‰	3	412,8618	-0,0015 ‡
28.	21,7	25,039	0,99855	2,048	4,2	59ppm	5	412,8606	0,0010 ‡
29.	22,4	25,038	0,99854	2,048	2,3	99ppm	3	412,8620	0,0020 ‡
30.	23,1	25,037	0,99856	2,048	2,5	0,14‰	3	412,8611	0,0022 ‡
31.	23,9	25,039	0,99849	2,048	2,2	29ppm	3	412,8615	-0,0016 ‡
32.	24,7	25,039	0,99852	2,048	2,3	0,25‰	3	412,8615	0,0004 ‡
33.	25,5	25,037	0,99851	2,048	2,2	100ppb	3	412,8633	0,0018 ‡
34.	26,3	25,038	0,99855	2,048	2,3	29ppm	3	412,8600	0,0005 ‡
35.	27,2	25,037	0,99852	2,048	2,2	9,5ppm	3	412,8623	0,0014 ‡
36.	27,9	25,039	0,99847	2,048	2,2	76ppm	3	412,8599	-0,0042 ‡
37.	28,8	25,039	0,99855	2,048	2,2	7,0ppm	3	412,8626	0,0034 ‡
38.	29,4	25,039	0,99850	2,048	2,5	66ppm	3	412,8616	-0,0010 ‡
39.	30,3	25,040	0,99850	2,048	2,2	0,30‰	3	412,8609	-0,0015 ‡
40.	31,2	25,039	0,99851	2,048	6,8	21ppm	8	412,8604	-0,0015 ‡
41.	32,0	25,039	0,99852	2,048	3,3	52ppm	4	412,8619	0,0008 ‡
42.	32,8	25,039	0,99855	2,048	2,2	20ppm	3	412,8604	0,0008 ‡
43.	33,8	25,039	0,99854	2,048	4,2	15ppm	5	412,8614	0,0013 ‡
44.	34,7	25,038	0,99854	2,048	2,3	35ppm	3	412,8623	0,0022 ‡
45.	35,3	25,038	0,99850	2,048	6,6	45ppm	8	412,8638	0,0015 ‡
46.	36,6	25,037	0,99852	2,048	2,2	0,28‰	3	412,8642	0,0033 ‡
47.	37,3	25,038	0,99853	2,048	2,2	0,28‰	3	412,8647	0,0039 ‡
48.	38,1	25,038	0,99850	2,048	3,0	0,16‰	4	412,8626	0,0004 ‡
49.	38,9	25,039	0,99853	2,048	2,5	0,37‰	3	412,8645	0,0042 ‡
50.	39,6	25,039	0,99853	2,048	2,5	14ppm	3	412,8651	0,0047 ‡
51.	42,0	25,040	0,99854	2,048	6,0	0,13‰	7	412,8616	0,0017 ‡
52.	42,9	25,040	0,99849	2,048	2,3	42ppm	3	412,8630	0,0002 ‡
53.	43,6	25,040	0,99855	2,048	3,1	33ppm	4	412,8635	0,0043 ‡
54.	44,4	25,039	0,99845	2,048	2,2	0,33‰	3	412,8642	-0,0009 ‡
55.	45,1	25,040	0,99851	2,048	2,3	0,40‰	3	412,8630	0,0016 ‡
56.	45,8	25,040	0,99855	2,048	2,5	0,11‰	3	412,8623	0,0027 ‡
57.	46,6	25,039	0,99851	2,048	2,2	0,22‰	3	412,8625	0,0006 ‡
58.	47,3	25,040	0,99853	2,048	5,2	0,12‰	6	412,8631	0,0029 ‡
59.	48,1	25,040	0,99854	2,048	2,5	0,14‰	3	412,8660	0,0058 ‡
60.	48,9	25,040	0,99852	2,048	2,2	44ppm	3	412,8632	0,0019 ‡
61.	49,7	25,041	0,99855	2,048	3,1	27ppm	4	412,8643	0,0047 ‡
62.	50,4	25,041	0,99857	2,048	2,3	0,29‰	3	412,8612	0,0029 ‡
63.	51,1	25,041	0,99853	2,048	4,2	0,15‰	5	412,8679	0,0076 ‡
64.	52,0	25,040	0,99856	2,048	3,1	0,35‰	4	412,8616	0,0031 ‡
65.	52,7	25,040	0,99855	2,048	5,9	99ppm	7	412,8624	0,0030 ‡
66.	53,5	25,039	0,99853	2,048	2,2	82ppm	3	412,8624	0,0020 ‡
67.	55,0	25,039	0,99852	2,048	2,2	0,43‰	3	412,8606	-0,0003 ‡
68.	56,8	25,040	0,99854	2,048	4,2	0,25‰	5	412,8648	0,0047 ‡
69.	61,0	25,041	0,99849	2,048	3,3	0,28‰	4	412,8640	0,0010 ‡
70.	62,1	25,041	0,99850	2,048	2,2	90ppm	3	412,8635	0,0010 ‡
71.	63,0	25,042	0,99852	2,048	2,2	0,21‰	3	412,8614	0,0002 ‡
72.	65,1	25,043	0,99851	2,048	3,1	0,23‰	4	412,8630	0,0014 ‡
73.	66,4	25,043	0,99856	2,048	2,4	0,56‰	3	412,8615	0,0027 ‡
74.	67,1	25,044	0,99855	2,048	5,2	98ppm	4	412,8633	0,0037 ‡
75.	68,8	25,044	0,99853	2,048	2,2	46ppm	3	412,8634	0,0031 ‡
76.	70,3	25,043	0,99856	2,048	2,3	25ppm	3	412,8626	0,0036 ‡
77.	71,5	25,042	0,99854	2,048	4,2	0,13‰	5	412,8635	0,0037 ‡
78.	74,3	25,040	0,99854	2,048	3,3	0,13‰	4	412,8619	0,0022 ‡
79.	76,6	25,040	0,99848	2,048	2,2	0,11‰	3	412,8626	-0,0007 ‡

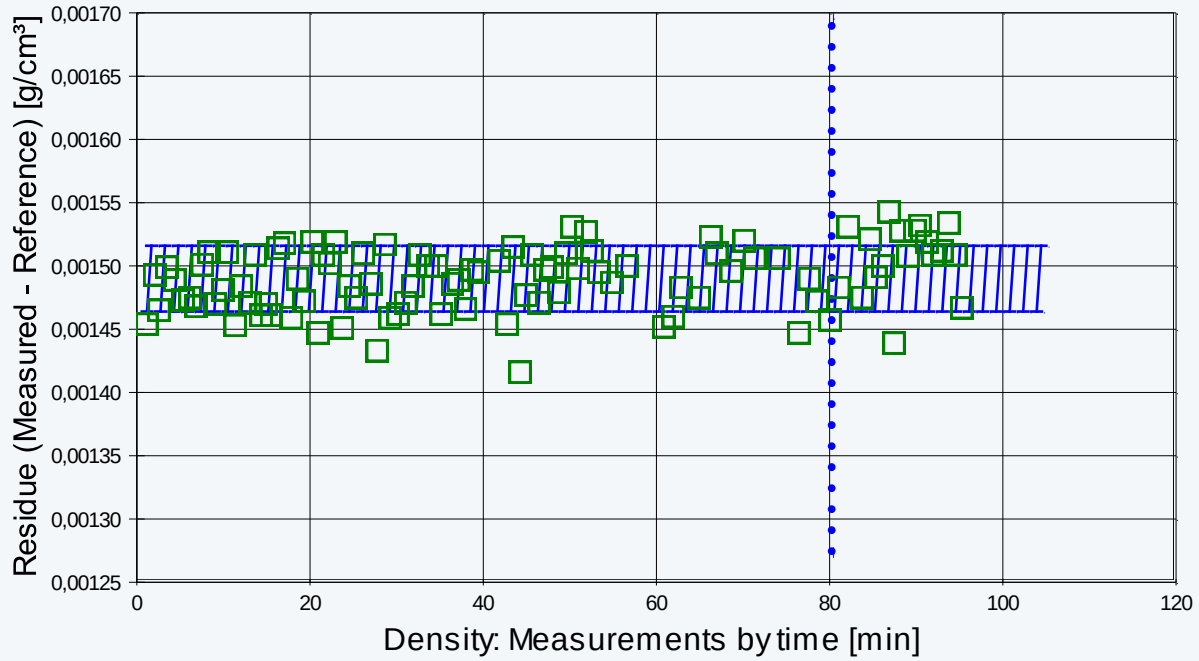
80.	77,8	25,039	0,99853	2,048	4,2	0,10‰	5	412,8635	0,0029 ‡
81.	78,7	25,039	0,99851	2,048	2,5	56ppm	3	412,8624	0,0006 ‡
82.	80,2	25,039	0,99849	2,048	2,3	0,40‰	3	412,8655	0,0029 ‡
83.	81,2	25,039	0,99852	2,048	2,2	0,47‰	3	412,8626	0,0015 ‡
84.	82,3	25,039	0,99857	2,048	3,2	0,17‰	4	412,8612	0,0030 ‡
85.	83,9	25,040	0,99851	2,048	2,4	0,10‰	3	412,8626	0,0010 ‡
86.	84,8	25,040	0,99856	2,048	3,1	0,40‰	4	412,8616	0,0028 ‡
87.	85,5	25,039	0,99853	2,048	5,1	27ppm	6	412,8622	0,0016 ‡
88.	86,3	25,040	0,99854	2,048	2,2	0,32‰	3	412,8603	0,0002 ‡
89.	87,0	25,039	0,99858	2,048	2,2	0,56‰	3	412,8617	0,0041 ‡
90.	87,6	25,040	0,99848	2,048	2,3	0,47‰	3	412,8632	-0,0005 ‡
91.	88,4	25,040	0,99856	2,048	4,9	94ppm	6	412,8630	0,0046 ‡
92.	89,2	25,040	0,99854	2,048	2,3	0,21‰	3	412,8611	0,0015 ‡
93.	90,0	25,040	0,99856	2,048	2,3	0,31‰	3	412,8651	0,0067 ‡
94.	90,6	25,041	0,99857	2,048	2,2	0,29‰	3	412,8640	0,0058 ‡
95.	91,4	25,040	0,99856	2,048	4,9	0,17‰	6	412,8612	0,0023 ‡
96.	92,1	25,041	0,99854	2,048	3,1	0,23‰	4	412,8646	0,0050 ‡
97.	93,1	25,042	0,99855	2,048	3,1	0,35‰	4	412,8623	0,0029 ‡
98.	93,9	25,042	0,99857	2,048	4,0	48ppm	5	412,8609	0,0028 ‡
99.	94,7	25,041	0,99854	2,048	2,2	0,38‰	3	412,8617	0,0021 ‡
100.	95,4	25,040	0,99850	2,048	2,2	0,17‰	3	412,8619	-0,0002 ‡

Tabellensymbole: ***t*** Zeitpunkt [min], ***T*** Temperatur [°C], ***ρ*** Dichte [g/cm³], ***H*** Positionshöhe der Messkörperunterkannte über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], ***ω*** Beobachtungsdauer der Auftriebsmessung [s], $\Delta_{rel.}$ relative Dichteänderung pro Minute in der Beobachtungszeit [g·cm¨³·min¨¹], ***N*** Anzahl Auftriebsmesswerte, F_A gemessener Roh-Wert der Auftriebskraft [mN], $F_{korr.}$ gemessene Referenzkraft mit berechneter Korrektur für die Auftriebskraft der Messkörperaufhängung [mN].
Die 'Nullhöhe' ist i.d.R. der Gefäßboden falls nicht ein Podest für den Messkörper in der Röhre eingesetzt wurde. Die zu $F_{korr.}$ nachgestellten Zeichen '°,† oder ‡', symbolisieren die jeweils angewandte Mess- und Korrekturverfahren ('°' für Dichtemesswerte ohne Meniskuseliminierverfahren, '‡' für Werte mit unmittelbarer und '†' für solche mit in Folgemessungen übernommener Eliminierung')

• 5. REFERENZ VERGLEICH

Beurteilung von Viskositäts- und Dichtemessungen anhand der Residuen: Die Differenzen zwischen Mess- und Sollwerten zum Referenzeintrag *Wasser* wird in den Diagrammen unten dargestellt. Die temperaturunabhängige Abbildung der Differenzwerte entspricht der zeitlichen Abfolge der Messwerte. Unterhalb zeigt eine tabellarische Aufstellung den Zahlenvergleich zum angegebenen Ergebnis, dem folgt eine Liste mit Stoffnamen aus der Datenbank mit vergleichbaren Werten.
VORSICHT Die Bedeutung des automatischen Vergleichs mit jeweiligen Referenzwerten ist extrem von der Richtigkeit und Präzision der hinterlegten Stoffdaten abhängig.

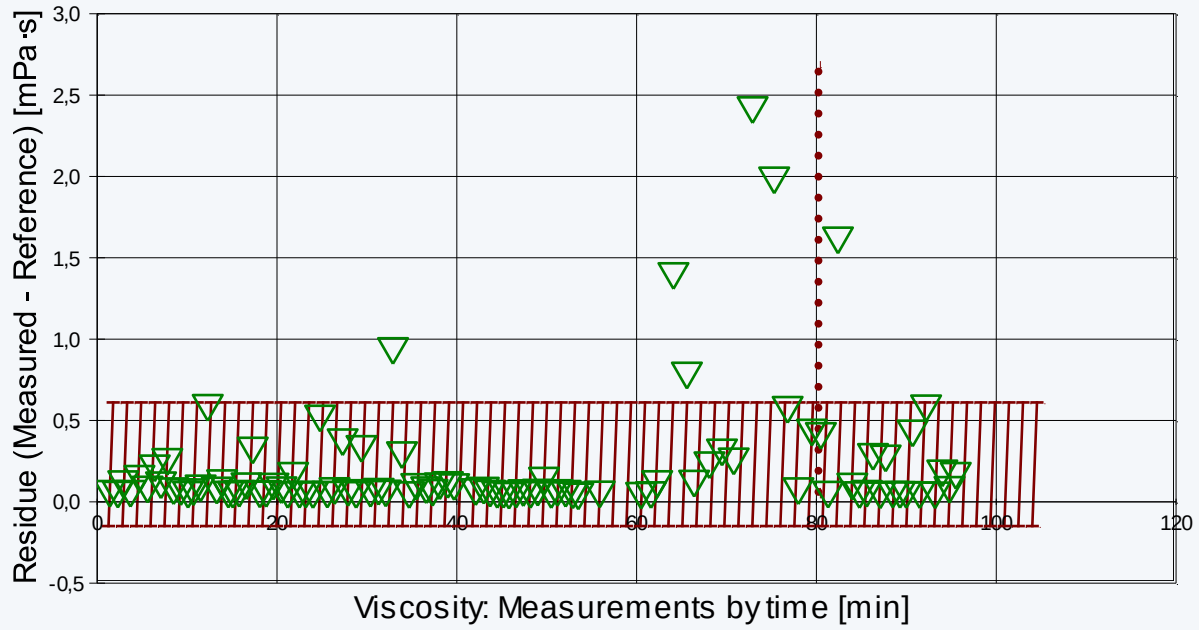
¬ ***Diagramm 6 -***



Reference values for 'Wasser' acc. to ƒ(T[°C])=(6.5592063E-05·T^5 - 1.1225639E-02·T^4+1.0026530·T³-90.968893·T² + 679.48991·T + 9998425.9)/1E7
Mean and Standarddev. of Residuals: 1,49E-3 ±2,6E-5 g/cm³, relative: +1,5‰ at a spread of 26ppm

Das Chart N°6, "r-Residuen", zeigt die 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 -*



Reference values for 'Wasser' acc. to ƒ(T[°C])=37.1941· EXP(1.35960E+11/(273.15+T)^4 - 1.44585E+09/(273.15+T)³ + 6.04736E+06/(273.15+T)² - 1.02607E+04/(273.15+T))
Mean and Standarddev. of Residuals: 0,231 ±0,38 mPa·s, relative: +24% at a spread of 39%

Das Chart N°7, "h-Residuen", zeigt die temperaturkompensierte Abweichungen der einzelnen Viskositätsmesswerte zum jeweiligen Wert des 'besten Treffers' 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 Vergleich mit *Wasser* bei 25,04°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
ρ	0,99704	0,99854	+0,00150 g/cm³	2‰	**18**
η	0,89	0,98	+0,09 mPa·s	10%	**0,6**

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

• 5.2 Referenzwerte zu Dichte und Viskosität

--- D I C H T E -- R E F E R E N Z E N ---	(g/cm³)	A B W E I C H U N G	R E F. I D
1. **Wasser**[1]	0,997038	-1,5‰	ID136.4
2. Water, SMOW[1]	0,997037	-1,5‰	ID1254.7
3. Water, Augsburg, air-free[1]	0,997034	-1,5‰	ID1253.6
4. Water, Augsburg, air-sat.[1]	0,997032	-1,5‰	ID1387.2
5. TEGO Polyether[1]	1,00496	+0,64%	ID1009.1
6. Liquor cerebrospinalis[2]	1,007 (25°C)	+0,85%	ID1278.2
7. Skydrol LD-4[1]	1,00798	+0,95%	ID940.5
8. Ethanolamin[2]	1,0136 (25°C)	+1,5%	ID45.5

--- V I S K O S I T Ä T ---	(mPa·s)	A B W E I C H U N G	R E F. I D
1. Tetrahydrothiophen[1]	0,973	-2,3‰	ID90.1
2. Dibrommethan[1]	0,973	-2,7‰	ID14.6
3. o-Chlortoluol[1]	0,965	-0,99%	ID168.7
4. Butylbenzol[1]	0,95	-2,2%	ID221.6
5. Brom[1]	0,945	-3,0%	ID1.6
6. Propion säure[1]	1,032	+5,8%	ID60.8
7. m-Dichlorbenzol[1]	1,046	+7,3%	ID130.9
8. **Wasser**[1]	0,8893	-8,8%	ID5.2

[1]: Für 25,04°C berechneter Referenzwert.
Die Liste wird in fallender Reihenfolge der Übereinstimmung aus den besten Treffern in den Einträgen der Referenzdatenbank generiert. Die Vergleichsdaten werden in der Präzision der jeweiligen Eintragsangabe formatiert und die relative Abweichung zum Angabewert der Messung angegeben.

• 6. ANGABEN ZUR KONFIGURATION

Messkörper: Name ***MK_ESA1a***, IDN° 7022, Spaltweite 0,851 mm.
Auswertungsverfahren: Standard. Konfigurationstyp DiVA-A (N°1).
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 53,165·$10^{-6}K^{-1}$. Messzylinder**suspension**: Querschnitt 0,0201 mm², Umfang 0,502 mm, Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (*drift- und fehlerfreie Dichtemessung*).
Behälter/Röhre: Durchmesser 16,0015 ±0,0005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 20·$10^{-6}K^{-1}$.
Bezugstemperatur für Abmessungen und Ausdehnungskoeffizienten 25°C.
Kinetische Energie- Korrektur F_ζ, Faktor Zeta: ζ = 1,33.
Individuelle Werte: Eine Korrekturkraft (F_Θ) wird nicht verwendet. Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: 77,6 mm, max. Bewegstrecke in der Phase:34,5 mm.

***Messunsicherheiten des Ergebnisses*:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe ist als Mittelwert der Messunsicherheiten der Einzelmessungen angegeben (±0,098 mPa·s); die Messunsicherheit der Dichte (±0,000083 g/cm³) stammt von den Unsicherheitsangaben zu Messkörpervolumen und -Masse, der Massebestimmung und der Temperatur.
***Die Messunsicherheit** des einzelnen Viskositätsmesswertes wird aus 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 als Wurzel der Quadratsumme der Einzelfehler berechnet.*

***Wägewerte** sind - wenn nicht anders ausgezeichnet - konventionelle Wägewerte (OIML); **Temperaturangaben** beziehen sich auf die Skala der ITS-90.*
***Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen (s) bzw. Varianzen (s^2) qualifiziert. Diese Streuungsangabe wird berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu dem berechneten Funktionswert (der dem Einzelwert entsprechen soll) dividiert durch Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet werden für ±(Mess-)Unsicherheiten stets einfache Standardabweichungen - ohne Erweiterungsfaktoren - angegeben. d.h. die Überdeckung betrifft 67% der (empirischen) Werte.*
***Form und Informationsfülle** des Prüfberichts ist dadurch bedingt, dass Messdaten durch die zahlreichen Freiheitsgrade sehr vielgestaltig auftreten können. Die Variablen der Messung müssen vollständig dargestellt werden können, um verifizierbar zu sein. Vollständigkeit ist Voraussetzung für die Überprüfbarkeit und Haltbarkeit der Resultate sowie abgeleiteter Schlussfolgerungen. Nicht zuletzt erfordern einschlägige Bestimmungen (GxP, FDA cfr.11/21 etc.), zusammen mit schlicht zeitökonomischen Erwägungen, diesen hiermit Großteils erledigten Aufwand. [Prüfberichte, wie dieser, werden dynamisch aus Metadaten erzeugt und benötigen daher sehr wenig Speicherplatz in der Datenbank]. Bei Routinemessungen und/oder für die evtl. parallel noch papieren geführte Ablage, sollten die Prüfberichte zur Ressourcenschonung durch entsprechende Einstellungen der Formatier- und Ausgabeoptionen auf das Wesentliche gekürzt werden. Das ganze 'File' inklusive der zu Grunde liegenden Rohdaten ist stets über die ID (hier Nummer 14956, Datenbank imeterData32) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. nachfolgende ausgegebene Informationen enthalten, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'modern'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.*

IMPro Execution & Audit-Trail

Data createtd by execution of the IMPro ***"DiVA-A1, 07.01.16, 136250"***, type 5/0. Time Periode of the Accomplishment: Jan., 10. 2016 between 21:14:47 and 22:50:45, elapsed time: two hours. Automatic self-repetition of the IMPro - the 1. Repetition. IMPro finished as projected. The complete Report first was presented on Jan., 10.16 at 22:51. Audit-Log: The Original data is unchanged, nevertheless there are entries to the Log, made while the IMPro was executing:

--- Automatic entries to experiment log from the running IMPro ---
#Repetition of the measurement, Start 21:14:47.
 # Meas.Body face touches Surface at H = 37,593 [mm] (= Top level), Weight there 46,8643 [g].
 # Tare of Tappet+Weighing adapter = 9,6711 [g], Contact height H = 72,117 [mm] (= zero level), 21:15:36 = 0,8 [min].
*=> **Adjustment of weighing cell & determination of the Density of the Air:***
- The Density of Air amounts to 1,1010 [kg/m³] (At 21:54:53).
The Temperature of the Weighing cell amounts to 25,1 [°C]. Weighing cell was automatically adjusted within DiVA-Measurement at 21:56:18.
==> Configuration at IMPro's End <==
4 Cycles á 25 Measurements, T(Start),(End) 25, 25 [°C], Precission 3 [°C],Auto-Thermostat 0, Start rate, Final rate 0, 0 [1/s], CS-Measurement 0 [Pa] , Repeated Visco.-Meas 0, Random rate: -1, Halts/Pauses between Cycles 0 [s] , ~Measurements 0 [s], ~Visco 0 [s]. Mixing each cycle:0, before density:0, before visco:0, coax check 0, speed test 0.

The Number **14956** refers to the Recordset in the Database ***'imeterData32'*** where all Informations can be retrieved at any time.

Prüfmittel

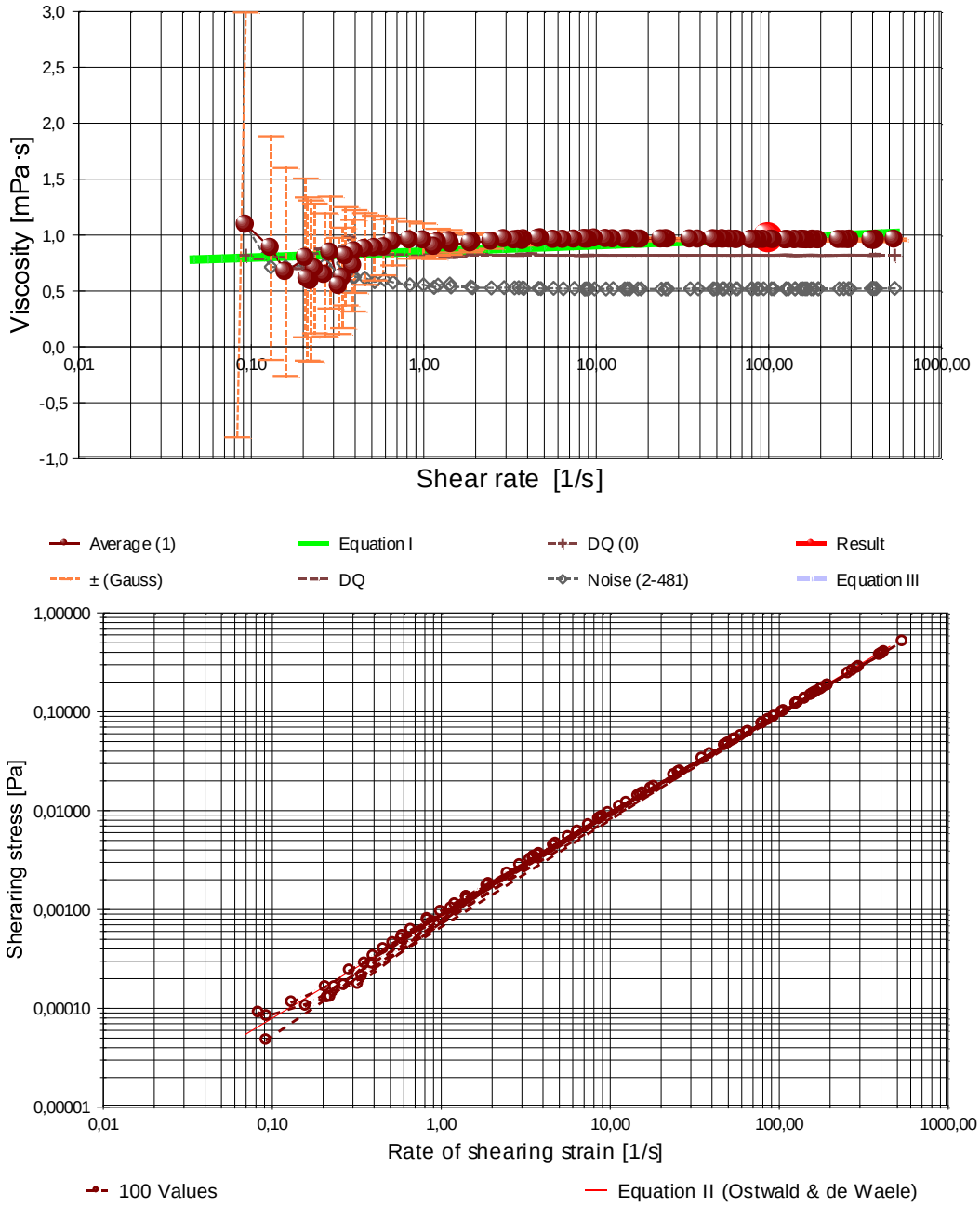
Das Wägesystem (WZA224) wurde zuletzt um 21:56, während dieser Messung justiert. Die letzte vollständige Prüfung der Positioniervorrichtung von ***IMETER*** (ID23903733) erfolgte am 30.11.15. Systemdaten: Auflösung des Wägesystems 0,1mg, Messunsicherheit*) 0,2mg, Dichte der Justiermasse*) 8,000 g/cm³, Luftdichte vgl. Tabelle unten; Umrechnungen von Masse nach Kraft mit dem Wert 9,80769m/sec² für die Fallbeschleunigung*). 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 0,01K, die Unsicherheit*) 0,03K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.0.54, LizenzN° *3037-4759*, Windows 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

eine Justierung der Wägezelle während der Messung:
Zeit: 41,5 [min] Korrektur: -0,0002 [g]
Die während der Messung automatisch ausgeführten Wägezellen-Justierungen sind mit relativem End-Zeitpunkt und korrigierter Abweichung oberhalb dokumentiert (die kompletten Kalibrier- und Justierprotokolle sind in der Datei 'imeterData32.cal' gesondert gespeichert).
meteorologische Angaben, Luftdichte:

1. 1,0 min: ϕ 51,91%, Temp. 22,47°C, p_a 93,942 kPa, ρ_{air} 1,10107 kg/m³
2. 20,0 min: ϕ 51,83%, Temp. 22,52°C, p_a 93,958 kPa, ρ_{air} 1,10106 kg/m³
3. 40,1 min: ϕ 51,85%, Temp. 22,55°C, p_a 93,964 kPa, ρ_{air} 1,10102 kg/m³
4. 69,9 min: ϕ 51,71%, Temp. 22,63°C, p_a 93,927 kPa, ρ_{air} 1,10026 kg/m³

Obige Zusammenstellung gibt Atmosphärendaten für den Aufstellort wider; es bedeuten ϕ relative Luftfeuchte(r.H.), Temp. Lufttemperatur und p_a absoluter Luftdruck, ρ_{air} die Luftdichte Die Ablesungen wurden automatisch durch das i-SIF ausgeführt..

Wird eine Fließgrenze unterstellt – die von der Messkraft abgezogen wird – ergibt sich das Bild einer Newtonschen Flüssigkeit:



Dass bei kleinen Scherraten die Streuung groß erscheint, liegt an der sehr kleinen stationären Kraft (d.h. „0.3mg"), die bei 0.06 1/s eben nur noch dem Dreifachen der der Auflösung der Wägezelle entspricht.