

ID N° 14670 - DiVA-Method: Rheological Measurement

63% Saccharose - rheological, 25°C

Results at 25,03°C

Viscosity: $\eta_{(100,0s^{-1})} = 74,2 \pm 1,6 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 56,8 \pm 1,2 \text{ mm}^2/\text{s}$

2,7 x 15 shear rates $\text{dec.}^{-\text{exp}(210 \rightarrow 0,033)} \cdot \text{s}^{-1}$, resolves $K=80,99 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{0,9789}$ and $n=0,9789$ with $\tau^0=1,235 \text{ mPa}$,

Density: $\rho = 1,3058 \pm 0,0003 \text{ g/cm}^3$

Report

• 1. MESSPRINZIP

Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen an einem Zylinder, der sich in einem zylindrischen Messgefäß mit der Probenflüssigkeit befindet. Dabei ist der zylindrische Messkörper über eine Aufhängung mit einem Kraftsensor verbunden. Das Gefäß wird durch die Plattform vertikal bewegt und positioniert. Wird die Plattform nach unten bewegt, so fließt das Probenfluid um den stillstehenden Messzylinder durch den ringförmigen Spalt. Die lineare Strömung entlang der Messkörperoberfläche überträgt dadurch eine Kraft. Das ist die Schubspannung, die genau der Viskosität der Probe entspricht. - Eine Relativgeschwindigkeit zwischen den Zylindern fördert parallel ein exakt proportionales Probenvolumen durch den Ringspalt. Das Strömungsprofil ist durch die geometrischen Verhältnisse definiert, Geschwindigkeit, Strömung, Kraft folgen exakt dem Navier-Stokes'schen Fundament, so wie das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz. M5 DiVA ermöglicht unter Berücksichtigung von Aufhängungs- und Auftriebseffekten sowie der Strömungskinetik eine sehr genaue Bestimmung der absoluten Viskosität. Für nicht so normale Flüssigkeiten wird Viskosität 'scheinbare Viskosität' genannt. Gegenüber Rotationsviskosimetern ist bei M5 DiVA die Kohärenz- und Integrität der Messung hervorzuheben (keine Oberflächeneffekte, Wirbelbildung, Zentrifugalkräfte, Lagerreibung und unklare Scher-historien) wodurch sich ein Qualitätsunterschied definiert.

Über die Variation der Strömungsgeschwindigkeit wird die Rheometerfunktion angesprochen - d.h. die Messung der 'Viskosität' in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit. Dem hier durchmessenen Bereich 0,0332 bis 207,38 /s kommt technisch die Bedeutung von Oberflächenverlauf bis etwa leichtem Pumpen, Auftragen zu. -- Bei Stillstand wirkt auf den Messkörper die Auftriebskraft. - Die Dichte ρ (spezifische Masse) gibt die Stoffmenge an, die in einem Volumen vorliegt. Sie ist ebenfalls eine sehr temperatur- und wenig druckabhängige Stoffkonstante. Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit wurde simultan (sequenziell) mittels Auftriebswägung am ruhenden Zylinder-Messkörper bestimmt: Diese hydrostatische Wägung basiert darauf, dass "ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper (Messkörper) um den Betrag leichter erscheint, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt." Damit aus der Auftriebskraft des Messkörpers die Dichte exakt berechnet werden kann, ist das Messkörpervolumen unter vorliegenden Umständen entscheidend - entsprechendes gilt hinsichtlich der geometrischen Verhältnisse und der Geschwindigkeit für die Viskositätsmessung -

- IMETER M5 DiVA-Ergebnisse sind metrologisch rückführbar und kohärent mit Ergebnissen aus Referenzverfahren (Kapillarviskosimeter, Pyknometer). Referenz M5 DiVA <https://imeter.de/?view=article&id=73> - Beispiele & Auftragsmessungen über [www.imeter.de/?view=article&id=58](https://imeter.de/?view=article&id=58)

• 2. ÜBERSICHT

Dichte und Viskosität wurden 40-mal gemessen. Messdauer zwei Stunden; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum in etwa isotherm bei 25,03°C.

Während der Messung wurde eine Anmerkung vom Prüfer zu Protokoll gegeben:

40,4' : Min-Visko-Meas-way auf 0,5mm verkleinert ... sonst dauerts zu lang!.

• 3. VISKOSITÄTS - MESSUNG

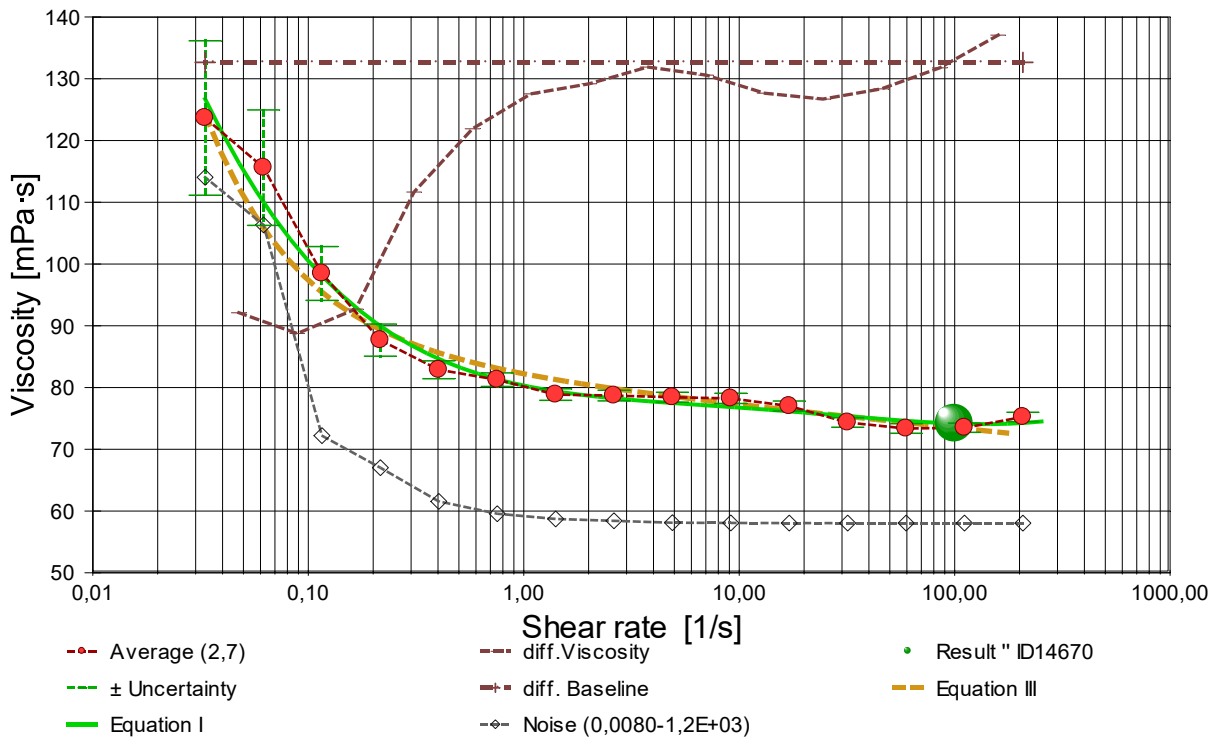
Temperatur **Fluid-Probe** in Rheometrie-Messung: $25,032 \pm 0,006 \text{ °C}$, Zeitbereich: 7,3 bis 108,7 Minuten. Die 40 Viskositätsmesswerte wurden mit 15 unterschiedlichen Scherraten ($\dot{\gamma}$) ermittelt und analysieren den Bereich zwischen 0,0332 bis 207,38 s^{-1} wobei die scheinbare Viskosität (η') Werte zwischen 72,6 bis 135 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ erreicht. Die Ergebnisangabe der Messung $74,17 \pm 1,6 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ für $\dot{\gamma}=100,0 \text{ s}^{-1}$ wurde aus einer Regressionsgleichung zu den Messwerten kalkuliert:

$$\eta'_{25,0^\circ\text{C}} [\text{mPa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma} [1/\text{s}]) = 80,323 - 3,1607 \cdot \ln(\dot{\gamma}) + 1,3775 \cdot \ln(\dot{\gamma})^2 - 0,3768 \cdot \ln(\dot{\gamma})^3 + 0,035555 \cdot \ln(\dot{\gamma})^4$$

$$\text{Gleichung 1, } r^2 = 0,983, \sigma \pm 0,022\%$$

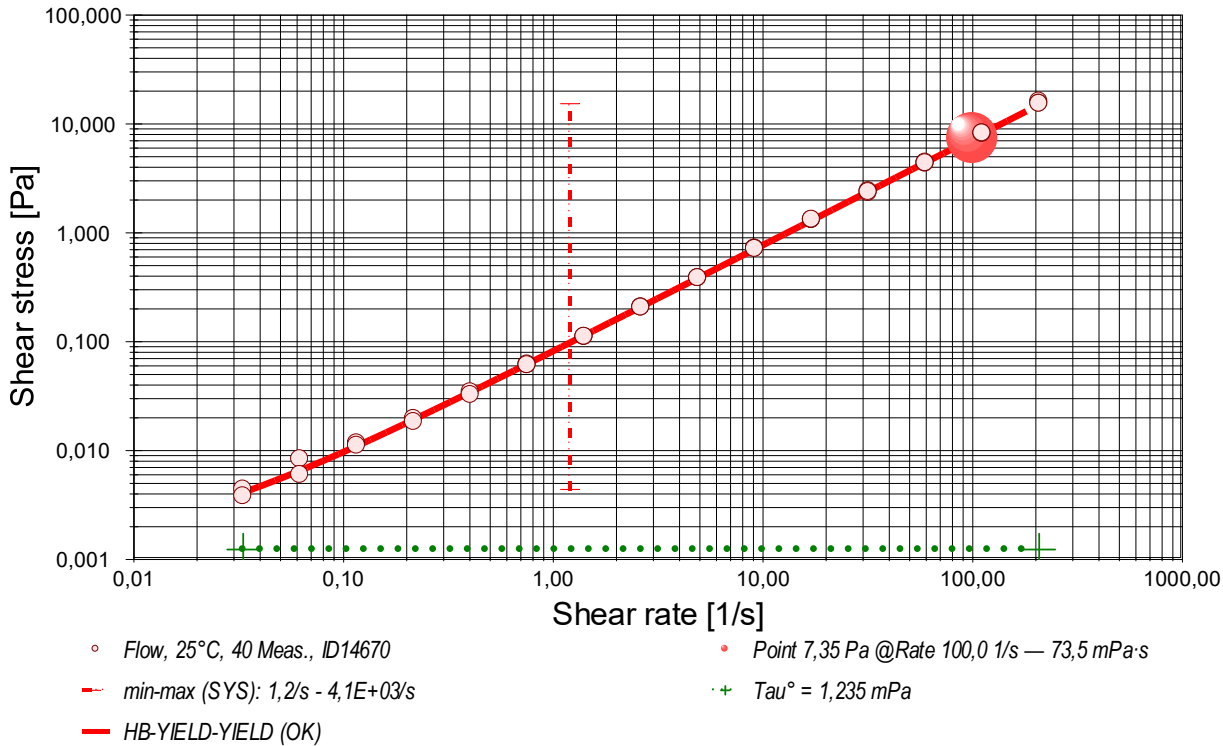
- Es wird von ("scheinbare Viskosität" gesprochen, da bei nicht-newtonischen Fluiden ein parabelförmiges Strömungsprofil ungewiss ist. - Die Regressionsgleichung kombiniert die Menge der Messwerte. Zur Qualitätsbeurteilung, wie gut die Messwerte durch die Regressionsgleichung abgebildet werden, wird der Standardfehler als Gauß'sche Unsicherheit d.h. als RMSPE (Root Mean Square Percentage Error) bestimmt, der Wurzel aus dem mittleren quadratischen relativen Fehler. Diese Messunsicherheit wird als relative Standardabweichung " $\sigma \pm \text{U}\%$ " der Regressionsgleichung ausgewiesen.

- Diagramm 1. Viskosität in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit - 'Viskositätskurve-Lin-Log'



- Das Diagramm 2, "Viskositätskurve-Lin-Log", zeigt die Viskositätswerte η' als rote, kugelförmige Markierungen. Senkrechte, grün gezeichnete Linien markieren zugehörige Werte der Messunsicherheit ($\pm \sigma$, Tabelle III). Die Ausgangsdaten stammen von einer Messwert-Mittelung über gleiche Scherraten in den drei durchlaufenen Zyklen. (vgl. *Zeit-Visko-Chart*). Der numerische Differenzenquotient der 15 Scherraten (diff.Viscosity) ist als relative Kurve mit zugehöriger Baseline mit $d\eta'/d\ln(\dot{\gamma}) = 0$ eingezeichnet. Der Verlauf der Viskositätsänderung bietet mitunter exakt lokalisierbare rheologische Qualitäten: ein Kurvenverlauf über der Nullbezugslinie ('diff.Baseline') bedeutet Dilatanz, unter Null liegt Strukturviskosität vor, eine Differenziallage, auf oder dicht an der Null-Linie, drückt newtonische Proportionalität aus. Mit rautenförmigen Marken wird 'Noise' (als strukturell-dissipatives Merkmal der Schergredienten Fluktuation) angezeigt. Die zwei Regressionsgraphen nach Gleichung I und Gleichung III zeigen im Diagramm die mathematischen Näherungen an die Messwerte.

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



- Die dynamische Viskosität ist definiert als das Verhältnis von Schubspannung zu Schergeschwindigkeit ($\eta = \tau / \dot{\gamma}$) und ist für newtonische Fluide zu allen Verhältnisse von τ und $\dot{\gamma}$ konstant. - Das Diagramm 3, "Fließkurve (log)", zeigt die Lage der einzelnen Messwerte in den Koordinaten von Schergeschwindigkeit und Schubspannung. Der Verlauf markiert die sog. Fließkurve. Zu den Werten ist die Regressionsfunktion (Gleichung II) gemäß Herschel & Buckley (HB) eingezeichnet.

Die rheologischen Verhältnisse in **Fluid** bei 25°C beschreibt die Gleichung II insgesamt brauchbar:

$$\tau \text{ [Pa]} = 0,001235 + 0,08099 \cdot \dot{\gamma}^{0,9789} \quad \text{Gleichung II, } r^2 = 0,9981, \sigma \pm 4,8\%$$

Fließgrenze ($\tau^0 = 1,235 \text{ mPa}$), Konsistenz ($K = 80,99 \text{ mPa}$) und Fließindex ($n = 0,9789$) charakterisieren das Fließverhalten der Fluid-Probe; die Kennzahlen ergeben sich aus dem geläufigen Potenzgesetz. Die Ableitung von Gl.II nach der Schergeschwindigkeit ($\dot{\gamma} \rightarrow \eta'$) ergibt die Gleichung III zur Beschreibung der Viskosität als Funktion der Schergeschwindigkeit:

$$\eta' \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = 1,235 \cdot \dot{\gamma}^{-1} + 80,99 \cdot \dot{\gamma}^{-0,0211} \quad \text{Gleichung III, } r^2 = 0,85, \text{VK} = 17\%, \sigma \pm 4,8\%$$

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

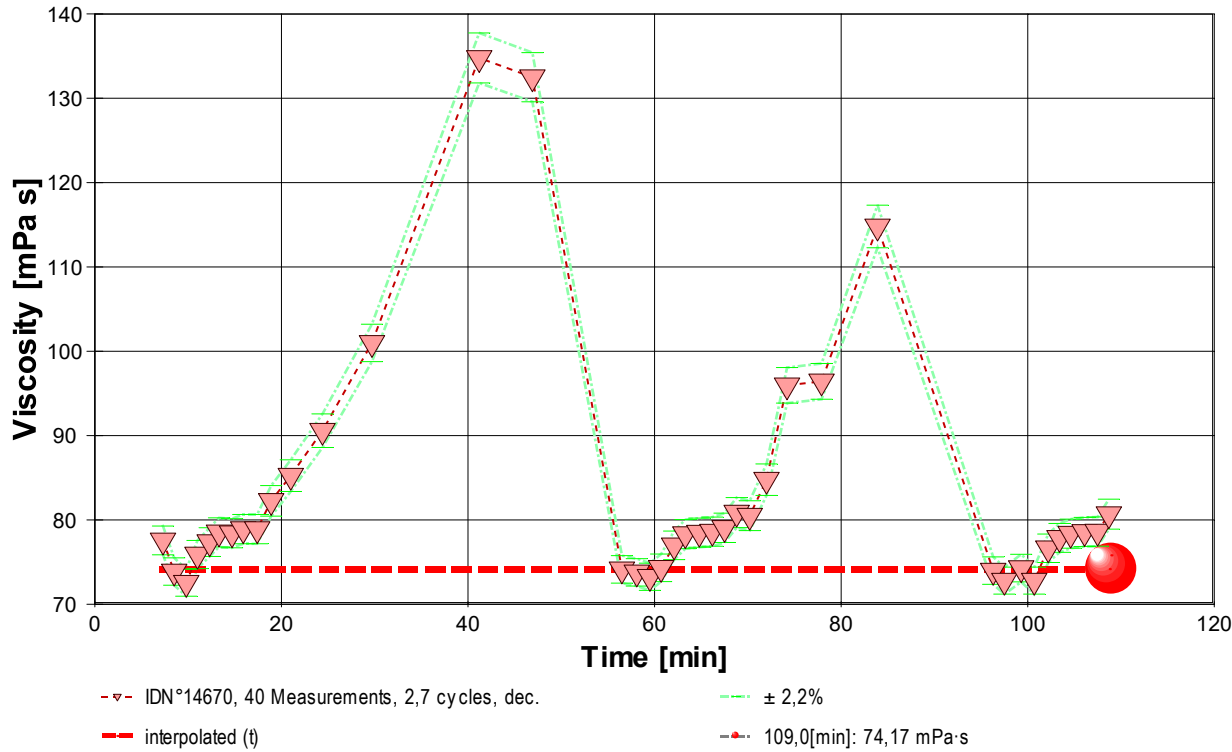
• Geringe strukturelle Kohäsion detektiert. Die Fließgrenze fungiert als initiale Barriere, gefolgt von rascher viskoser Relaxation.

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

- Die Begriffe 'Yield Stress', 'Fließgrenzspannung', 'Fließgrenze' sind synonym, um eine *Rigidität* am quasi ruhenden Fluid zu quantifizieren. Der ausgewiesene Wert von $\tau^0 = 1,235 \text{ mPa}$ befindet sich unterhalb gewöhnlicher Anzeigemöglichkeit; es fehlen Vergleichsdaten.

- <Bitte beachten: die automatisch erzeugten Texte und Gleichungen sind grundsätzlich mit Vorsicht zu betrachten. Verfahren und aufbereitete Ergebnisse erfordern Expertise und fachmenschliche Besprechung.>

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



- Im Diagramm 4, "eta-f(t)", sind die einzelnen Messwerte als Dreiecke in zeitlicher Sequenz abgebildet. - Die Darstellung zeigt die Viskositätswerte entsprechend der Chronologie der angewendeten Scherraten.

Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Daten und Ergebnisse der Viskositätsmessung. Weiter unten folgen die Tabellen 2 und 3, wodurch eine vollständige Datenkollektion zu Rückverfolgbarkeit, Diagnose und Überprüfung der Sachverhalte mit diesem Report vorliegt.

Tabelle 1: Daten der Viskositätsmessung

N°	t	θ	η'	v _z	F _z	τ	v _{max}	γ̇	Re
IDN°14670	[min]	[°C]	[mPa·s]	[mm/s]	[mN]	[Pa]	[mm/s]	[s ⁻¹]	[Zahl]
1.	7,3	25,024	77,57	6,248	277,9096	16,09	44,91	207,38	0,889
2.	8,5	25,024	73,88	3,348	141,8418	8,210	24,06	111,12	0,500
3.	9,8	25,023	72,55	1,794	74,6154	4,319	12,89	59,527	0,273
4.	11,0	25,023	75,90	0,9604	41,7958	2,419	6,902	31,875	0,140
5.	12,3	25,023	77,37	0,5146	22,8327	1,322	3,699	17,081	0,0734
6.	13,3	25,022	78,52	0,2755	12,4039	0,7179	1,980	9,1434	0,0387
7.	14,7	25,024	78,42	0,1475	6,6349	0,3840	1,060	4,8971	0,0208
8.	15,9	25,024	78,91	0,07903	3,5761	0,2070	0,5680	2,6231	0,0111
9.	17,4	25,023	78,91	0,04235	1,9165	0,1109	0,3044	1,4058	0,00592
10.	18,9	25,024	82,3	0,02269	1,0702	0,0619	0,163	0,7530	0,0030
11.	21,0	25,026	85,3	0,01215	0,5940	0,0344	0,0873	0,4033	0,0016
12.	24,4	25,026	90,6	0,006509	0,3381	0,0196	0,0468	0,2160	7,9E-04
13.	29,7	25,027	101	0,003486	0,2019	0,0117	0,0251	0,1157	3,8E-04
14.	41,2	25,031	135	0,001867	0,1443	0,00835	0,0134	0,06197	1,5E-04
15.	46,9	25,036	132	0,001000	0,0760	0,00440	0,00719	0,03320	8,3E-05
16.	56,5	25,037	74,14	6,248	265,6417	15,38	44,91	207,38	0,930
17.	58,1	25,035	73,78	3,348	141,6450	8,199	24,06	111,12	0,501
18.	59,5	25,034	73,26	1,794	75,3399	4,361	12,89	59,528	0,270
19.	60,7	25,036	74,32	0,9604	40,9266	2,369	6,902	31,875	0,143
20.	62,1	25,035	76,99	0,5146	22,7209	1,315	3,699	17,081	0,0737
21.	63,3	25,037	78,32	0,2755	12,3720	0,7161	1,980	9,1434	0,0388
22.	64,8	25,035	78,49	0,1475	6,6413	0,3844	1,060	4,8972	0,0207
23.	66,2	25,034	78,61	0,07904	3,5626	0,2062	0,5680	2,6232	0,0111
24.	67,5	25,033	79,06	0,04236	1,9205	0,1112	0,3045	1,4060	0,00591
25.	68,8	25,032	80,9	0,02269	1,0523	0,0609	0,163	0,7531	0,0031
26.	70,2	25,033	80,5	0,01215	0,5609	0,0325	0,0873	0,4033	0,0017
27.	72,0	25,034	84,8	0,006509	0,3164	0,0183	0,0468	0,2160	8,5E-04
28.	74,2	25,035	96,0	0,003486	0,1918	0,0111	0,0251	0,1157	4,0E-04
29.	77,9	25,038	96,4	0,001868	0,1033	0,00598	0,0134	0,06199	2,1E-04
30.	83,9	25,042	115	0,001000	0,0659	0,00381	0,00719	0,03320	9,6E-05
31.	96,3	25,036	73,99	6,248	265,0908	15,34	44,91	207,38	0,932
32.	97,5	25,035	72,80	3,348	139,7527	8,089	24,06	111,12	0,508
33.	99,3	25,036	74,29	1,794	76,4004	4,422	12,89	59,527	0,266
34.	100,7	25,036	72,80	0,9604	40,0916	2,321	6,902	31,875	0,146

35.	102,2	25,036	76,64	0,5146	22,6170	1,309	3,699	17,080	0,0741
36.	103,4	25,034	77,87	0,2755	12,3019	0,7120	1,980	9,1435	0,0390
37.	104,6	25,037	78,37	0,1475	6,6309	0,3838	1,060	4,8971	0,0208
38.	106,1	25,035	78,57	0,07903	3,5607	0,2061	0,5680	2,6231	0,0111
39.	107,5	25,037	78,6	0,04235	1,9093	0,111	0,304	1,406	0,0059
40.	108,7	25,036	80,7	0,02269	1,0495	0,0607	0,163	0,7529	0,0031

Tabellensymbole: t Zeitpunkt [min], θ Temperatur [°C], η' Messwert *scheinbare* Viskosität [mPa·s], v_z Beweg- bzw. Relativgeschwindigkeit zwischen Messkörper und Röhre [mm/s], F_z viskositätsbedingte Kraft am Messkörper [mN], τ Schubspannung [Pa], v_{max} maximale Strömungsgeschwindigkeit [mm/s], $\dot{\gamma}$ Schergeschwindigkeit [s⁻¹], Re Reynoldszahl.

- Tabelle 1 listet die wesentlichen Kennzahlen zu den einzelnen Messungen auf. Die zentrale Messgröße ist in der Spalte F_z angegeben; sie ist die 'rein-viskose' Kraft und zentrale Größe für die Berechnung der Viskosität durch die IMETER-Ringspaltgleichung. Sie wird nach Korrekturen aus der stationären Kraft (F_w) erhalten. Berücksichtigt werden die Auftriebskräfte von Zylinder (F_p) und Aufhängung (F_{hp}), der geschwindigkeitsproportionale Druckverlust durch die kinetische Energie und die Reibung in der Einlaufzone des Ringspaltes (F_ζ), die viskose Reibung der Messzylinder-Aufhängung im Medium ($F_{h\eta}$), die rekursiv bestimmt wird, sowie ein konstanter Beitrag F_θ , der die *Meniskus-Kraft* ausgleicht - d.h. die sehr kleine dynamische Zusatzkraft durch die Benetzungsdynamik der Phasengrenze zwischen Suspension (Messkörperaufhängung) und Probenoberfläche.

Die reibungsbedingte Kraft am Messkörper ergibt sich aus $F_z = F_w - F_p - F_{hp} - F_\zeta - F_{h\eta} - F_\theta$. Die Korrekturen sind in der nächsten Tabelle aufgeschlüsselt, (F_θ wird in den Konfigurationsangaben aufgeführt).

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

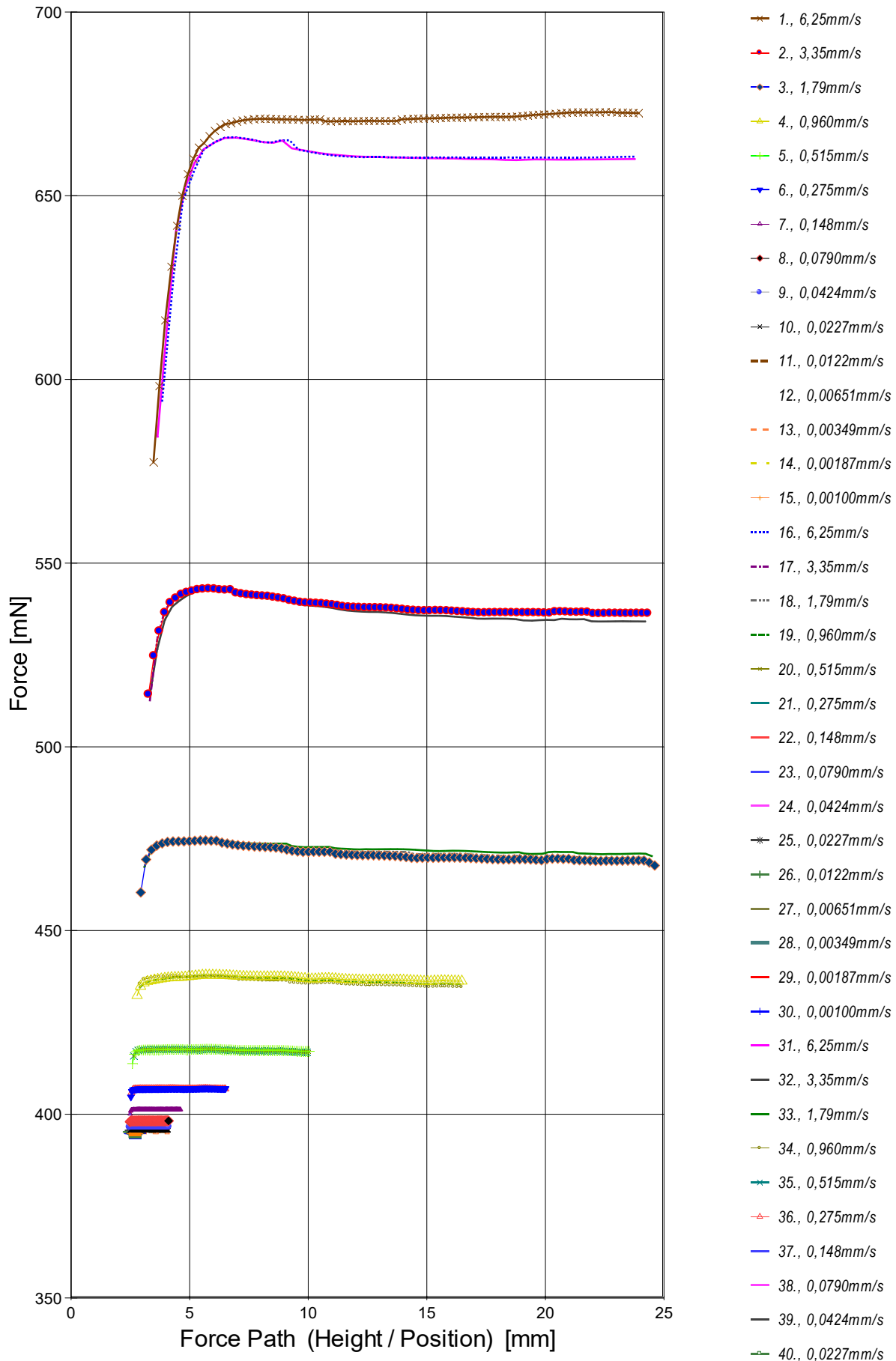
Tabelle 2, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.

N°	F_w	σ_{Fw}	$\sigma_{Fw\ rel}$ -- Alle Werteinträge in [mN] --	F_p	F_{hp}	F_ζ	$F_{h\eta}$	N/n Datenauswahl
1.	672,6673	0,06935	0,10‰	394,6000	0,006403	0,138	0,0210	12/89
2.	536,4600	0,1393	0,26‰	394,5695	0,005920	0,0397	0,00990	32/93
3.	469,2260	0,2062	0,44‰	394,5949	0,006029	0,0114	0,00531	27/96
4.	436,3705	0,1213	0,28‰	394,5687	0,004336	0,00327	0,00214	28/96
5.	417,4459	0,06652	0,16‰	394,6092	0,002605	9,37E-04	7,02E-04	34/97
6.	406,9951	0,03864	95 ppm	394,5877	0,002050	2,69E-04	3,00E-04	47/97
7.	401,2709	0,01145	29 ppm	394,6325	0,001682	7,70E-05	1,32E-04	47/97
8.	398,1945	0,01363	34 ppm	394,6149	0,001584	2,21E-05	6,69E-05	46/96
9.	396,5602	0,009820	25 ppm	394,6403	0,001587	6,35E-06	3,59E-05	47/98
10.	395,6728	0,00842	21 ppm	394,5992	0,00158	1,82E-06	2,00E-05	47/97
11.	395,2042	0,00673	17 ppm	394,6067	0,00158	5,23E-07	1,11E-05	47/97
12.	394,9590	0,00602	15 ppm	394,6175	0,00158	1,50E-07	6,32E-06	47/97
13.	394,8219	0,00666	17 ppm	394,6166	0,00158	4,30E-08	3,78E-06	47/97
14.	394,7488	0,00905	23 ppm	394,6008	0,00136	1,23E-08	2,31E-06	47/98
15.	394,7172	0,00462	12 ppm	394,6375	0,00136	3,54E-09	1,22E-06	47/97
16.	660,4378	0,06099	92 ppm	394,6412	0,005522	0,138	0,0173	23/50
17.	536,3253	0,01947	36 ppm	394,6311	0,006627	0,0397	0,0111	5/66
18.	469,9858	0,2455	0,52‰	394,6302	0,006228	0,0114	0,00554	17/83
19.	435,5081	0,06526	0,15‰	394,5756	0,004568	0,00327	0,00221	12/81
20.	417,3529	0,07210	0,17‰	394,6280	0,002615	9,37E-04	7,01E-04	29/83
21.	406,9707	0,03843	94 ppm	394,5951	0,002043	2,69E-04	2,98E-04	40/83
22.	401,2688	0,01192	30 ppm	394,6240	0,001679	7,70E-05	1,32E-04	40/83
23.	398,2066	0,01268	32 ppm	394,6404	0,001486	2,21E-05	6,25E-05	40/83
24.	396,5551	0,009395	24 ppm	394,6309	0,001381	6,35E-06	3,13E-05	39/82
25.	395,6688	0,00745	19 ppm	394,6129	0,00136	1,82E-06	1,68E-05	40/84
26.	395,2030	0,00593	15 ppm	394,6384	0,00136	5,22E-07	8,98E-06	44/92
27.	394,9530	0,00838	21 ppm	394,6330	0,00136	1,50E-07	5,06E-06	45/94
28.	394,8214	0,00641	16 ppm	394,6259	0,00136	4,30E-08	3,07E-06	47/97
29.	394,7549	0,00727	18 ppm	394,6480	0,00136	1,23E-08	1,65E-06	46/96
30.	394,7206	0,00546	14 ppm	394,6510	0,00136	3,54E-09	1,05E-06	47/97
31.	659,8720	0,07535	0,11‰	394,6256	0,005801	0,138	0,0182	16/50
32.	534,3999	0,2597	0,49‰	394,5985	0,006158	0,0397	0,0102	16/66
33.	471,0518	0,2273	0,48‰	394,6357	0,006046	0,0114	0,00545	24/84
34.	434,7084	0,06646	0,15‰	394,6109	0,004584	0,00326	0,00217	12/82
35.	417,2593	0,08770	0,21‰	394,6383	0,002610	9,37E-04	6,97E-04	29/82
36.	406,9249	0,03793	93 ppm	394,6195	0,002050	2,69E-04	2,98E-04	40/83
37.	401,2616	0,008631	22 ppm	394,6272	0,001683	7,70E-05	1,32E-04	44/92
38.	398,2054	0,01444	36 ppm	394,6411	0,001485	2,21E-05	6,24E-05	40/83
39.	396,5566	0,0113	29 ppm	394,6436	0,00138	6,35E-06	3,11E-05	40/83
40.	395,6657	0,00861	22 ppm	394,6125	0,00133	1,82E-06	1,64E-05	40/83

Tabellensymbole: F_w Betrag der gemittelten stationären Kraft bei Bewegung des Zylinders [mN], σ_{Fw} Standardabweichung der Kraftmesswerte des *stationären Bereichs* [mN], $\sigma_{Fw\ rel}$ relative Standardabweichung[-], F_p Auftriebskraft des ruhenden Zylinder inkl. Auftrieb der Suspension [mN], F_{hp} Auftriebskraft durch das tauchende Volumen der Suspension [mN], F_ζ Term für den Druckabfall durch die Bildung des Strömungsprofils (*Kinetische Energie-Korrektur*) [mN], $F_{h\eta}$ Kraftwertmittelwert infolge der Flüssigkeitsreibung an der Suspension [mN], N/n Abtastung: Anzahl verwendeter (N) und '/' Anzahl vorhandener Kraftmesswerte (n) zur Bildung von F_w .

- In der Tabelle 2 sind die Mess- und Zwischenergebnisse zur Bilanzierung der Kräfte zusammengestellt. Die dabei in Betracht gezogene 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-) Kapillarrisosimetern mit dem Faktor ζ der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht: $F_\zeta = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r_i^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

-> Diagramm 5. Die 'Kraft-Weg-Rohdaten' - 'Force_Path'



- Diagramm 5, "Force_Path", zeigt die zur Bewegung am Messkörper auftretenden Kräfte über den Streckenbezug ('Position'). Die Y-Achse zeigt die Kraft in mN, die X-Achse die Force Path (Height / Position) in mm. Von den als Messkurven abgebildeten Daten wird lediglich ein zum Kurvenende hin gelegene Teilmenge zur Bestimmung der stationären Gesamtkraft (F_w) verwendet. Sofern sich kein ausreichend stationärer Verlauf zum Kurvenende hin ausbildet, können entsprechende Störungen - oder Probeneigenschaften - als Symptom verschiedener Ursachen gedeutet werden: ein Temperaturgefälle liegt vor, die Probe ist vertikal inhomogen, Mehrphasigkeit, Resonanz, Turbulenz (Re), die Probe scherverdünn, scherverfestigt (bewegzeitabhängig) im Ringspalt. Alle Kurven-Störungen betreffen die Angaben zu Noise und Messunsicherheit Σ_{σ} . Das Gesamtvolumen im Ringspalt von $1,75 \text{ cm}^3$ wird über die Bewegungstrecke von 10,9 mm komplett ausgetauscht.

Tabelle 3: Detaildaten zur Viskositätsmessung II.

N°	'Noise' [μPa/mm]	H _{start} [mm]	L _{cl} [mm]	D _{RSP} [mm]	ΔD _{RSP} [μm]	Ø _{zyl.} [mm]	L _{zyl.} [mm]	Σσ [mPa·s]	Σσ _{rel.}
1.	0,00557	3,474	20,463	0,8512	-0,00176	14,2991	43,0800	0,78	1,0%
2.	0,0428	3,266	21,055	0,8512	-0,00176	14,2991	43,0800	0,75	1,0%

3.	0,0989	2,938	21,673	0,8512	-0,00169	14,2991	43,0800	0,76	1,0%
4.	0,102	2,783	13,693	0,8512	-0,00169	14,2991	43,0800	0,8	1,1%
5.	0,247	2,588	7,444	0,8512	-0,00169	14,2991	43,0800	0,81	1,0%
6.	0,625	2,521	3,989	0,8512	-0,00162	14,2991	43,0800	0,83	1,1%
7.	1,91	2,488	2,131	0,8512	-0,00176	14,2991	43,0800	0,8	1,0%
8.	6,17	2,483	1,625	0,8512	-0,00176	14,2991	43,0800	0,87	1,1%
9.	12,0	2,474	1,654	0,8512	-0,00169	14,2991	43,0800	0,93	1,2%
10.	23,6	2,477	1,637	0,8512	-0,00176	14,2991	43,0800	1,1	1,3%
11.	32,6	2,479	1,636	0,8512	-0,00191	14,2991	43,0800	1,5	1,8%
12.	50,0	2,481	1,635	0,8512	-0,00191	14,2991	43,0800	2,3	2,5%
13.	126	2,481	1,635	0,8512	-0,00198	14,2991	43,0800	4,4	4,4%
14.	1210	2,458	0,487	0,8512	-0,00228	14,2991	43,0800	10	7,4%
15.	1020	2,458	0,483	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	12	9,1%
16.	0,00692	3,843	20,013	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,75	1,0%
17.	0,00248	3,323	20,971	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,74	1,0%
18.	0,0818	3,095	21,241	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	0,78	1,1%
19.	0,0733	2,905	13,475	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,76	1,0%
20.	0,284	2,649	7,382	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,81	1,1%
21.	0,642	2,545	3,926	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,83	1,1%
22.	1,32	2,499	2,107	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,81	1,0%
23.	8,31	2,475	1,134	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	0,85	1,1%
24.	11,9	2,462	0,602	0,8512	-0,00242	14,2991	43,0800	0,92	1,2%
25.	39,1	2,461	0,476	0,8512	-0,00235	14,2991	43,0800	1,1	1,4%
26.	113	2,456	0,485	0,8512	-0,00242	14,2991	43,0800	1,4	1,7%
27.	321	2,457	0,483	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	2,9	3,4%
28.	459	2,457	0,487	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	4,3	4,5%
29.	782	2,458	0,483	0,8512	-0,00279	14,2991	43,0800	8,7	9,0%
30.	1290	2,458	0,485	0,8512	-0,00308	14,2991	43,0800	13	11%
31.	0,0115	3,643	20,113	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,74	1,0%
32.	0,0508	3,320	20,874	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,75	1,0%
33.	0,121	3,094	21,384	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,78	1,0%
34.	0,0712	2,904	13,565	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,74	1,0%
35.	0,289	2,640	7,310	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	0,83	1,1%
36.	0,655	2,550	3,960	0,8512	-0,00250	14,2991	43,0800	0,82	1,1%
37.	1,11	2,490	2,128	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,8	1,0%
38.	8,76	2,476	1,130	0,8512	-0,00257	14,2991	43,0800	0,87	1,1%
39.	18,2	2,462	0,608	0,8512	-0,00272	14,2991	43,0800	0,96	1,2%
40.	31,8	2,455	0,325	0,8512	-0,00264	14,2991	43,0800	1,1	1,4%

Tabellensymbole: *Noise* Mittelwert von Auslenkungen und höherfrequenten Lastschwankungen 'Schergradienten Fluktuation' im Kurvenzug der Messkraft bestimmt. Der Wert ist über die Geschwindigkeit und Messkörper-mantelfläche normiert [$\mu\text{Pa}/\text{mm}$], H_{Start} Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm], L_{CP} Länge der Suspension, deren Flüssigkeitsreibung und Auftrieb zur Korrektur der Kraft angewendet wird [mm], D_{RSP} Weite des Ringspalts zwischen Zylindermesskörper und Röhre bei der Temperatur [mm], ΔD_{RSP} Änderung der Spaltweite durch Abweichung von der Bezugstemperatur 25°C [μm], θ_{Zyl} Durchmesser des Messzylinders [mm], L_{Zyl} Länge des Messzylinders [mm] . $\Sigma\sigma$ Absolute Summe der Unsicherheitsbeiträge, die dem jeweiligen Viskositätswert beigeordnet wird [mPa·s] und $\Sigma\sigma_{\text{rel}}$ relative Unsicherheit des Viskositätswertes.

- Die Spalte 'Noise' in Tabelle 3 stellt die Auswertung der 'Modulationen der stationären Kraft' aus Lastschwankung in aufeinander folgenden Kraftmesswerten im Verhältnis zur dabei zurückgelegten Bewegung dar ($\Delta F/\Delta s$); Steigungen im Verlauf der Stationärkraft werden ebenfalls in 'Noise' aufsummiert und bilanziert. Als oszillierende Mikrobeschleunigungen und Extremwerten bei bestimmten Scherraten (und Proben) kann der Resonanzeffekt auf Inhomogenitäten in der Probe hindeuten. Die folgenden Rubriken geben gemessene und berechnete geometrische Gegebenheiten der jeweiligen Messung wieder. Die individuellen Gesamtfehlersummen werden in den beiden letzten Spalten ausgegeben; bei idealer Kalibrierung und konformem Aufbau ist der tatsächlich einzuräumende Gesamtfehler um die bedeutenden Beiträge aus den geometrischen Unsicherheiten vermindert!

• 4. DICHT E - MESSUNG

40 Messwerte; Zeitbereich 7 bis 108 min, Temperatur $\Delta T = 0,020 \text{ K}$ ($\vartheta = 25,031 \pm 0,006^\circ\text{C}$)

Ergebniswert: $\rho_{25,03^\circ\text{C}} = 1,3058 \pm 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 0,23\%$ (298,18 K, 96,55 kPa)

Streuung: $3,0 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. $0,23\%$ relative Standardabweichung

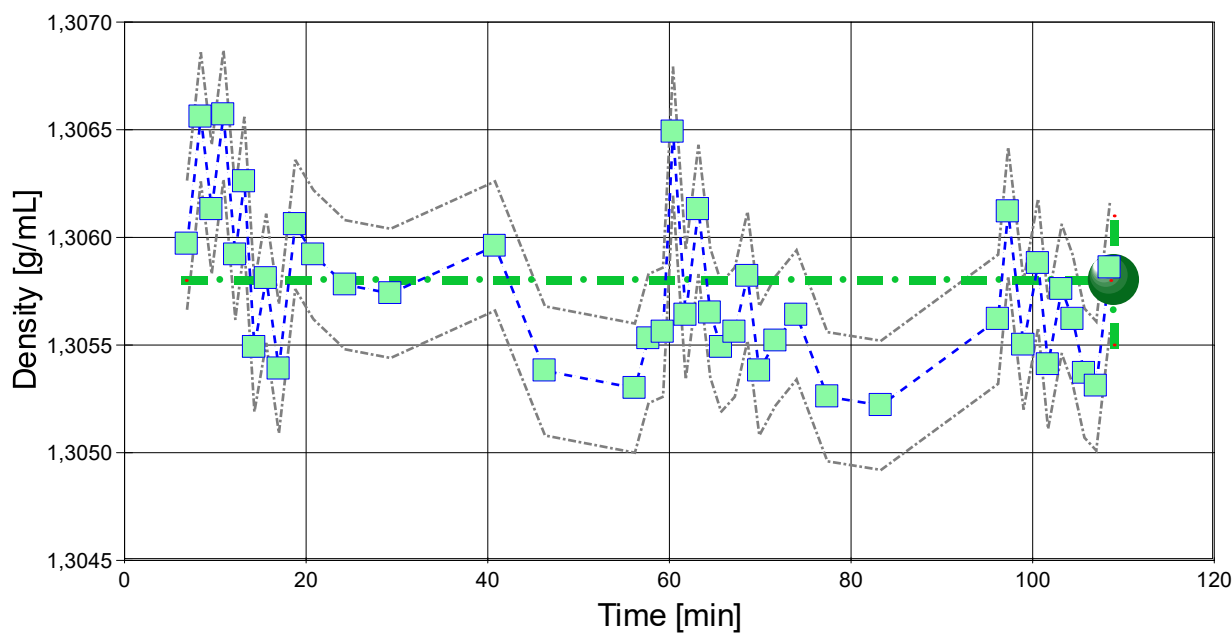
Berechnung: **extrapolierte** lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Temperaturabhängigkeit zwischen 25,021 und 25,041 °C:

$$\rho [\text{g/cm}^3] = f(\vartheta [^\circ\text{C}]) = 2,1292 - 3289,69 \cdot \vartheta / 1\text{E}5 \quad \text{mit } r^2 = 0,28, \quad s^2 = 8,99\text{E-}8$$

- Die im Vergleich mit dem Wert der Fortpflanzung der Messunsicherheit von $\pm 0,00011 \text{ g/cm}^3$ relativ große Standardabweichung zwischen Gleichung und Messwerten ($\pm 3,0\text{E-}04 \text{ g/cm}^3$) 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. --- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (wobei ' $r^2 = 0,28$ ' eine schlechte Korrelation anzeigt). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

- Diagramm 6. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - ' $\rho-f(t)^2$ '



- Im Diagramm 6, " ρ - $f(t)^2$ ", sind die einzelnen Messwerte als Quadrate in zeitlicher Sequenz abgebildet. Die Darstellung zeigt die Dichtewerte entsprechend der chronologischen Abfolge der Visko-Scherraten

Tabelle 4: Daten der Dichtemessung

N° IDN°14670	t [min]	ϑ [°C]	ρ [g/cm³]	H [mm]	ω [s]	$\Delta\rho_\omega$ [g/cm³]	N Werte & Trend	F _A [mN]	F _{korr.} [mN], TSymb.
1.	6,9	25,023	1,3060	2,448	19,0	-0,0015	22 ₄₉ ↗	394,6000	-0,0047 ‡
2.	8,4	25,021	1,3066	2,448	3,9	-3,0E-04	4 ₅₁ ↗	394,5695	0,0001 ‡
3.	9,6	25,023	1,3061	2,448	8,9	-2,5E-04	10 ₅₁ ↗	394,5949	-0,0002 ‡
4.	10,9	25,024	1,3066	2,448	3,1	9,5E-05	3 ₅₀ ↗	394,5687	-0,0005 ‡
5.	12,2	25,025	1,3059	2,448	4,1	-8,4E-05	4 ₅₀ ⇔	394,6092	0,0014 ‡
6.	13,2	25,023	1,3063	2,448	4,9	-3,0E-04	5 ₅₁ ⇔	394,5877	-0,0001 ‡
7.	14,3	25,023	1,3055	2,448	20,9	-5,3E-04	25 ₄₉ →	394,6325	-0,0005 ‡
8.	15,6	25,024	1,3058	2,448	14,8	-7,6E-04	17 ₄₉ ⇔	394,6149	0,0003 ‡
9.	17,0	25,024	1,3054	2,448	22,2	-4,0E-04	26 ₄₉ ↗	394,6403	0,0008 ‡
10.	18,8	25,024	1,3061	2,448	4,6	-2,0E-04	5 ₅₀ ⇔	394,5992	-0,0004 ‡
11.	20,8	25,024	1,3059	2,448	8,1	-5,2E-04	9 ₄₈ ↗	394,6067	-0,0013 ‡
12.	24,3	25,024	1,3058	2,448	3,1	-3,4E-05	3 ₅₀ ↑	394,6175	0,0012 ‡
13.	29,3	25,026	1,3057	2,448	8,9	-6,1E-04	10 ₄₉ ↗	394,6166	-0,0016 ‡
14.	40,8	25,033	1,3060	2,448	20,8	-9,0E-04	24 ₅₁ ↗	394,6008	-0,0046 ‡
15.	46,3	25,038	1,3054	2,448	23,1	-7,4E-04	27 ₅₀ ⇔	394,6375	-0,0024 ‡
16.	56,2	25,035	1,3053	2,448	11,8	-5,7E-04	12 ₃₀ →	394,6412	-0,0034 ‡
17.	57,7	25,035	1,3055	2,448	25,4	-0,0027	27 ₃₀ ←	394,6311	0,0002 ‡
18.	59,3	25,033	1,3056	2,448	14,1	-3,3E-04	15 ₃₀ ⇔	394,6302	0,0012 ‡
19.	60,4	25,034	1,3065	2,448	19,5	-0,0078	21 ₃₀ ↘	394,5756	0,0017 ‡
20.	61,8	25,037	1,3056	2,448	15,2	-5,8E-04	16 ₃₀ ⇔	394,6280	0,0036 ‡
21.	63,2	25,036	1,3061	2,448	5,9	-5,3E-04	6 ₃₀ ⇔	394,5951	-0,0003 ‡
22.	64,5	25,035	1,3056	2,448	14,2	-7,7E-04	15 ₃₀ ⇔	394,6240	0,0000 ‡
23.	65,7	25,033	1,3055	2,448	25,1	-0,0011	27 ₃₁ ⇔	394,6404	0,0068 ‡
24.	67,2	25,034	1,3056	2,448	15,4	-9,4E-04	16 ₂₉ ⇔	394,6309	0,0019 ‡
25.	68,6	25,032	1,3058	2,448	7,0	-3,3E-04	7 ₃₀ ↓	394,6129	-0,0008 ‡
26.	69,9	25,036	1,3054	2,448	18,8	-7,5E-04	20 ₃₁ →	394,6384	-0,0013 ‡
27.	71,7	25,032	1,3055	2,448	14,5	-4,2E-04	15 ₃₀ ↗	394,6330	0,0017 ‡
28.	74,0	25,034	1,3056	2,448	8,8	-4,5E-04	9 ₂₉ ↘	394,6259	0,0013 ‡
29.	77,4	25,036	1,3053	2,448	25,7	-8,2E-04	27 ₃₀ ⇔	394,6480	0,0011 ‡
30.	83,3	25,041	1,3052	2,448	25,7	-6,5E-04	27 ₃₀ ↓	394,6510	0,0015 ‡
31.	96,2	25,035	1,3056	2,448	3,2	-2,6E-04	3 ₃₀ ↓	394,6256	0,0001 ‡
32.	97,3	25,035	1,3061	2,448	10,7	-9,7E-04	11 ₃₀ ↘	394,5985	0,0027 ‡
33.	99,0	25,035	1,3055	2,448	20,9	-9,1E-04	22 ₃₁ ←	394,6357	0,0029 ‡
34.	100,6	25,035	1,3059	2,448	4,9	-2,6E-04	5 ₂₈ ↘	394,6109	0,0008 ‡
35.	101,7	25,035	1,3054	2,448	25,6	-0,0015	27 ₃₀ ⇔	394,6383	0,0003 ‡
36.	103,2	25,034	1,3058	2,448	10,5	-6,4E-04	11 ₃₀ ⇔	394,6195	0,0024 ‡
37.	104,4	25,036	1,3056	2,448	13,7	-0,0011	14 ₃₀ ↘	394,6272	0,0019 ‡
38.	105,7	25,036	1,3054	2,448	21,7	-5,6E-04	23 ₃₀ ↗	394,6411	0,0008 ‡
39.	107,0	25,036	1,3053	2,448	25,6	-9,8E-04	27 ₃₀ ↗	394,6436	-0,0002 ‡
40.	108,5	25,037	1,3059	2,448	13,5	-0,0010	14 ₃₀ ⇔	394,6125	0,0009 ‡

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

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

• 5. ANGABEN ZUR KONFIGURATION

a). **Messkörper:** Name *MK_ESA1a*, b). IdentN° 7022, c). Spaltweite 0,851 mm.

d). **Mess- und Auswertungsverfahren:** Axio-Rheometrie. e). Konfigurationstyp DiVA-A^(l++).

f). **Messkörperdaten:** Messzylindermasse 48,1349 ± 0,0003 g, ~volumen 6,054 ± 0,0005 cm³, ~durchmesser 14,2991 ± 0,001 mm, ~länge 43,08 ± 0,001 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 53,2·10⁻⁶K⁻¹. g). **Messzylindersuspension:** Querschnitt 0,0201 mm², Umfang 0,502 mm, h). Aufhängungsart: IMETER-Patentverfahren (*drift- und fehlerfreie Dichtemessung*).

i). **Behälter/Röhre:** Durchmesser 16,0015 ± 0,0005 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 20·10⁻⁶K⁻¹.

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

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

Individuelle Werte: l). Offset-Korrektur: $F_{\theta} = 0,005$ mN.^{m)} Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: 76,6 mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: 33,5 mm.

n). **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 2,2% bestimmt; die o). Messunsicherheit der Dichte ± 0,0003 g/cm³ stammt von der Varianz der Regressionsfunktion.

- **Die Messunsicherheit** des einzelnen Viskositätsmesswertes wird aus den folgenden Unsicherheitsquellen bestimmt: 1.: der geometrischen Toleranzangaben zu Messkörperdurchmesser, 2.: zur Länge und 3.: zum Radius des Gefäßes. Individuell aus 4.: der Standardabweichung der Messkraft ($\sigma_{F1/2}$), 5.: der Exzentrizität pauschal zu 0.5% (v.M.), 6.: der Unsicherheit der Kalibrierung zu 0.5% (v.M.), 7.: der Geschwindigkeitsangabe zu 0.1% , 8.: pro Grad Temperaturmessunsicherheit werden 5% (v.M.) angesetzt - Die Gesamtunsicherheiten einer Messung wird aus der Wurzel der Quadratesumme der Einzelunsicherheiten berechnet; diese sind summarisch zu jeder Einzelmessung angegeben in der Spalte σ_n von Tabelle 3, Detaildaten zur Viskositätsmessung II., und in den jeweiligen Diagrammen eingezeichnet.

Temperaturangaben beziehen sich auf die Skala der ITS-90. **Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen bzw. Varianzen qualifiziert. Diese Angaben werden berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu jeweils berechneten Funktionswerten dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für ±(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 break by user in command line N°958.

(the digital twin of process IDN°14670 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Wägeeinheit (WZA224) wurde 5,5 Stunden vor dieser Messung von *Labor* justiert.

IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001[K], Messunsicherheit ± 0,01[K], R° 100,0018[Ohm], AutoCal 60[min] (BN° 3, -10/100°C, 4S, FS15, Offset: -0,0361). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.0.52, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m ³]
6,2	57,19	21,26	95,85	1,12806
55,4	57,04	21,16	95,867	1,12867
92,2	56,65	21,24	95,898	1,12874

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

Kommentar/Bewertung/Interpretation:

Rheologisch gelten Zuckerlösungen als newtonsch. Bei höheren Konzentrationen kann Viskoelastizität auftreten (70%+). Diese Messung zeigt bei niedrigem Schergradienten offenbar die Auswirkung einer kleinen Fließgrenzspannung, obgleich Literatur-Vergleichswerte das eher negieren; ein Hauch Thixotropie könnte auch vorhanden sein.

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