

ID N° 18423 - DiVA-Method: Rheological Measurement

n-Nonanol, 8 EO (noneth-8) - Rheopexie bei 13°C

Reines Tensid, 3x Durchlauf des Scherratenscans. Probe nach längerer Ruhezeit gemessen. Es zeichnet sich eine deutlich ansteigende Viskosität über die Scandurchläufe ab. Offenbar tritt hier ein rheopektisches Verhalten auf.

Sample/Ref.: **noneth-8** • nearly Newtonian (with Yield Stress)

Results at **13,01°C**

Viscosity: $\eta_{(100,0s^{-1})} = 87,0 \pm 1,4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $\nu = 85,1 \pm 1,4 \text{ mm}^2/\text{s}$

3 x 15 shear rates $\text{dec.} \cdot \exp(270 \rightarrow 0,07) \cdot \text{s}^{-1}$, resolves $K=87,5 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{0,995}$ and $n=0,995$ with $\tau^0=1,27 \text{ mPa}$,

Density: $\rho = 1,02207 \pm 0,00007 \text{ g/cm}^3$

Report

• 1. MESSPRINZIP

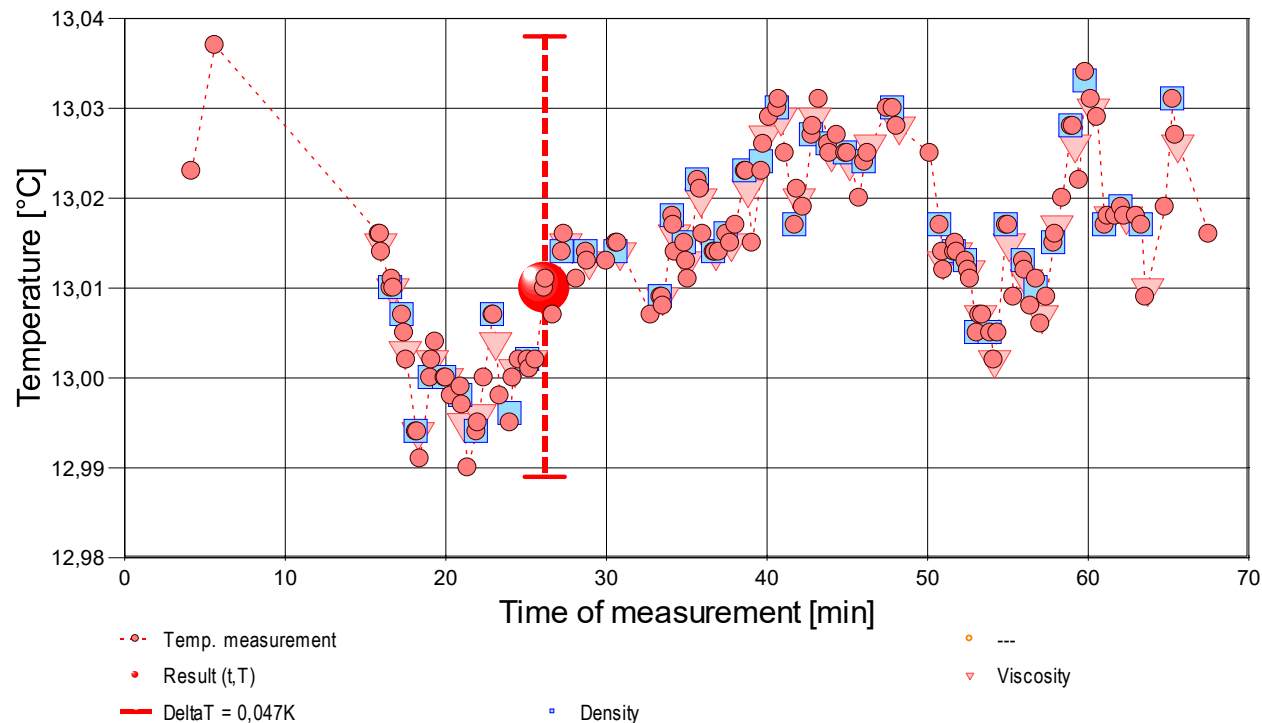
Die 'DiVA'-Methode beruht auf Kraftmessungen an einem Zylinder, der sich in einem zylindrischen Messgefäß mit der Probenflüssigkeit befindet. Dabei ist der zylindrische Messkörper über eine Aufhängung mit einem Kraftsensor verbunden. Das Gefäß wird durch die Plattform vertikal bewegt und positioniert. 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 0,0696 bis 269,84 /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, Pycnometer). 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 45-mal gemessen, die Dichte 44-mal. Messdauer eine Stunde; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum ziemlich grob isotherm bei 13,01°C. - Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 't/T-Protokoll'



- 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. VISKOSITÄTS - MESSUNG

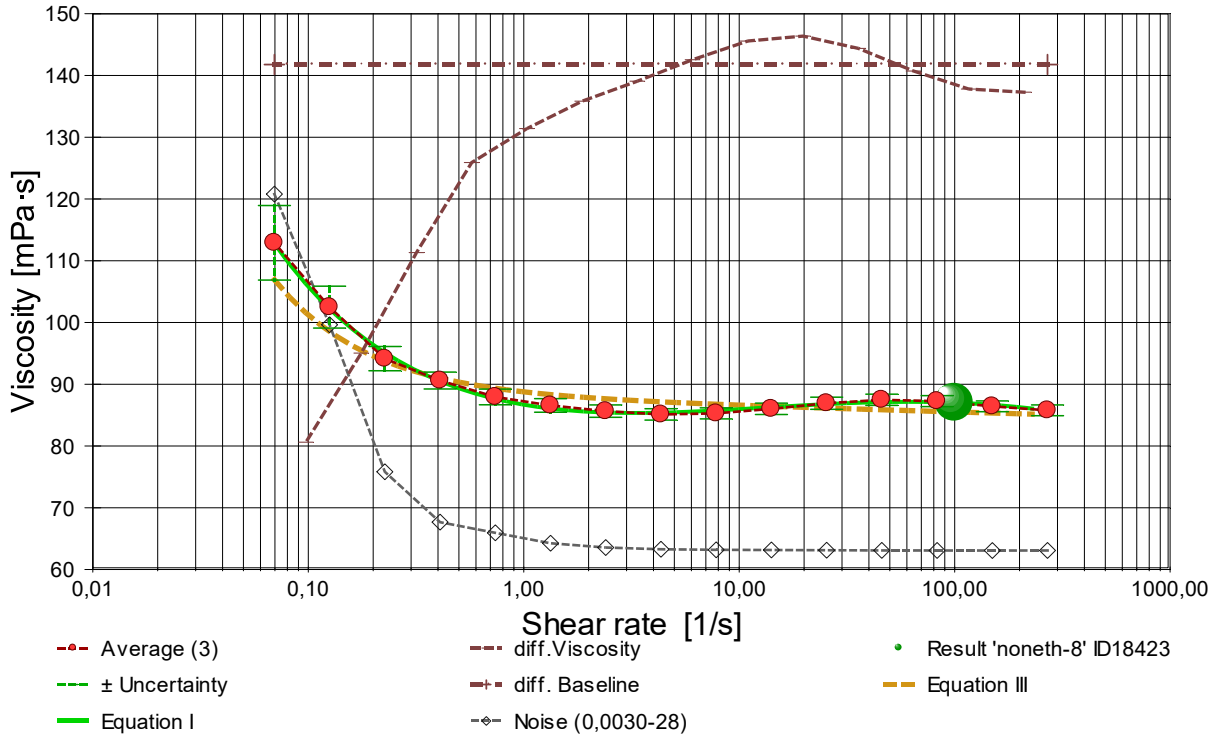
Temperatur **noneth-8-Probe** in Rheometrie-Messung: $13,014 \pm 0,010 \text{ °C}$, Zeitbereich: 16,0 bis 65,6 Minuten. Die 45 Viskositätsmesswerte wurden mit 15 unterschiedlichen Scherraten ($\dot{\gamma}$) ermittelt und analysieren den Bereich zwischen 0,06958 bis 269,84 s^{-1} wobei die Viskosität (η) Werte zwischen 78,8 bis 143 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ erreicht. Die Ergebnisangabe der Messung $87,02 \pm 1,4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ für $\dot{\gamma}=100,0 \text{ s}^{-1}$ wurde aus einer Regressionsgleichung zu den Messwerten kalkuliert:

$$\eta_{13,0^{\circ}\text{C}} [\text{mPa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma} [1/\text{s}]) = 86,695 \cdot \dot{\gamma}^{(-0,029995 + 0,017385 \cdot \ln(\dot{\gamma}) - 0,0028423 \cdot \ln(\dot{\gamma})^2 + 1,1288 \cdot 10^{-4} \cdot \ln(\dot{\gamma})^3)}$$

Gleichung I, $r^2 = 0,9972$, $\sigma \pm 0,0048\%$

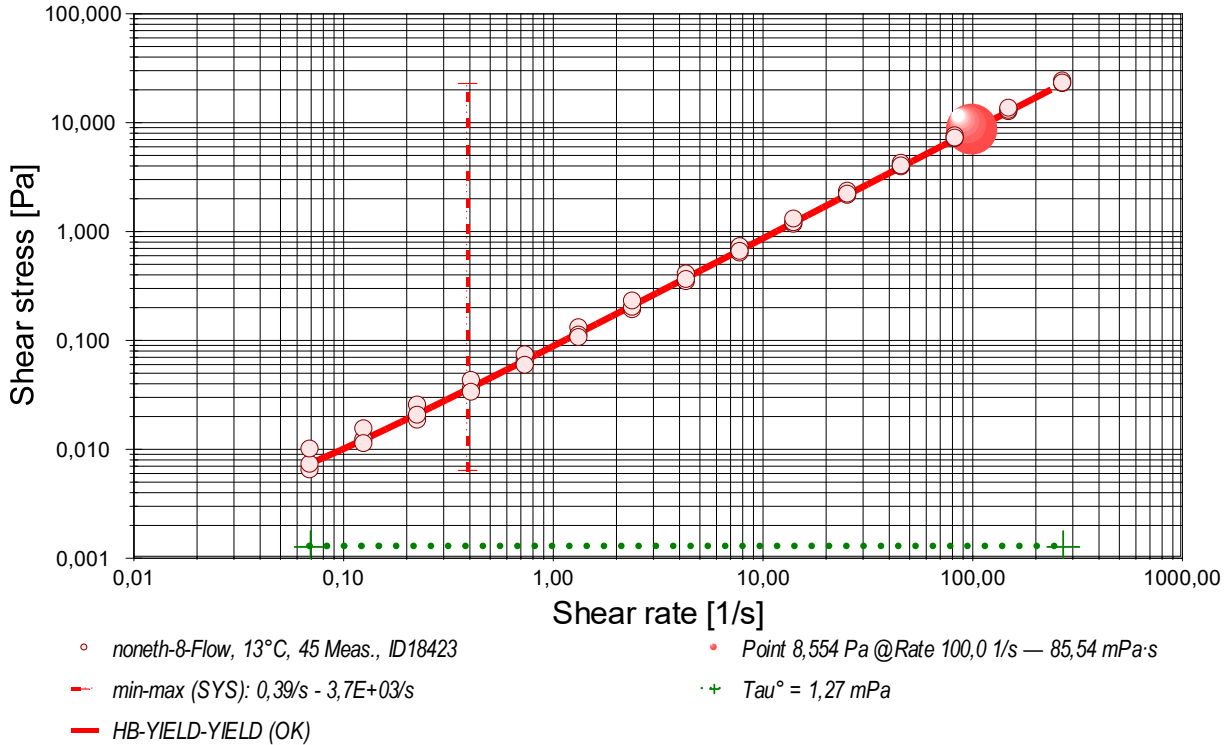
- Die Regressionsgleichung kombiniert die Menge der Messwerte. Zur Qualitätsbeurteilung, wie gut die Messwerte durch die Regressionsgleichung abgebildet werden, wird der Standardfehler als Gauß'sche Unsicherheit d.h. als *RMSPE (Root Mean Square Percentage Error)* bestimmt, der Wurzel aus dem mittleren quadratischen relativen Fehler. Diese Messunsicherheit wird als relative Standardabweichung " $\sigma \pm U\%$ " der Regressionsgleichung ausgewiesen.

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



- Das Diagramm 2, "Viskositätskurve-Lin-Log", zeigt die Viskositätswerte η als rote, kugelförmige Markierungen. Senkrechte, grün gezeichnete Linien markieren zugehörige Werte der Messunsicherheit ($\pm \sigma$, 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 Schergradienten Fluktuation) angezeigt. Die zwei Regressionsgraphen nach Gleichung I und Gleichung III zeigen im Diagramm die mathematischen Näherungen an die Messwerte.

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



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

Die rheologischen Verhältnisse in **noneth** bei 13°C beschreibt die Gleichung II insgesamt brauchbar:

$$\tau [\text{Pa}] = 0,00127 + 0,0875 \cdot \dot{\gamma}^{0,995} \quad \text{Gleichung II, } r^2 = 0,9989, \sigma \pm 8,8\%$$

Fließgrenze ($\tau^0 = 1,27 \text{ mPa}$), Konsistenz ($K = 87,5 \text{ mPa}$) und Fließindex ($n = 0,995$) charakterisieren das Fließverhalten der noneth-8-Probe; die Kennzahlen ergeben sich aus dem geläufigen Potenzgesetz. Die Ableitung von Gl.II nach der Schergeschwindigkeit ($\dot{\gamma} \rightarrow \dot{\gamma}$) ergibt die Gleichung III zur Beschreibung der Viskosität als Funktion der Deformation:

$$\eta \text{ [mPa}\cdot\text{s]} = 1,27 \cdot \dot{\gamma}^{-1} + 87,5 \cdot \dot{\gamma}^{-0,005}$$

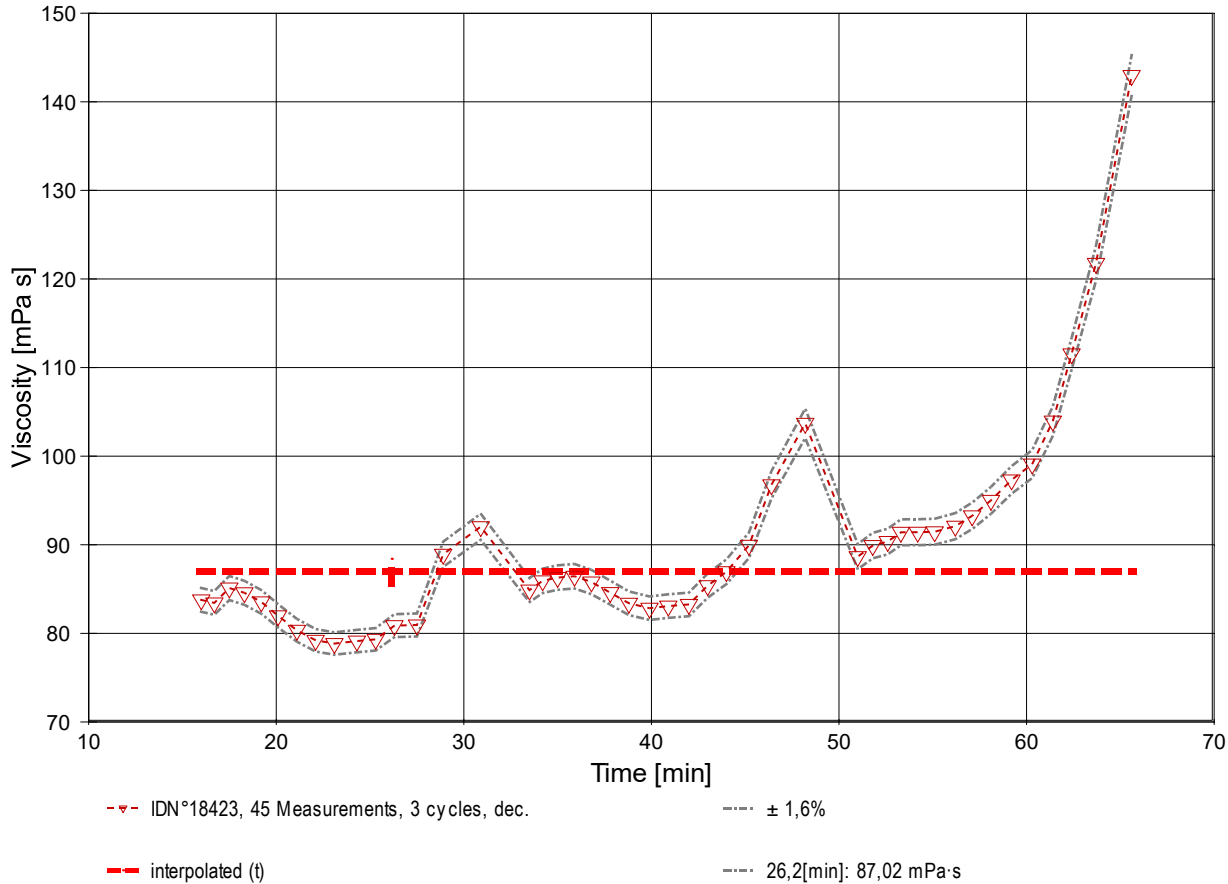
Gleichung III, $r^2 = 0,37$, VK=13%, $\sigma \pm 8,8\%$

Daraus eine Kurzdiagnose zur noneth-8-Probe: • **Newtonsche Idealdynamik**.

- 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 $\tau^0 = 1,27 \text{ mPa}$ befindet sich unterhalb gewöhnlicher Anzeigemöglichkeit; es fehlen Vergleichsdaten.
- <Bitte beachten: die automatisch erzeugten Texte und Gleichungen sind grundsätzlich mit Vorsicht zu betrachten. So könnte hier zu klären sein, ob tatsächlich ein newton'sches Verhalten anzunehmen ist. Verfahren und aufbereitete Ergebnisse erfordern Expertise und fachmenschliche Besprechung.>

- Diagramm 4. Der zeitliche Verlauf der Viskositätswerte - 'eta-Zeit'



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

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°18423	[min]	[°C]	[mPa·s]	[mm/s]	[mN]	[Pa]	[mm/s]	[s ⁻¹]	[Zahl]
1.	16,0	13,015	83,78	24,99	194,6434	22,61	104,0	269,84	2,69
2.	16,7	13,010	83,44	13,86	107,4860	12,48	57,64	149,62	1,50
3.	17,5	13,003	85,12	7,679	60,7622	7,057	31,94	82,909	0,814
4.	18,3	12,994	84,58	4,255	33,4513	3,885	17,70	45,937	0,454
5.	19,2	13,002	83,56	2,359	18,3226	2,128	9,812	25,468	0,255
6.	20,1	13,000	81,98	1,307	9,9575	1,157	5,435	14,107	0,144
7.	21,1	12,995	80,35	0,7241	5,4086	0,6282	3,012	7,8179	0,0813
8.	22,1	12,996	79,22	0,4015	2,9568	0,3434	1,670	4,3350	0,0457
9.	23,1	13,004	78,85	0,2225	1,6308	0,1894	0,9255	2,4024	0,0255
10.	24,3	13,001	79,1	0,1233	0,9067	0,105	0,513	1,331	0,014
11.	25,3	13,002	79,3	0,06834	0,5039	0,0585	0,284	0,7378	0,0078
12.	26,3	13,010	80,9	0,03787	0,2847	0,0331	0,158	0,4089	0,0042
13.	27,5	13,015	80,9	0,02098	0,1579	0,0183	0,0873	0,2266	0,0023
14.	28,9	13,013	88,9	0,01163	0,0961	0,0112	0,0484	0,1255	0,0012
15.	30,9	13,014	92,0	0,006445	0,0551	0,00640	0,0268	0,06958	6,3E-04
16.	33,5	13,009	84,89	24,99	197,2172	22,91	104,0	269,84	2,66
17.	34,2	13,016	85,93	13,86	110,6965	12,86	57,64	149,62	1,45
18.	35,0	13,013	86,30	7,679	61,6029	7,155	31,94	82,909	0,803
19.	35,9	13,020	86,45	4,255	34,1928	3,971	17,70	45,937	0,444
20.	36,8	13,014	85,80	2,359	18,8141	2,185	9,812	25,468	0,248
21.	37,8	13,015	84,60	1,307	10,2753	1,193	5,435	14,107	0,139

22.	38,8	13,021	83,40	0,7241	5,6136	0,6520	3,012	7,8180	0,0783
23.	39,9	13,027	82,84	0,4015	3,0917	0,3591	1,670	4,3350	0,0437
24.	40,9	13,029	83,08	0,2225	1,7185	0,1996	0,9255	2,4024	0,0242
25.	42,0	13,020	83,3	0,1233	0,9542	0,111	0,513	1,331	0,013
26.	43,0	13,029	85,4	0,06833	0,5424	0,0630	0,284	0,7378	0,0072
27.	44,0	13,025	87,0	0,03787	0,3061	0,0356	0,158	0,4089	0,0039
28.	45,2	13,024	89,9	0,02098	0,1754	0,0204	0,0873	0,2266	0,0021
29.	46,4	13,026	96,8	0,01163	0,1046	0,0121	0,0484	0,1255	0,0011
30.	48,2	13,028	104	0,006446	0,0621	0,00722	0,0268	0,06959	5,6E-04
31.	51,0	13,013	88,66	24,99	205,9735	23,92	104,0	269,84	2,54
32.	51,8	13,014	89,91	13,86	115,8242	13,45	57,64	149,62	1,39
33.	52,6	13,012	90,37	7,679	64,5108	7,493	31,94	82,909	0,766
34.	53,3	13,007	91,41	4,255	36,1527	4,199	17,70	45,937	0,420
35.	54,2	13,002	91,42	2,359	20,0444	2,328	9,812	25,468	0,233
36.	55,1	13,015	91,47	1,307	11,1104	1,290	5,435	14,107	0,129
37.	56,2	13,011	92,10	0,7241	6,1993	0,7200	3,012	7,8179	0,0709
38.	57,1	13,007	93,27	0,4015	3,4812	0,4043	1,670	4,3349	0,0388
39.	58,1	13,017	95,01	0,2225	1,9653	0,2283	0,9256	2,4024	0,0211
40.	59,2	13,026	97,32	0,1233	1,1152	0,1295	0,5128	1,3310	0,0114
41.	60,3	13,030	99,1	0,06833	0,6296	0,0731	0,284	0,7378	0,0062
42.	61,4	13,018	104	0,03787	0,3660	0,0425	0,158	0,4089	0,0033
43.	62,4	13,018	112	0,02098	0,2176	0,0253	0,0873	0,2266	0,0017
44.	63,7	13,010	122	0,01163	0,1316	0,0153	0,0484	0,1255	8,6E-04
45.	65,6	13,026	143	0,006446	0,0857	0,00995	0,0268	0,06959	4,1E-04

Tabellensymbole: t Zeitpunkt [min], ϑ Temperatur [°C], η Messwert Viskosität [mPa·s], v_z Beweg- bzw. Relativgeschwindigkeit zwischen Messkörper und Röhre [mm/s], F_z viskositätsbedingte Kraft am Messkörper [mN], τ Schubspannung [Pa], v_{max} maximale Strömungsgeschwindigkeit [mm/s], $\dot{\gamma}$ Schergeschwindigkeit [s⁻¹], Re Reynoldszahl.

- Tabelle 1 listet die wesentlichen Kennzahlen zu den einzelnen Messungen auf. Die zentrale Messgröße ist in der Spalte F_z angegeben; sie ist die 'rein-viskose' Kraft und zentrale Größe für die Berechnung der Viskosität durch die IMETER-Ringspaltgleichung. Sie wird nach Korrekturen aus der stationären Kraft (F_w) erhalten. Berücksichtigt werden die Auftriebskräfte von Zylinder (F_p) und Aufhängung (F_{hp}), der geschwindigkeitsproportionale Druckverlust durch die kinetische Energie und die Reibung in der Einlaufzone des 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 ausgegeben; $v_m = v_z \cdot r_a^2 / (r_a^2 - r_i^2)$), mit r_a Röhrenradius und r_i Zylinderradius) wird für die Berechnung der Reynoldszahl benötigt. $Re = \rho \cdot v_m \cdot d / \eta$, mit der charakteristischen Länge d , die (wie bei Rohrströmungen) für den Ringspalt aus dem hydrodynamischen Radius mit $d = 2(r_a - r_i)$ berechnet wird. Die Scherrate, Schergeschwindigkeit oder Deformation $\dot{\gamma}$, die für die Berechnung verwendet werden, ist berechnet als Geschwindigkeitsgradient unmittelbar an der Zylinderoberfläche.

Tabelle 2, Detaildaten zur Viskositätsmessung I.

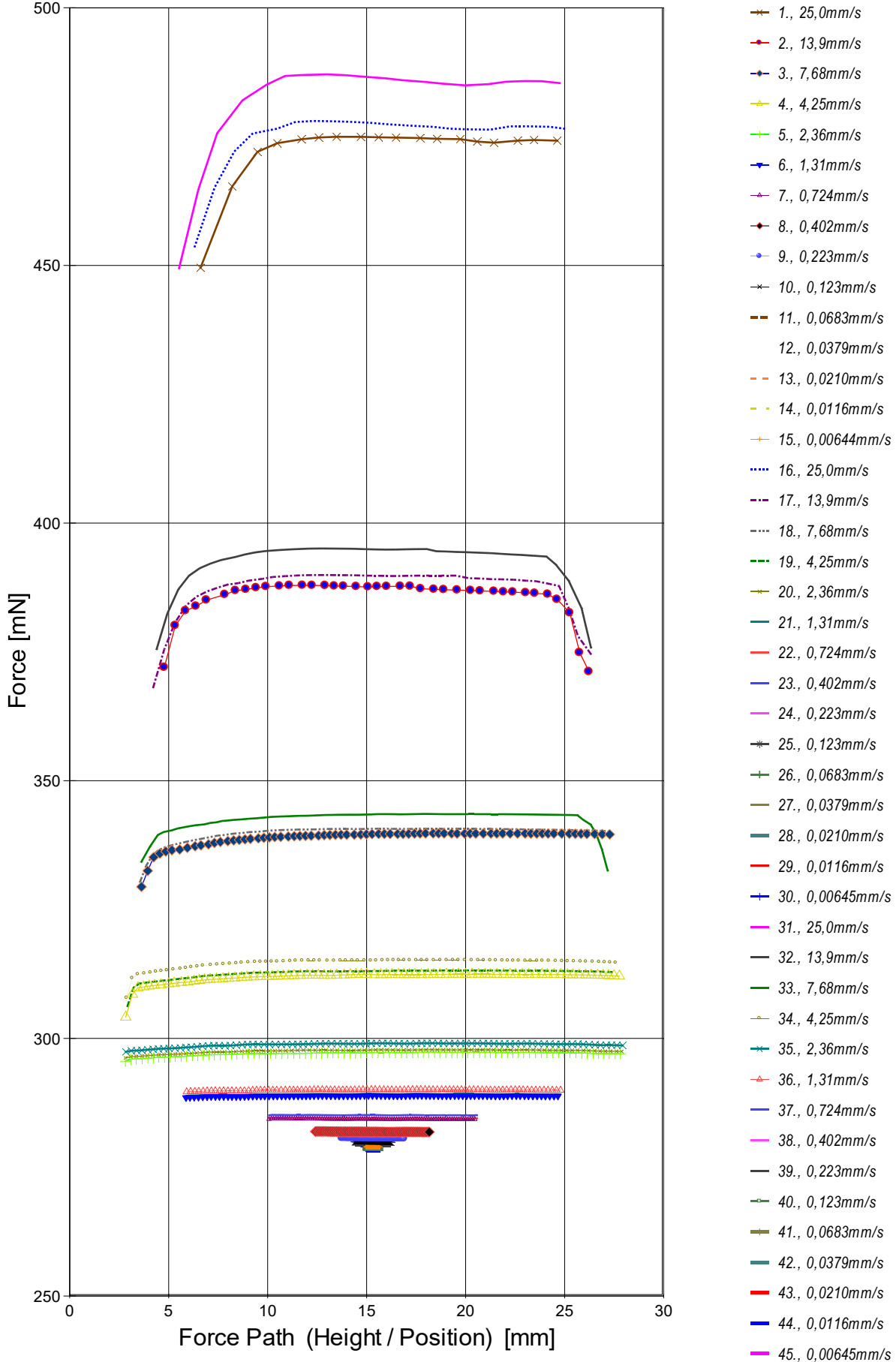
N°	F_w	σ_{Fw}	$\sigma_{Fw rel}$ -- Alle Werteinträge in [mN] --	F_p	F_{hp}	F_ζ	$F_{h\eta}$	N/n Datenauswahl
1.	474,1227	0,2720	0,57‰	278,8933	0,005198	0,498	0,0908	3/18
2.	386,5743	0,08944	0,23‰	278,8880	0,005207	0,153	0,0502	3/39
3.	339,7259	0,03740	0,11‰	278,8926	0,004947	0,0471	0,0270	36/75
4.	312,3687	0,06881	0,22‰	278,8909	0,005022	0,0144	0,0151	39/82
5.	297,2241	0,07561	0,25‰	278,8919	0,005013	0,00444	0,00824	43/89
6.	288,8491	0,03032	0,10‰	278,8887	0,004680	0,00136	0,00418	44/91
7.	284,2997	0,01471	52 ppm	278,8909	0,004233	4,18E-04	0,00205	44/91
8.	281,8448	0,01090	39 ppm	278,8888	0,003995	1,29E-04	0,00106	44/91
9.	280,5162	0,007887	28 ppm	278,8866	0,003868	3,95E-05	5,66E-04	44/91
10.	279,7914	0,00635	23 ppm	278,8862	0,00379	1,21E-05	3,08E-04	44/91
11.	279,3948	0,00377	14 ppm	278,8925	0,00374	3,73E-06	1,69E-04	39/92
12.	279,1753	0,00197	7,0 ppm	278,8923	0,00374	1,14E-06	9,54E-05	45/93
13.	279,0516	8,93E-04	3,2 ppm	278,8954	0,00374	3,51E-07	5,29E-05	46/95
14.	278,9858	0,00113	4,1 ppm	278,8914	0,00374	1,08E-07	3,22E-05	47/97
15.	278,9483	0,00125	4,5 ppm	278,8949	0,00374	3,31E-08	1,85E-05	47/97
16.	476,6921	0,2944	0,62‰	278,8937	0,004838	0,498	0,0856	6/20
17.	389,7782	0,03452	89 ppm	278,8899	0,004088	0,153	0,0406	7/41
18.	340,5660	0,1200	0,35‰	278,8920	0,004889	0,0471	0,0270	37/75
19.	313,1138	0,07281	0,23‰	278,8942	0,004986	0,0144	0,0153	39/81
20.	297,7170	0,08484	0,28‰	278,8929	0,005035	0,00444	0,00850	43/90
21.	289,1718	0,03624	0,13‰	278,8935	0,004709	0,00136	0,00434	44/92
22.	284,5068	0,01577	55 ppm	278,8929	0,004254	4,18E-04	0,00214	44/92
23.	281,9832	0,01100	39 ppm	278,8923	0,004004	1,29E-04	0,00111	44/92
24.	280,6058	0,008550	30 ppm	278,8885	0,003864	3,95E-05	5,96E-04	44/91
25.	279,8495	0,00609	22 ppm	278,8968	0,00379	1,21E-05	3,25E-04	44/92
26.	279,4306	0,00402	14 ppm	278,8897	0,00375	3,73E-06	1,82E-04	44/91
27.	279,1959	0,00139	5,0 ppm	278,8914	0,00374	1,14E-06	1,03E-04	45/93
28.	279,0645	0,00130	4,7 ppm	278,8908	0,00374	3,51E-07	5,88E-05	46/95
29.	278,9952	0,00102	3,6 ppm	278,8923	0,00374	1,08E-07	3,50E-05	47/97
30.	278,9539	0,00144	5,2 ppm	278,8934	0,00374	3,31E-08	2,08E-05	47/97
31.	485,4553	0,3227	0,66‰	278,8963	0,004871	0,498	0,0900	7/20
32.	394,9060	0,03709	94 ppm	278,8885	0,004051	0,153	0,0421	3/39
33.	343,4769	0,06145	0,18‰	278,8938	0,004848	0,0471	0,0281	32/73
34.	315,0700	0,1098	0,35‰	278,8897	0,004949	0,0144	0,0160	39/82
35.	298,9447	0,1117	0,37‰	278,8898	0,005013	0,00444	0,00901	44/90
36.	290,0013	0,04087	0,14‰	278,8875	0,004710	0,00136	0,00469	44/92
37.	285,0925	0,01463	51 ppm	278,8926	0,004260	4,18E-04	0,00237	44/92
38.	282,3730	0,01319	47 ppm	278,8925	0,004002	1,29E-04	0,00125	44/92
39.	280,8556	0,007846	28 ppm	278,8915	0,003863	3,95E-05	6,81E-04	44/91
40.	280,0012	0,003679	13 ppm	278,8874	0,003793	1,21E-05	3,79E-04	44/92
41.	279,5235	0,00284	10 ppm	278,8955	0,00375	3,73E-06	2,12E-04	44/91
42.	279,2541	0,00154	5,5 ppm	278,8897	0,00374	1,14E-06	1,23E-04	45/93

43.	279,1035	0,00194	7,0 ppm	278,8875	0,00374	3,51E-07	7,29E-05	46/95
44.	279,0194	0,00248	8,9 ppm	278,8895	0,00374	1,08E-07	4,41E-05	47/97
45.	278,9736	0,00210	7,5 ppm	278,8896	0,00374	3,32E-08	2,87E-05	47/97

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_z 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)

- In der Tabelle 2 sind die Mess- und Zwischenergebnisse zur Bilanzierung der Kräfte zusammengestellt. Die dabei in Betracht gezogene Messwerteauswahl ist in der letzten Spalte 'N/n' angegeben; durch den angewendeten Cutoff-Algorithmus werden Drückstöße und Pendelvorgänge besonders am Messkurvenanfang ausgeblendet (Das Diagramm 5, Force_Path, unterhalb, zeigt eine größere Wertemenge an, als für die Berechnung verwendet wird). Neben den statischen Korrekturen ist mit F_z die kinetischen Energie-Korrektur angegeben, die analog zu (Glas-) Kapillarkviskosimetern mit dem Faktor ζ der 'Hagenbach-Couette'-Korrektur entspricht: $F_z = 1/2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v_m^2 \cdot \zeta$

- 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 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 $\Sigma\sigma$ und Messunsicherheit $\Sigma\sigma_{rel}$. 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'	H _{Start}	L _{cn}	D _{RSP}	ΔD _{RSP}	Ø _{zyl.}	L _{zyl.}	Σσ	Σσ _{rel.}
	[μPa/mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[μm]	[mm]	[mm]	[mPa·s]	
1.	0,00314	6,610	18,020	1,496	0,972	13,0085	42,9936	0,85	1,0%
2.	0,00182	4,781	21,453	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,84	1,0%
3.	0,00435	3,626	23,652	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,86	1,0%
4.	0,00898	2,830	24,937	1,496	0,974	13,0085	42,9936	0,87	1,0%
5.	0,0240	2,813	25,008	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,91	1,1%
6.	0,0417	5,874	18,787	1,496	0,974	13,0085	42,9936	0,87	1,1%
7.	0,0544	10,067	10,401	1,496	0,974	13,0085	42,9936	0,85	1,1%
8.	0,0953	12,409	5,757	1,496	0,974	13,0085	42,9936	0,87	1,1%
9.	0,206	13,738	3,181	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,93	1,2%
10.	0,510	14,429	1,767	1,496	0,974	13,0085	42,9936	1,1	1,4%
11.	1,05	14,824	0,987	1,496	0,973	13,0085	42,9936	1,2	1,5%
12.	1,69	14,959	0,715	1,496	0,973	13,0085	42,9936	1,4	1,7%
13.	4,80	14,957	0,721	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,7	2,1%
14.	15,8	14,952	0,730	1,496	0,973	13,0085	42,9936	3	3,4%
15.	23,4	14,954	0,725	1,496	0,973	13,0085	42,9936	5,4	5,9%
16.	0,00824	6,317	18,769	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,86	1,0%
17.	0,00312	4,221	22,118	1,496	0,972	13,0085	42,9936	0,87	1,0%
18.	0,00653	3,558	23,705	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,89	1,0%
19.	0,00998	2,921	24,639	1,496	0,972	13,0085	42,9936	0,89	1,0%
20.	0,0256	2,814	25,070	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,95	1,1%
21.	0,0416	5,876	18,889	1,496	0,972	13,0085	42,9936	0,91	1,1%
22.	0,0636	10,094	10,471	1,496	0,972	13,0085	42,9936	0,88	1,1%
23.	0,102	12,414	5,804	1,496	0,971	13,0085	42,9936	0,9	1,1%
24.	0,242	13,707	3,192	1,496	0,971	13,0085	42,9936	0,98	1,2%
25.	0,597	14,427	1,785	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,1	1,3%
26.	1,69	14,823	0,981	1,496	0,971	13,0085	42,9936	1,3	1,5%
27.	1,69	14,959	0,717	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,3	1,5%
28.	6,48	14,957	0,720	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,9	2,1%
29.	15,6	14,953	0,730	1,496	0,972	13,0085	42,9936	2,9	3,0%
30.	31,7	14,954	0,726	1,496	0,971	13,0085	42,9936	5,8	5,6%
31.	0,00896	5,525	19,219	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,9	1,0%
32.	0,00395	4,391	21,938	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,91	1,0%
33.	0,00574	3,622	23,552	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,91	1,0%
34.	0,0121	2,878	24,707	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,96	1,1%
35.	0,0305	2,837	25,098	1,496	0,973	13,0085	42,9936	1,1	1,2%
36.	0,0459	5,907	18,889	1,496	0,972	13,0085	42,9936	0,99	1,1%
37.	0,0600	10,076	10,492	1,496	0,973	13,0085	42,9936	0,96	1,0%
38.	0,109	12,404	5,799	1,496	0,973	13,0085	42,9936	1	1,1%
39.	0,268	13,704	3,192	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,1	1,2%
40.	0,612	14,429	1,781	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,1	1,1%
41.	1,43	14,825	0,980	1,496	0,971	13,0085	42,9936	1,3	1,3%
42.	3,29	14,959	0,718	1,496	0,972	13,0085	42,9936	1,4	1,3%
43.	7,25	14,957	0,719	1,496	0,972	13,0085	42,9936	2,3	2,1%
44.	21,7	14,952	0,730	1,496	0,973	13,0085	42,9936	4,3	3,5%
45.	28,7	14,954	0,726	1,496	0,972	13,0085	42,9936	6,9	4,8%

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 [μPa/mm], *H_{Start}* Positionshöhe des ersten Messwertes zur stationären Kraft [mm], *L_{cn}* 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], *Ø_{zyl.}* Durchmesser des Messzylinders [mm], *L_{zyl.}* Länge des Messzylinders [mm] . *Σσ* Absolute Summe der Unsicherheitsbeiträge, die dem jeweiligen Viskositätswert beigeordnet wird [mPa·s] und *Σσ_{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 (ΔF/Δs); Steigungen im Verlauf der Stationärkraft werden ebenfalls in '*Noise*' aufsummiert und bilanziert. Als oszillierende Mikrobeschleunigungen mit Extremwerten bei bestimmten Scherraten (und Proben) kann der Resonanzeffekt auf Inhomogenitäten in der Probe hindeuten. Die folgenden Rubriken geben gemessene und berechnete geometrische Gegebenheiten der jeweiligen Messung wieder. Die individuellen Gesamtfehlersummen werden in den beiden letzten Spalten ausgegeben; bei idealer Kalibrierung und konformem Aufbau ist der tatsächlich einzuräumende Gesamtfehler um die bedeutenden Beiträge aus den geometrischen Unsicherheiten vermindert!

• 4. DICHTE - MESSUNG

44 Messwerte; Zeitbereich 17 bis 65 min, Temperatur ΔT=0,039 K (θ=13,014 ±0,010°C)

Ergebniswert bei 26 min: $\rho_{13,01^\circ\text{C}} = 1,02207 \pm 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ bzw. $\pm 68 \text{ ppm}$ (286,16 K, 96,41 kPa)

Streuung: $7,0 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ absolute bzw. **68 ppm** relative Standardabweichung

Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

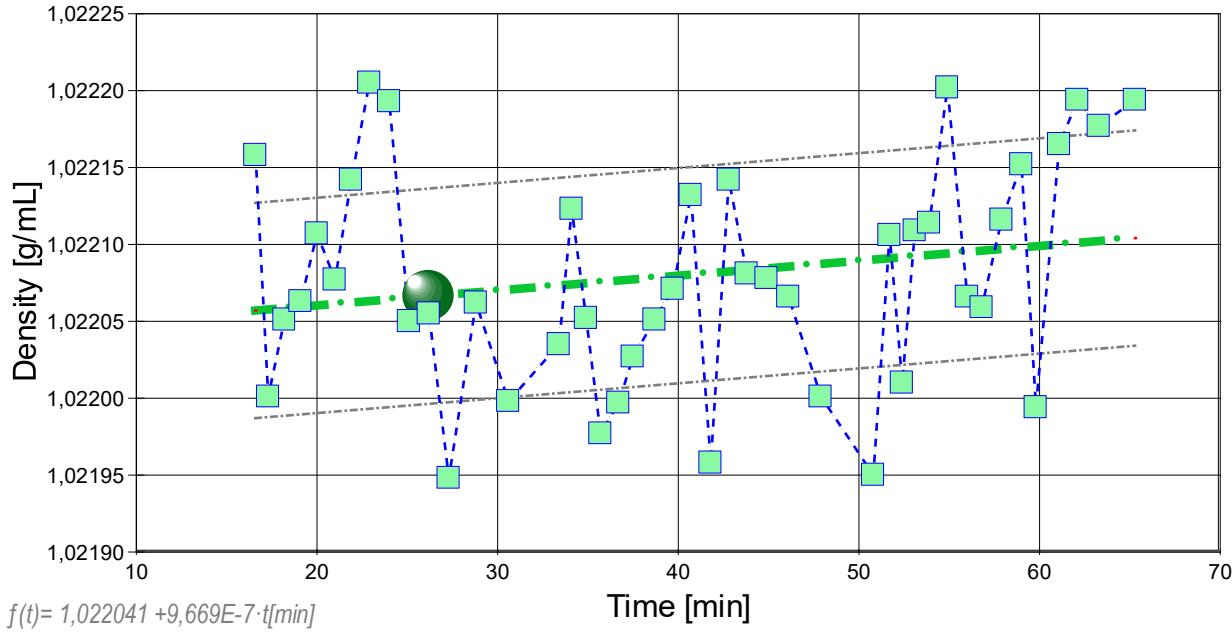
Zeitzusammenhang durch Regression zwischen Minute 17 und 65:

$$\rho (t[\text{min}]) = 1,022041 + 9,669\text{E-}7 \cdot t \quad \text{mit } r^2=0,04, s^2=4,97\text{E-}9$$

- Die im Vergleich mit dem Wert der Fortpflanzung der Messunsicherheit von ±5,1E-5 g/cm³ relativ große Standardabweichung zwischen Gleichung und Messwerten (±7,0E-05 g/cm³) 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 'r²=0,04' eine schlechte Korrelation anzeigt).

Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen quantifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

→ Diagramm 6. Zeitverlauf der Dichtemesswerte - ' ρ -f(t)'²



--■ IDN°18423, 44 Measurements --- ± 0,00007 g/cm³
-.- noneth-8, lin. equation f(t) • 26,2[min]: 1,02207 g/cm³

- 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°18423	t [min]	θ [°C]	ρ [g/cm³]	H [mm]	ω [s]	Δρ _ω [g/cm³]	N Werte & Trend	F _A [mN]	F _{kor.} [mN], TSymb.
[1.	15,9	13,016	1,02243	2,248	3,3	-4,2E-05	3 ₃₂ →	278,8933	0,0178 #]*
2.	16,6	13,010	1,02216	2,248	4,1	-5,7E-05	4 ₃₂ ↗	278,8880	0,0015 ‡
3.	17,3	13,007	1,02200	2,248	6,7	-1,5E-04	7 ₃₂ ↘	278,8926	-0,0001 ‡
4.	18,2	12,994	1,02205	2,248	4,1	-7,7E-05	4 ₃₁ ⇔	278,8909	0,0001 ‡
5.	19,1	13,000	1,02206	2,248	4,2	-5,2E-05	4 ₃₂ ↗	278,8919	0,0015 ‡
6.	20,0	13,000	1,02211	2,248	3,2	-7,2E-05	3 ₃₃ ↘	278,8887	0,0002 ‡
7.	21,0	12,998	1,02208	2,248	4,1	-2,7E-05	4 ₃₂ ⇔	278,8909	0,0011 ‡
8.	21,9	12,994	1,02214	2,248	4,1	-1,5E-04	4 ₃₃ ↘	278,8888	0,0016 ‡
9.	22,9	13,007	1,02221	2,248	3,2	-1,2E-04	3 ₃₂ ↘	278,8866	0,0019 ‡
10.	24,0	12,996	1,02219	2,248	9,7	-0,0012	11 ₃₀ ⇔	278,8862	0,0010 ‡
11.	25,1	13,002	1,02205	2,248	5,7	-9,1E-05	6 ₃₁ ↑	278,8925	0,0016 ‡
12.	26,2	13,010	1,02205	2,248	4,2	-1,5E-04	4 ₃₁ →	278,8923	0,0016 ‡
13.	27,3	13,014	1,02195	2,248	5,7	-1,3E-04	6 ₃₁ ↑	278,8954	0,0005 ‡
14.	28,8	13,014	1,02206	2,248	3,3	-1,0E-04	3 ₃₁ ⇔	278,8914	0,0010 ‡
15.	30,6	13,014	1,02200	2,248	4,9	-8,9E-05	5 ₃₃ ←	278,8949	0,0020 ‡
16.	33,4	13,009	1,02203	2,248	4,9	-6,9E-05	5 ₃₂ ⇔	278,8937	0,0023 ‡
17.	34,1	13,018	1,02212	2,248	3,2	-9,6E-05	3 ₃₂ ⇔	278,8899	0,0020 ‡
18.	34,9	13,015	1,02205	2,248	5,6	-1,5E-04	5 ₃₄ ⇔	278,8920	0,0012 ‡
19.	35,7	13,022	1,02198	2,248	8,1	-1,1E-04	9 ₃₁ ⇔	278,8942	0,0005 ‡
20.	36,7	13,014	1,02200	2,248	4,2	-8,2E-05	4 ₃₃ →	278,8929	0,0001 ‡
21.	37,5	13,016	1,02203	2,248	14,0	-9,3E-04	16 ₃₂ ←	278,8935	0,0018 ‡
22.	38,7	13,023	1,02205	2,248	4,2	-1,1E-04	4 ₃₀ ⇔	278,8929	0,0022 ‡
23.	39,7	13,024	1,02207	2,248	5,9	-2,4E-04	6 ₃₂ ←	278,8923	0,0023 ‡
24.	40,7	13,030	1,02213	2,248	5,0	-1,9E-04	5 ₃₂ ↑	278,8885	0,0010 ‡
25.	41,8	13,017	1,02196	2,248	7,3	-1,6E-04	8 ₃₃ ↘	278,8968	0,0023 ‡
26.	42,8	13,027	1,02214	2,248	3,2	-5,7E-05	3 ₃₁ ←	278,8897	0,0026 ‡
27.	43,8	13,026	1,02208	2,248	3,3	-7,4E-05	3 ₃₁ ←	278,8914	0,0018 ‡
28.	44,9	13,025	1,02208	2,248	6,8	-2,9E-04	7 ₃₁ ⇔	278,8908	0,0011 ‡
29.	46,1	13,024	1,02207	2,248	11,9	-5,5E-04	13 ₃₂ ↘	278,8923	0,0021 ‡
30.	47,9	13,030	1,02200	2,248	13,5	-7,8E-04	15 ₃₂ ↓	278,8934	0,0007 ‡
31.	50,8	13,017	1,02195	2,248	9,1	-1,4E-04	10 ₃₄ ↗	278,8963	0,0015 ‡
32.	51,7	13,014	1,02211	2,248	3,3	-4,0E-05	3 ₃₂ ↓	278,8885	0,0000 ‡
33.	52,4	13,013	1,02201	2,248	9,0	-1,7E-04	10 ₃₂ ↘	278,8938	0,0014 ‡
34.	53,1	13,005	1,02211	2,248	9,2	-5,9E-04	10 ₃₁ ⇔	278,8897	0,0012 ‡
35.	53,9	13,005	1,02211	2,248	12,3	-6,6E-04	14 ₃₃ ←	278,8898	0,0015 ‡
36.	54,9	13,017	1,02220	2,248	6,5	-3,4E-04	7 ₃₂ ↘	278,8875	0,0028 ‡
37.	56,0	13,013	1,02207	2,248	4,8	-1,1E-04	5 ₃₂ ⇔	278,8926	0,0025 ‡
38.	56,8	13,010	1,02206	2,248	15,0	-0,0010	17 ₃₀ ↑	278,8925	0,0020 ‡
39.	57,9	13,015	1,02212	2,248	4,9	-1,6E-04	5 ₃₃ ↑	278,8915	0,0033 ‡
40.	59,0	13,028	1,02215	2,248	6,8	-3,5E-04	7 ₃₂ ←	278,8874	0,0006 ‡
41.	59,8	13,033	1,02199	2,248	20,3	-0,0011	23 ₃₁ →	278,8955	0,0025 ‡
42.	61,1	13,017	1,02216	2,248	10,2	-6,3E-04	11 ₃₂ ⇔	278,8897	0,0035 ‡
43.	62,1	13,019	1,02219	2,248	10,7	-6,7E-04	11 ₃₂ ⇔	278,8875	0,0025 ‡
44.	63,3	13,017	1,02218	2,248	13,9	-7,7E-04	16 ₃₁ ↗	278,8895	0,0038 ‡
45.	65,3	13,031	1,02219	2,248	9,1	-3,5E-04	10 ₃₁ →	278,8896	0,0046 ‡

*[Die Messung N° 1 wurde durch den Prüfer von den Ergebnissen ausgenommen.]

Tabellensymbole: t Zeitpunkt [min], ϑ Temperatur [°C], ρ Dichte [g/cm³], H Positionshöhe der Messkörperunterkante über der Nullhöhe beim Dichtemesswert [mm], ω Beobachtungsdauer der aufgezeichneten Auftriebsmessung [s], $\Delta\rho_\omega$ Dichteänderung in der Beobachtungszeit [g/cm³], N Anzahl Auftriebsmesswerte ggf. mit Wägwertezahl und Trend anzeigenden Symbolen, F_A Gewicht des Messkörpers in der Probe (Roh-wert der Auftriebskraft) [mN], $F_{\text{korr.}}$ 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 ($H=0$ mm). Die zu $F_{\text{korr.}}$ 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 *BayStII_13.0/PA1*, ^{b)} IdentN° 7081, ^{c)} Spaltweite 1,495 mm.

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

^{f)} **Messkörperdaten:** Messzylindermasse 32,5795 ±0,00025 g, ~volumen 4,06042 ±0,0002 cm³, ~durchmesser 13,011 ±0,001 mm, ~länge 43,002 ±0,001 mm, ~kub. Ausdehnungskoeffizient 48,735·10⁻⁶K⁻¹. ^{g)} **Messzylindersuspension:** Querschnitt 0,021 mm², Umfang 0,515 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)} Offset-Korrektur: $F_\theta = 0,002$ mN.^{m)} Höhe der Flüssigkeitssäule über der Nulllage: 71,9 mm, max. Bewegungstrecke in der Phase: 28,9 mm.

ⁿ⁾ **Messunsicherheiten des Ergebnisses:** Die Unsicherheit der Viskositätsangabe wurde aus dem Mittelwert der relativen Messunsicherheiten der Einzelmessungen zu 1,6% bestimmt; die ^{o)} Messunsicherheit der Dichte ±0,00007 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 finished as projected.

(the digital twin of process IDN°18423 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZA224) wurde im Messablauf und bereits 49,6 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} 8,00 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° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN°2, -25/152°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion: -0 +0,998743· $\vartheta^\circ\text{C}$). Die Messauflösung der sekundären

Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.2.81, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

Justierung der Wägezelle während der Messung:

at 14,8 min, Adjustment -0,0001 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 'imeterData36.cal' gesondert gespeichert).

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m ³]
13,6	37,01	25,23	95,904	1,1148
32,9	36,54	25,46	95,929	1,11421
50,3	36,384	25,58	95,949	1,11399

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:

Diagramm 4, die Zeitachse der Viskositätsmesswerte, zeigt 3 steigende Bögen zu den 3x Schergeschwindigkeits-Scans. => Insgesamt Viskositätszunahme im Verlauf und tendenziell steigt auch die Dichte an. Beide Effekte deuten als ursächlich auf die Bildung flüssigkristalliner Strukturen bei der Temperatur hin. Der Visko-Effekt ist nicht linear über die Scherrate verteilt: Bei 0,07 /s¹: kumulativer Anstieg +53 % über 3 Zyklen. Bei ~0,13 /s¹ +37 %. Bei ~2,4 /s: +21 %. Bei ~270 /s¹ +6 %. Diese Messung an dem nichtionischen Tensid zeigt typische Merkmale von "shear-induced structuring" (Je nach Fragestellung zu Materialeigenschaften und Strukturbildung können solche Phänomene besonders intelligent mit der Methode "M5 DiVA Rheo-Random-Rates" und KI-Analyse untersucht werden.)

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