

Beitrag zur wechselseitigen Validierung der physikalisch-mathematischen Methode sowie der metrologischen Tensiometrie der IMETER-Ringmethoden M1/M2 - - - **Experimentelles.**

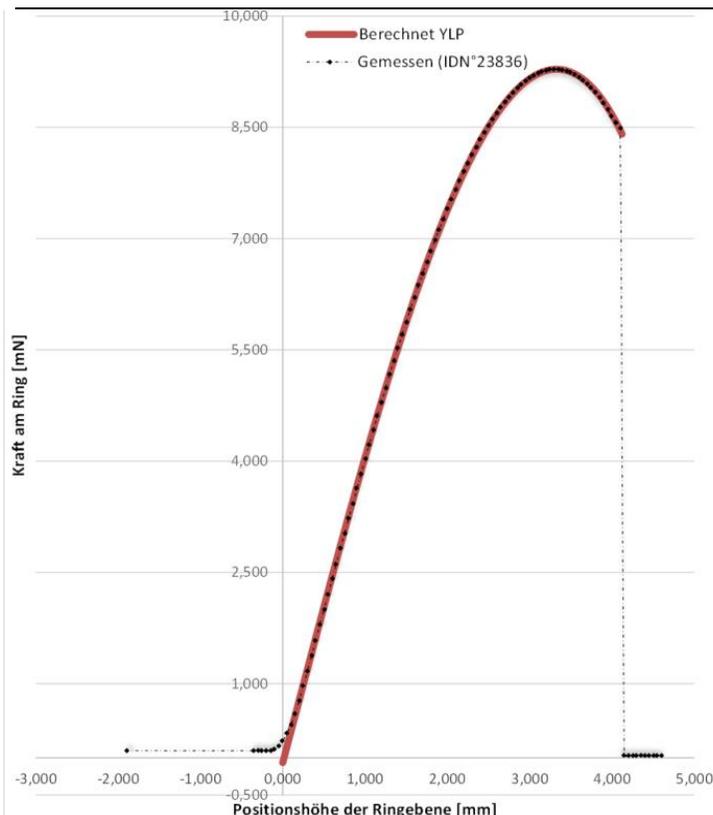
Kontext: <https://www.imeter.de/imeter-methoden/oberflaechenspannung-und-grenzflaechenspannung/ringmethode-m1.html?view=article&id=122:ring-methode&catid=24:oberflaechen-und-grenzflaechenspannung>. Link zum PDF von BEISPIEL ② (Messung bei konstantem Niveau und Kontaktwinkel): https://imeter.de/images/ART/M1_2/YLP/ID23844%20Wasser%20KoWiKonstP%20YLP%20extended.pdf

Zusammenstellung des Datensatzes, der Zusatzinformationen und des Arbeitsalgorithmus' zur Messung eines einzigen Wertes der Oberflächenspannung an reinem Wasser und Vergleich mit theoretischen Ergebnissen

1. Eine Einleitung
2. Der Prüfbericht / Verfahrens- und Ergebnisdokumentation
3. Diagnose- und Überprüfungsmöglichkeiten des Datensatzes der Messung
4. Quelltext des Steuerprogramms (IMPro, Arbeitsalgorithmus)
5. Daten aus der theoretischen Berechnung und der Messung



BEISPIEL ① - Messung der Oberflächenspannung von Wasser mit einem *DIN-Standardring*



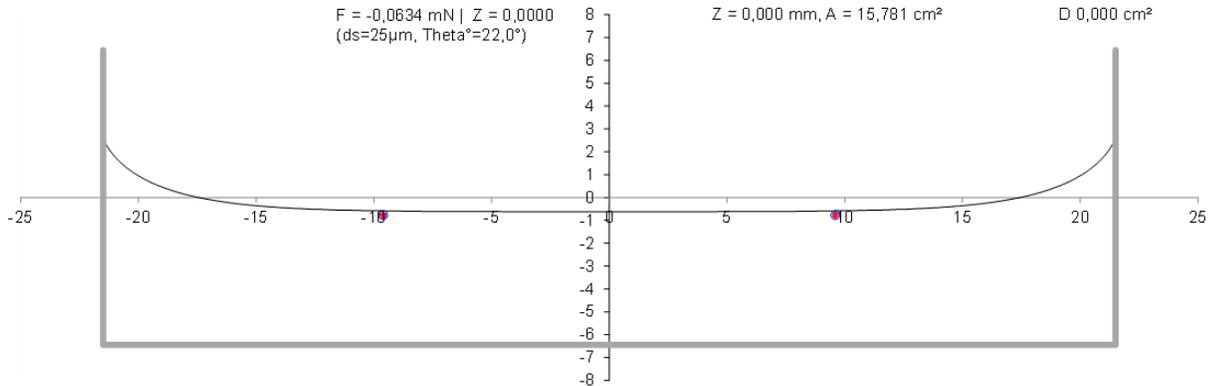
IMETER M1 – Ringmethode, Messung der statischen Oberflächenspannung.

Das Diagramm zeigt zwei nahezu deckungsgleiche Kurven, die den Kraft-Wegverlauf beim Herausziehen eines DeNoüy-Ringes aus einer Wasseroberfläche wiedergeben.

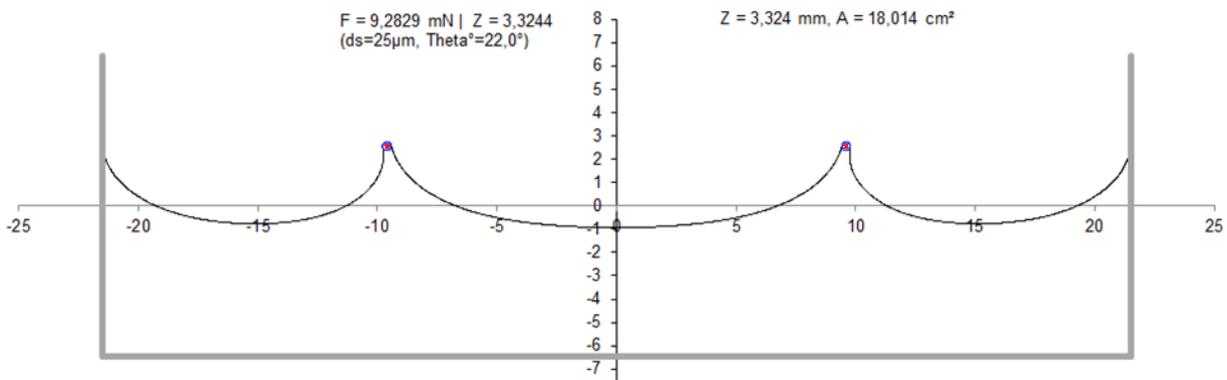
Die durchgezogene rote Linie markiert den theoretisch berechneten Kraftverlauf, die schwarzen Punkte repräsentieren Kraftmesswerte der physischen Messung. Die Berechnung trifft die Wirklichkeit.

Abb. 1: Kraft-Weg-Diagramm vom gesamten Lamellenauszug bis zum Abreißen des Rings bei $x=4\text{mm}$. Bei $x=0$ berührt der Ring die Wasseroberfläche von unten kommend. Messung und Berechnung weichen links, am Kurvenanfang voneinander ab, da an den senkrecht angeschweißten Ringstreben zusätzliche Benetzungskräfte auftreten. Im Wesentlichen sind die Kurven deckungsgleich.

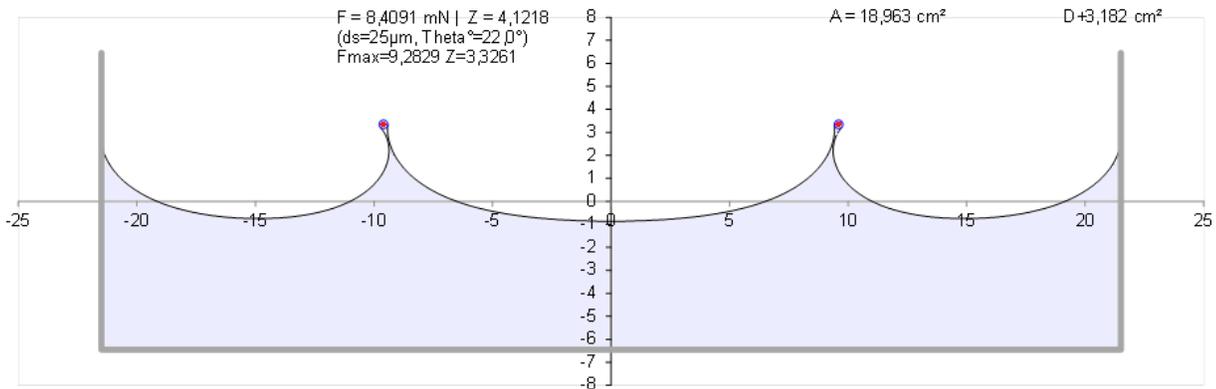
Ausgangszustand (ungestörte Oberfläche)



Situation bei maximaler Kraft am Ring



Kurz vor Lamellenabriss vom Ring



Querschnittszeichnungen mit Gefäß, Ring und berechneter Oberflächenkontur in der rotations-symmetrischen Anordnung gemäß dem Aufbau in der physischen Messung. Die drei Profilkurven entsprechen Ausgangszustand, Maximalkraft und kurz vor Lamellenabriss. Die Lamelle bricht in der Wirklichkeit wie auch in der Berechnung - in der Berechnung ist es der *Berührungspunkt zweier Tangenten*. Die freie Wasseroberfläche (bei anfangs 22° Kontaktwinkel zur Gefäßwand) steigt von 15,78 cm² auf 18,96 cm² um 3,18 cm². *Im Bereich der Maximalkraft ändert sich die Kraft mit dem Weg relativ wenig, jedoch steigt die absolute Oberfläche von der Position der Maximalkraft bis zum Lamellenabriss um nahezu 1 cm².*

Der nachfolgende automatische Prüfbericht dokumentiert die tatsächliche Messung in *gleicher* Geometrie.

automatic Report (856C99N16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 13. Sep 24

ID N° 23836 - Surface Tension

Executed on Aug 17, 2024, by M. Breitwieser

Wasser (ohne KoWiKonst.-Pumpe)

Einzelmessung einer vollständigen Messkurve. Realitätsprüfung zu Verlauf und Ergebnis des YLP-Auswertungsalgorithmus' an destilliertem Wasser, CO2-frei, luftgesättigt (frisch dest. Wasser nach 2 Wochen unter KOH-Gärröhrchen [Gaßner] belüftet, $LF < 1 \mu S/cm$).

Flüssigkeit/Vergleich: 'Wasser'

Result: $\gamma_{25,013^\circ C} = 72,01 \pm 0,11 \text{ mN/m}$

Report

Automatisch generierter Bericht mit Erklärungen. Diese sind formatiert wie dieser Text.

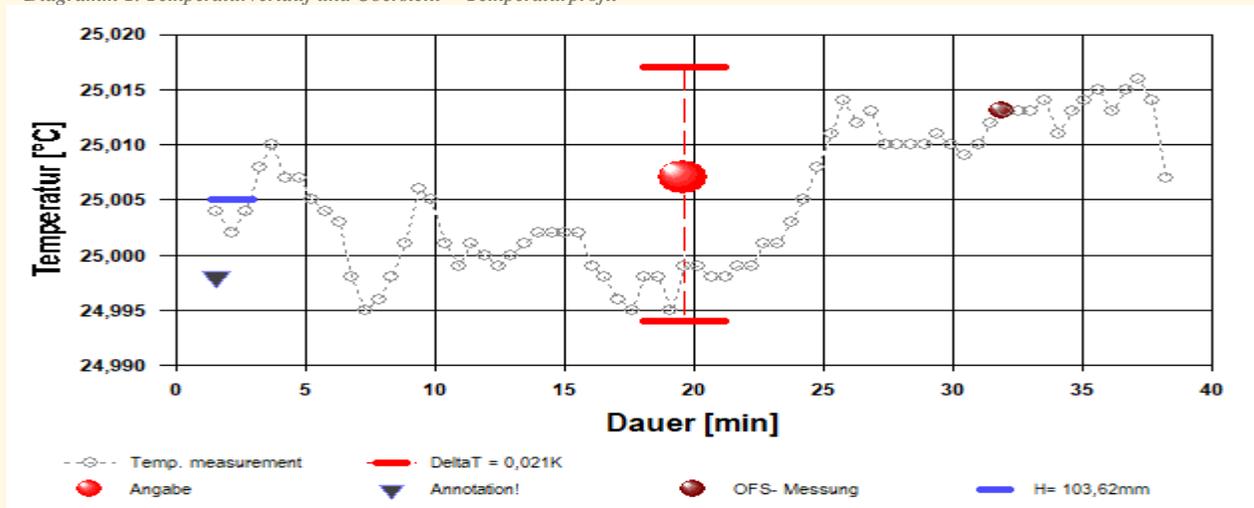
• 1. Eigenschaft und Methode

Die *Oberflächenspannung* γ ist die kohäsiv wirkende Kraft, die eine flüssige Phase zusammenhält und die zwischenmolekulare Anziehungskräfte ausdrückt. Die Einheit 'mN/m' (Kraft pro Länge bzw. 'mJ/m²', Arbeit pro Fläche) bedeutet eine reversible Energiemenge, die aufzuwenden ist, um 1 m² neue Oberfläche zu schaffen bzw. die freigesetzt wird, wenn Oberfläche (z.B. durch Vereinigung von Tröpfchen) verschwindet. Das Augenscheinliche der Eigenschaft Oberflächenspannung besteht in der mehr oder weniger leichten Verformbarkeit der flüssigen Oberfläche. Die hier zur Messung angewandte *Ringmethode* beruht auf Kraftmessung bei *Deformation der Oberfläche*: Ein waagerechter Draht wird in die Flüssigkeit getaucht und herausgehoben. Beim Herausziehen wächst die Zugkraft durch die angehobene Flüssigkeitsmenge und nimmt einen parabelförmigen Verlauf an. Entscheidend ist die im Parabelscheitel vorliegende Maximalkraft. Sie entspricht im Verhältnis zum Ringumfang der Oberflächenspannung. Als Gegenkraft wirkt unter der Fallbeschleunigung das gehobene Flüssigkeitsgewicht - mithin die Dichtedifferenz $\Delta\rho$ zwischen Probe und Luft bzw. dem gesättigten Dampf. Für den exakten Oberflächenspannungswert wird auf den Wert der Maximalkraft ein Korrekturfaktor f_k angewendet. Zur Behebung der systematischen Abweichung gibt es verschiedene Algorithmen, benannt nach ihren Entwicklern. Zu bevorzugen ist die Berechnung nach *Young-Laplace-Petzoldt* oder *Harkins & Jordan*, d.h. die Verwendung der klassischen Korrektortabellen - auf der auch andere Algorithmen beruhen. Weiterhin zur Berechnung - um kleine Abweichungen zu korrigieren, die auf der Unvollkommenheit der Ringgeometrie beruhen - wird ggf. ein Kalibrierfaktor f_G durch Justierung der Anzeige mittels einer Standardflüssigkeit eingesetzt. Das ausgewählte Berechnungsverfahren wird in diesem Bericht nebst aller Eingangsdaten angegeben.

• 2. Übersicht, Temperatur

Die Oberflächenspannung wurde einmal gemessen, Nettodauer des Messablaufs 40 Minuten; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum in etwa isotherm bei 25,0°C.

- Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 'Temperaturprofil'



1,5' : Kontaktwinkel Gefäßwand ~ 0-30°

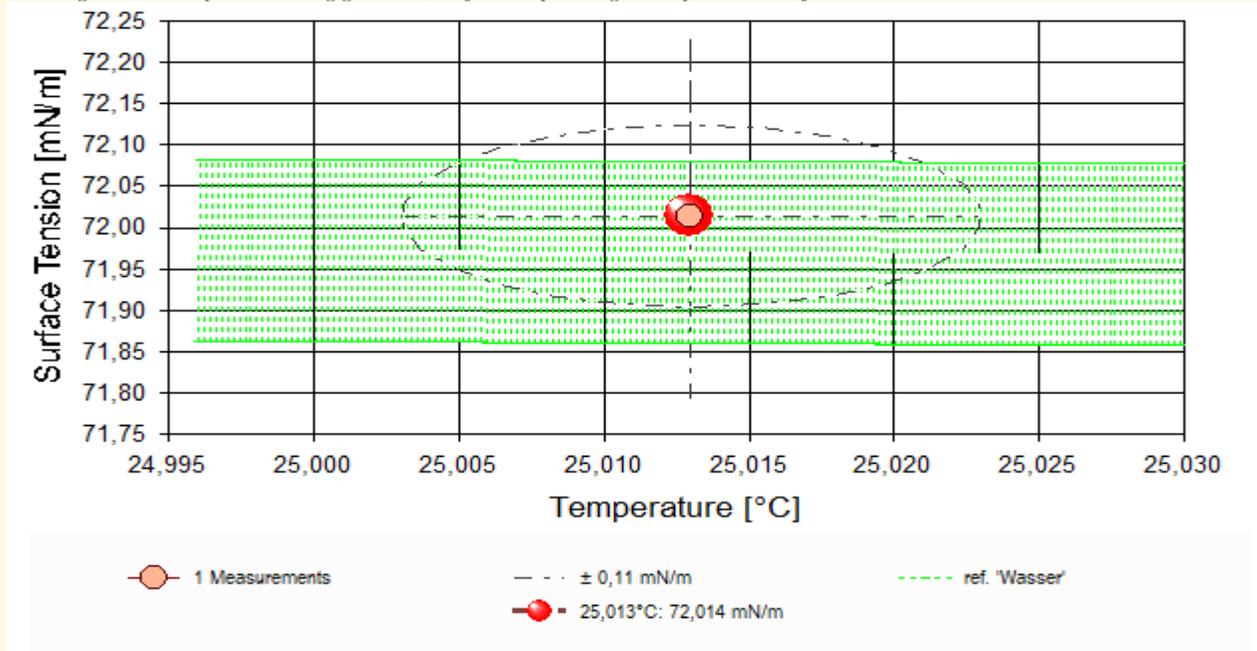
- Die zur Laufzeit der Messung vom Prüfer eingegebenen Bemerkungen werden hier wiedergegeben, wobei am Anfang der Zeile der Eintragszeitpunkt als Minutenzahl angegeben ist.
- Im Diagramm "Temperaturprofil" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der jeweils aufgezeichneten Temperatur gezeigt. Die Zeitachse beginnt mit dem Startzeitpunkt dieser Messung. -- Die Kreismarkierungen zeigen die einzelnen Temperaturmesswerte an, die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung jeweiliger Messwerte der Oberflächenspannung. Eine größere kugelförmige Markierung gibt den Zeit/Temperatur-Angabewert in der Dokumentation des gesamten Messprozesses an. Mit dem kurzen blauen Strich wird der Zeitpunkt der Bestimmung des Flüssigkeitspegels (Niveauhöhe) im Messgefäß angegeben. Das Dreieck zeigt den Zeitpunkt, zu dem vom Prüfer die oben angegebene Anmerkung in das Protokoll eingetragen wurde.

• 3. Ergebniszusammenfassung

Ein Messwert bei 25,013°C, nach 31,9 min

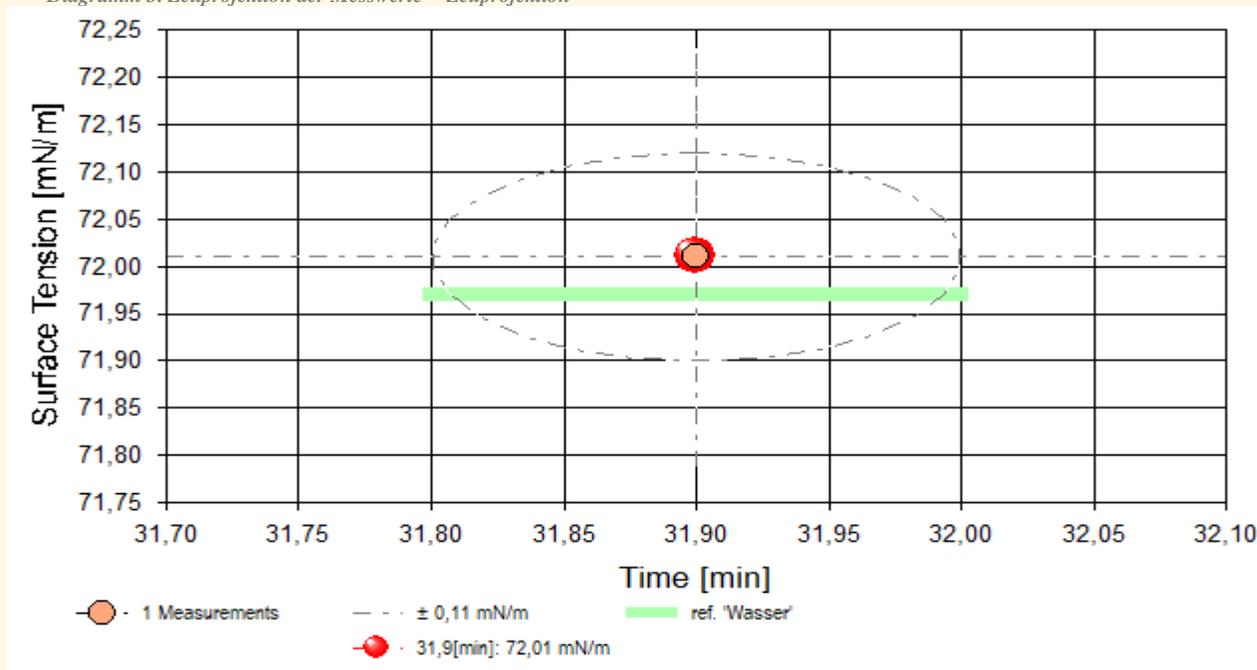
Ergebnis: 72,01 ± 0,11 mN/m

– Diagramm 2. Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung - 'Temperaturverlauf'



– Das Diagramm "Temperaturverlauf" zeigt die einzelnen Messwerte der Oberflächenspannung als Kreissymbole in Abhängigkeit von der Temperatur an. Um den Angabewert ($\gamma_{25,013^\circ\text{C}} = 72,01 \text{ mN/m}$) ist der Bereich der Messunsicherheit als dünn gestrichelte Kreislinie dargestellt. Als fein schraffierter Bereich ist der Datenbank-Referenzwert von 'Wasser' in der Breite der angenommenen Messunsicherheit eingezeichnet.

– Diagramm 3. Zeitprojektion der Messwerte - 'Zeitprojektion'



– Im Diagramm "Zeitprojektion" sind die einzelnen Messwerte als Kreissymbole in der zeitlichen Reihenfolge eingetragen. Um die Messwerte ist der Bereich der Messunsicherheit eingezeichnet. Der ausgewiesene Angabewert ist als dickere, gestrichelte, waagerechte Linie eingezeichnet. Als gestrichelte Linie werden Datenbank-Referenzwerte von 'Wasser' temperaturkompensiert eingezeichnet.

Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

t	ϑ	n_{Pos}	ΔZ	H_γ	W_γ	γ	$\tau_{\text{rel.}}$	$\Delta\rho$
[min]	[°C]	-	[mm]	[mm]	[mg]	[mN/m]	[s]	[g/cm ³]
31,9	25,013	100	4,949	3,86	946,49	72,01	1745,4	0,9959

In der Tabelle gibt t den Zeitpunkt des Messwertes und ϑ die zugehörige Temperatur an. n_{Pos} steht für die Anzahl der Kraft/Positionswerte der Messkurvenabstimmung über die Strecke ΔZ . Die Spalte H_γ gibt die Lamellenhöhe im Scheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an. An dieser Stelle beträgt das Gewicht der

Lamelle exakt W_γ . Diese Gewichtskraft ist unter den Messumständen proportional zur daraus berechneten Oberflächenspannung γ . Die Zeitspanne τ_{rei} gibt die Dauer beim Auszug der Lamelle bis zum Erreichen des Scheitelpunktes an. In der Spalte $\Delta\rho$ ist die Dichtedifferenz (d.h. der Dichte von Wasser abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

• 4. Auswertungsverfahren & Messkörper

Berechnung: Laplace-Petzoldt.

Messring: Ring N°1, mittlerer Ringradius $R = 9,6$ mm, Drahradius $r = 0,185$ mm, linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Berechnung ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G \equiv 1$); Innendurchmesser des Messgefäßes $\varnothing = 43,0$ mm.

Probensubstanz: Wasser, Dichte $\rho = 0,997042 \text{ g/cm}^3$ (bei $25,013^\circ\text{C}$); die Dichtedifferenz $\Delta\rho$ wird zur jeweiligen Temperatur mit der Referenzfunktion berechnet.

- Die geometrischen Angaben zum Messring beziehen sich auf die Bezugstemperatur 25°C . Von der Flüssigkeitsdichte wird stets die zur Messung vorliegende Luftdichte ρ_a abgezogen. Die Berechnung der Dichte ρ zur jeweils vorliegenden Temperatur erfolgt mittels vorhandener Referenzdaten zu Wasser automatisch. Hierzu wird die Gleichung $\Delta\rho [\text{g/cm}^3] = f(9[^\circ\text{C}]) = (99983.952 + 1695.2577 \cdot 9 - 0.79905127 \cdot 9^2 - 4.6241757 \cdot 9^3 + 1.0584601 \cdot 9^4 - 2.8103006 \cdot 9^5) / (1e5 + 1688.7236 \cdot 9) - \rho_a$ verwendet.

Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

F_{max} [mN]	F_{bz} [mN]	f_k	v_z [mm·s ⁻¹]	X [mm]	t_x [s]	ΩK
9,1917	-0,0912	0,93587 p	0,00212	4,603	1992,66	¹ kS

F_{max} gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (=Maximalkraft); der Kraftbezugswert ist mit F_{bz} bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_k \cdot W_\gamma / (4\pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_\gamma = (F_{\text{max}} - F_{\text{bz}} + F_{\text{Ringauftrieb}}) \cdot g$. Der Faktor f_k der die Ringgeometrie und Dichteverhältnisse berücksichtigt, kann nach verschiedenen Rechenverfahren bestimmt werden, die jeweils in technischen Normen vorgeschrieben sein können. Um die Herkunft des Faktors f_k kenntlich zu machen, wird ein angehängtes Zeichen zugefügt: **h** steht für (interpolierte) Werte aus den original Harkins und Jordan Tabellen ('h' zeigt nicht interpolierbare Randlagen in der Tabelle an), **f** steht für die Tabellen nach Fox und Chrisman, **z** für Zuidema und Waters, **p** steht für den IMETER/Petzoldt'schen Lösungsalgorithmus, der die zugrundeliegende Differenzialgleichung adressiert sowie **w** für die unkorrigierte 'F/2U'-Berechnung des Näherungswertes. Mit v_z wird die Abzugsgeschwindigkeit angegeben, also die Geschwindigkeit, mit der Ring und Flüssigkeitsoberfläche zur Messung auseinander bewegt wurden. Falls während des Lamellenauszugs ein Bruch der Flüssigkeitlamelle auftrat, gibt X die Bruchhöhe und t_x dafür den relativen Zeitpunkt an.

Die Angabe ΩK ist das Klassifizierungskennzeichen der Messkurve: ¹ steht für eine Messkurve mit wenigen Sekunden zuvor frisch ermittelter Bezugskraft; bei ² wurde die Bezugskraft übernommen; ³ bedeutet ohne Bezugskraft (tariert); 'k' bezeichnet vollständige Kurvenzüge, 'p' Teilkurven, 's' Einzelpunkt, 'r' Sonderformen; 'D' steht für dynamische Messkurven, 'S' für statische Mehrpunkt- oder 'M' Einzelpunktmessungen. Ein 'x' wird angehängt, wenn der Messwert unsicher ist und aus nicht-idealen Messkurven ermittelt wurde, z.B. bei verzerrter Parabelform.

DIN 53914 - zur Bestimmung der Oberflächenspannung - fordert für den Prüfbericht den Hinweis auf die Norm und einen Teil der hier gegebenen Angaben. Mit dem Hinweis auf den durchgängigen Einsatz des Absolutverfahrens gilt auch Konformität mit ASTM D 1331 und ISO 6889. Zusätzliche Angaben zu Art, Zubereitung und Alter der Probe sollten - für einen normgerechten Prüfbericht - über das Bemerkungsfeld des Datenblattes oder über die Kommentarfunktion (auch nach Messung) dem Bericht beigefügt sein.

- Diagramm 4. Messkurven - Grundlage der Bestimmung der Oberflächenspannung - 'Measuring Curves²'



- Im Diagramm "Measuring Curves²" werden die zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte als 'Messkraft' gegen 'Lamellenhöhe' für alle Messpunkte der eine Messkurve dargestellt. Eine Messkurve beschreibt einen Oberflächenspannungswert. Die Lamellenhöhe ist der über Kraft, Dichte und Gefäßoberfläche korrigierte Abstand der Ebene der Ringoberseite zum Nullniveau der Flüssigkeitsoberfläche. Qualität und Korrektheit einer Messung zeichnen sich durch glatte, konvexe Kurvenzüge im Bereich der Kraftmaxima aus.

• **5. Referenzvergleich mit Wasser bei 25,013°C**

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	71,97	72,01	+0,04 mN/m	0,6‰	@

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'WASSER' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol γ steht für die Messgröße; die Zahl zu " Δ u" gibt ggf. an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit. Das Zeichen "@" bringt zum Ausdruck, dass bei der Messgröße kein signifikanter Unterschied zwischen Mess- und Referenzwert auftritt.

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

IMPro Execution & Audit-Trail

Data created during execution of the IMPro "Laplace-Petzoldt SCI, 17.08.24, 24525", type 1/38. Time Period of the Accomplishment: Aug., 17. 2024 between 20:37:15 and 21:15:34, elapsed time: 40 minutes. IMPro finished as projected. The complete Report first was presented on Aug., 17.24 at 21:15. Original data is unchanged. The Number **23836** refers to the Recordset in the Database 'imeterData40' where all Information can be retrieved at any time.

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZA224) wurde 2,1 Stunden vor dieser Messung von M. Breitwieser justiert. Die letzte vollständige Prüfung der Positioniervorrichtung von **IMETER** (ID23903733) erfolgte am 01.08.23. **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} 1,0944 kg/m³; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001 K, Messunsicherheit $\pm 0,01$ K, R° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN^o1, -41/200°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion: -0,0027 +0,997591· θ +2,20165E-05· θ^2 -4,78431E-08· θ^3). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.4.29, LizenzN^o *3037-4759*, Windows 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N^o6995684 (C, SSD).

Report created by IMETER[®] & M. Breitwieser

1. Vom Anwender angegebene Grunddaten zur Messung (Fluid, Messkörper, Gefäß, Auswertungsart):

Berechnung der Oberflächenspannung je nach Auswertung:

LAPLACE-PETZOLDT: $\gamma=72,01$ ($f_k=0,93587$ p)

HARKINS & JORDAN: $\gamma=72,15$ ($f_k=0,9377$ h)

ZUIDEMA & WATERS: $\gamma=71,90$ ($f_k=0,9343$ z)

HUE & MASON: *steht nicht zur Verfügung*

RAW $\gamma = F_{MAX}/4RPI$: $\gamma=76,95$ ($f_R=1,000$ r)

2. Rohdatenansicht des Datensatzes (Position, Zeit, Kraft, Temperatur):

γ, N° 23836, Wasser (ohne KoWiKonst.-Pumpe)

Report | Dataset | Audit Log | **Raw Data** | Curves | Special | Options

IMPro Events
 Show IDs
 Protocol entries

DSN°	Platform [mm]	at [s]	DN°	Time [s]	Force [mN]	Protocol-Data
1261902	2,9342	0,150	1235159	0,242	0,0000	
1261903	2,9342	39,337				
1261904	0,0000	129,505				
1261905	3,0000	133,640				
1261906	2,0000	135,010	1235160	160,139	0,0069	
1261907	0,5000	163,205				
1261908	0,4500	167,141	1235161	182,916	0,0070	
1261909	0,4000	184,100	1235162	202,770	0,0100	
1261910	0,3500	203,972	1235163	212,705	0,0062	
1261911	0,3000	213,917	1235164	705,306	0,0069	
1261912	0,2500	706,545	1235165	717,369	0,0060	
1261913	0,2000	718,570	1235166	727,277	0,0259	
1261914	0,1500	728,507	1235167	746,132	0,0691	
1261915	0,1000	747,337	1235168	757,078	0,1376	
1261916	0,0501	758,319	1235169	772,985	0,2420	
1261917	0,0001	774,151	1235170	792,071	0,3558	
1261918	-0,0499	793,289	1235171	812,422	0,5028	
1261919	-0,0999	813,734	1235172	824,157	0,6813	
1261920	-0,1499	825,436	1235173	838,269	0,8811	
1261921	-0,1999	839,461	1235174	860,778	1,0772	
1261922	-0,2499	861,972	1235175	877,089	1,2890	
1261923	-0,2999	878,278	1235176	886,964	1,4913	
1261924	-0,3499	888,231	1235177	898,495	1,7062	
1261925	-0,3999	900,411	1235178	913,380	1,9095	
1261926	-0,4499	914,586	1235179	924,147	2,1124	
1261927	-0,4999	925,368	1235180	937,101	2,3232	
1261928	-0,5499	938,362	1235181	947,932	2,5207	
1261929	-0,5999	949,126	1235182	957,047	2,7354	
1261930	-0,6498	958,201	1235183	973,369	2,9337	
1261931	-0,6998	974,621	1235184	982,600	3,1385	
1261932	-0,7498	983,879	1235185	991,030	3,3347	

TEMPERATURE-MEASURES

[min]	[°C]
1,49	25,0044
2,17	25,002
2,69	25,0043
3,20	25,0076
3,71	25,0103
4,22	25,0089
4,73	25,0085
5,24	25,0048
5,75	25,0035
6,26	25,0026
6,78	24,9982
7,29	24,9951
7,80	24,9956
8,31	24,9978
8,82	25,0011
9,34	25,0083
9,85	25,0045
10,36	25,0008
10,87	24,9991
11,38	25,0006
11,89	24,9996
12,41	24,9989
12,93	25
13,45	25,0005
13,96	25,0019

(Use for export 'Ctrl' and 'Shift'-Keys to modify options...)

Excel | Notepad | Clipboard | Close

3. Weg-Kraft-Zeit Rohdaten:

(→ Exportfunktion aus der Rohdatenansicht)

DSN°	Platform [mm]	at [s]	DN°	Time [s]	Force [mN]
1261902	2,9342	0,150	1235159	0,242	0,0000
1261903	2,9342	39,337			
1261904	0,0000	129,505			
1261905	3,0000	133,640			
1261906	2,0000	135,010	1235160	160,139	0,0069
1261907	0,5000	163,205			
1261908	0,4500	167,141	1235161	182,916	0,0070
1261909	0,4000	184,100	1235162	202,770	0,0100
1261910	0,3500	203,972	1235163	212,705	0,0062
1261911	0,3000	213,917	1235164	705,306	0,0069
1261912	0,2500	706,545	1235165	717,369	0,0060
1261913	0,2000	718,570	1235166	727,277	0,0259
1261914	0,1500	728,507	1235167	746,132	0,0691
1261915	0,1000	747,337	1235168	757,078	0,1376
1261916	0,0501	758,319	1235169	772,985	0,2420
1261917	0,0001	774,151	1235170	792,071	0,3558
1261918	-0,0499	793,289	1235171	812,422	0,5028
1261919	-0,0999	813,734	1235172	824,157	0,6813
1261920	-0,1499	825,436	1235173	838,269	0,8811
1261921	-0,1999	839,461	1235174	860,778	1,0772
1261922	-0,2499	861,972	1235175	877,089	1,2890
1261923	-0,2999	878,278	1235176	886,964	1,4913
1261924	-0,3499	888,231	1235177	898,495	1,7062
1261925	-0,3999	900,411	1235178	913,380	1,9095
1261926	-0,4499	914,586	1235179	924,147	2,1124
1261927	-0,4999	925,368	1235180	937,101	2,3232
1261928	-0,5499	938,362	1235181	947,932	2,5207
1261929	-0,5999	949,126	1235182	957,047	2,7354
1261930	-0,6498	958,201	1235183	973,369	2,9337
1261931	-0,6998	974,621	1235184	982,600	3,1385
1261932	-0,7498	983,879	1235185	991,030	3,3347

1261933	-0,7998	992,248	1235186	1008,819	3,5420
1261934	-0,8498	1010,059	1235187	1029,198	3,7370
1261935	-0,8998	1030,417	1235188	1045,174	3,9402
1261936	-0,9498	1046,407	1235189	1064,939	4,1301
1261937	-0,9998	1066,149	1235190	1096,471	4,3286
1261938	-1,0498	1097,695	1235191	1105,694	4,5188
1261939	-1,0998	1106,907	1235192	1121,203	4,7019
1261940	-1,1498	1122,461	1235193	1134,581	4,8942
1261941	-1,1998	1135,831	1235194	1144,517	5,0784
1261942	-1,2498	1145,772	1235195	1160,766	5,2606
1261943	-1,2998	1161,935	1235196	1171,466	5,4352
1261944	-1,3498	1172,719	1235197	1189,374	5,6152
1261945	-1,3998	1190,597	1235198	1202,657	5,7833
1261946	-1,4497	1203,905	1235199	1223,177	5,9536
1261947	-1,4997	1224,399	1235200	1233,987	6,1125
1261948	-1,5497	1235,240	1235201	1253,681	6,2808
1261949	-1,5997	1254,900	1235202	1272,786	6,4370
1261950	-1,6497	1274,006	1235203	1288,607	6,5927
1261951	-1,6997	1289,833	1235204	1297,708	6,7387
1261952	-1,7497	1299,020	1235205	1319,342	6,8886
1261953	-1,7997	1320,587	1235206	1356,602	7,0283
1261954	-1,8497	1357,871	1235207	1372,484	7,1702
1261955	-1,8997	1373,694	1235208	1388,233	7,3105
1261956	-1,9497	1389,417	1235209	1415,509	7,4372
1261957	-1,9997	1416,729	1235210	1448,601	7,5694
1261958	-2,0497	1449,776	1235211	1477,389	7,6895
1261959	-2,0997	1478,582	1235212	1510,368	7,8159
1261960	-2,1497	1511,629	1235213	1526,795	7,9252
1261961	-2,1996	1528,113	1235214	1548,366	8,0408
1261962	-2,2496	1549,553	1235215	1585,193	8,1420
1261963	-2,2996	1586,446	1235216	1610,051	8,2477
1261964	-2,3496	1611,355	1235217	1628,429	8,3389
1261965	-2,3996	1629,645	1235218	1662,328	8,4292
1261966	-2,4496	1663,489	1235219	1672,943	8,5169
1261967	-2,4996	1674,220	1235220	1683,678	8,6007
1261968	-2,5496	1684,926	1235221	1691,159	8,6796
1261969	-2,5996	1692,375	1235222	1708,933	8,7499
1261970	-2,6496	1710,117	1235223	1733,646	8,8152
1261971	-2,6996	1734,875	1235224	1742,829	8,8794
1261972	-2,7496	1744,147	1235225	1755,474	8,9377
1261973	-2,7996	1756,715	1235226	1774,481	8,9863
1261974	-2,8496	1775,644	1235227	1788,644	9,0328
1261975	-2,8996	1789,883	1235228	1803,206	9,0746
1261976	-2,9495	1804,481	1235229	1825,010	9,1047
1261977	-2,9995	1826,935	1235230	1841,561	9,1387
1261978	-3,0495	1842,857	1235231	1854,113	9,1609
1261979	-3,0995	1855,332	1235232	1877,179	9,1765
1261980	-3,1495	1878,393	1235233	1887,126	9,1903
1261981	-3,1995	1888,932	1235234	1897,734	9,1900
1261982	-3,2495	1898,875	1235235	1912,490	9,1905
1261983	-3,2995	1913,639	1235236	1934,716	9,1809
1261984	-3,3495	1935,976	1235237	1952,959	9,1670
1261985	-3,3995	1954,138	1235238	1970,290	9,1489
1261986	-3,4495	1971,515	1235239	1987,684	9,1222
1261987	-3,4995	1988,909	1235240	1998,417	9,0829
1261988	-3,5495	1999,734	1235241	2014,059	9,0421
1261989	-3,5995	2015,246	1235242	2022,471	8,9950
1261990	-3,6495	2023,712	1235243	2046,681	8,9436
1261991	-3,6994	2047,905	1235244	2061,595	8,8823
1261992	-3,7494	2062,922	1235245	2073,394	8,8117
1261993	-3,7994	2075,293	1235246	2083,873	8,7372
1261994	-3,8494	2085,070	1235247	2099,688	8,6498
1261995	-3,8994	2100,813	1235248	2123,348	8,5577
1261996	-3,9494	2124,661	1235249	2132,536	8,4729
1261997	-3,9994	2133,761	1235250	2159,800	8,3977
1261998	-4,0494	2160,987	1235251	2173,477	-0,0583
1261999	-4,0994	2174,703	1235252	2188,344	-0,0586
1262000	-4,1494	2189,613	1235253	2209,877	-0,0591
1262001	-4,1994	2211,047	1235254	2230,424	-0,0597
1262002	-4,2494	2231,680	1235255	2242,068	-0,0579
1262003	-4,2994	2243,256	1235256	2251,190	-0,0611
1262004	-4,3494	2252,412	1235257	2263,360	-0,0595
1262005	-4,3993	2264,585	1235258	2272,406	-0,0599
1262006	-4,4493	2273,646	1235259	2283,323	-0,0590

4. Erweitere Wägefunktionen beim Lamellenauszug

Die Kraft an jedem Messpunkt des Lamellenauszugs wird analytisch aufgezeichnet (*weitere Aussagen wären möglich*).

Protokollvent -126 = IWeighing-Funktion, 202 Zeilen IDN*23836

i Aufrufzeit: 30,7 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93179 g, Stdabw: 0,00028 g, rel.Stabw 0,03 %, Auflösung/Stabw: 2,8 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 22, Akquis.Dauer: 0,78 s. Konst. = 0,9314 g, Steigung = 9,67E-4 mg/s, $r^2 = 0,61$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 30,9 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93405 g, Stdabw: 0,00012 g, rel.Stabw 0,013 %, Auflösung/Stabw: 1,2 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 23, Akquis.Dauer: 0,78 s. Konst. = 0,9342 g, Steigung = -4,90E-4 mg/s, $r^2 = 0,933$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 31,3 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93564 g, Stdabw: 0,00047 g, rel.Stabw 0,051 %, Auflösung/Stabw: 4,7 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 22, Akquis.Dauer: 0,75 s. Konst. = 0,9350 g, Steigung = 0,00153 mg/s, $r^2 = 0,52$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 31,5 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93705 g, Stdabw: 0,00013 g, rel.Stabw 0,014 %, Auflösung/Stabw: 1,3 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 22, Akquis.Dauer: 0,75 s. Konst. = 0,9372 g, Steigung = -4,25E-4 mg/s, $r^2 = 0,54$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 31,6 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93702 g, Stdabw: 0,00014 g, rel.Stabw 0,015 %, Auflösung/Stabw: 1,4 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 23, Akquis.Dauer: 0,77 s. Konst. = 0,9368 g, Steigung = 4,73E-4 mg/s, $r^2 = 0,55$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 31,9 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93707 g, Stdabw: 0,00024 g, rel.Stabw 0,026 %, Auflösung/Stabw: 2,4 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 23, Akquis.Dauer: 0,75 s. Konst. = 0,9374 g, Steigung = -8,71E-4 mg/s, $r^2 = 0,66$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 32,2 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93609 g, Stdabw: 0,00021 g, rel.Stabw 0,022 %, Auflösung/Stabw: 2,1 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 23, Akquis.Dauer: 0,75 s. Konst. = 0,9364 g, Steigung = -8,55E-4 mg/s, $r^2 = 0,84$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 32,6 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93467 g, Stdabw: 0,00014 g, rel.Stabw 0,015 %, Auflösung/Stabw: 1,4 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 22, Akquis.Dauer: 0,76 s. Konst. = 0,9346 g, Steigung = 1,41E-4 mg/s, $r^2 = 0,05$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

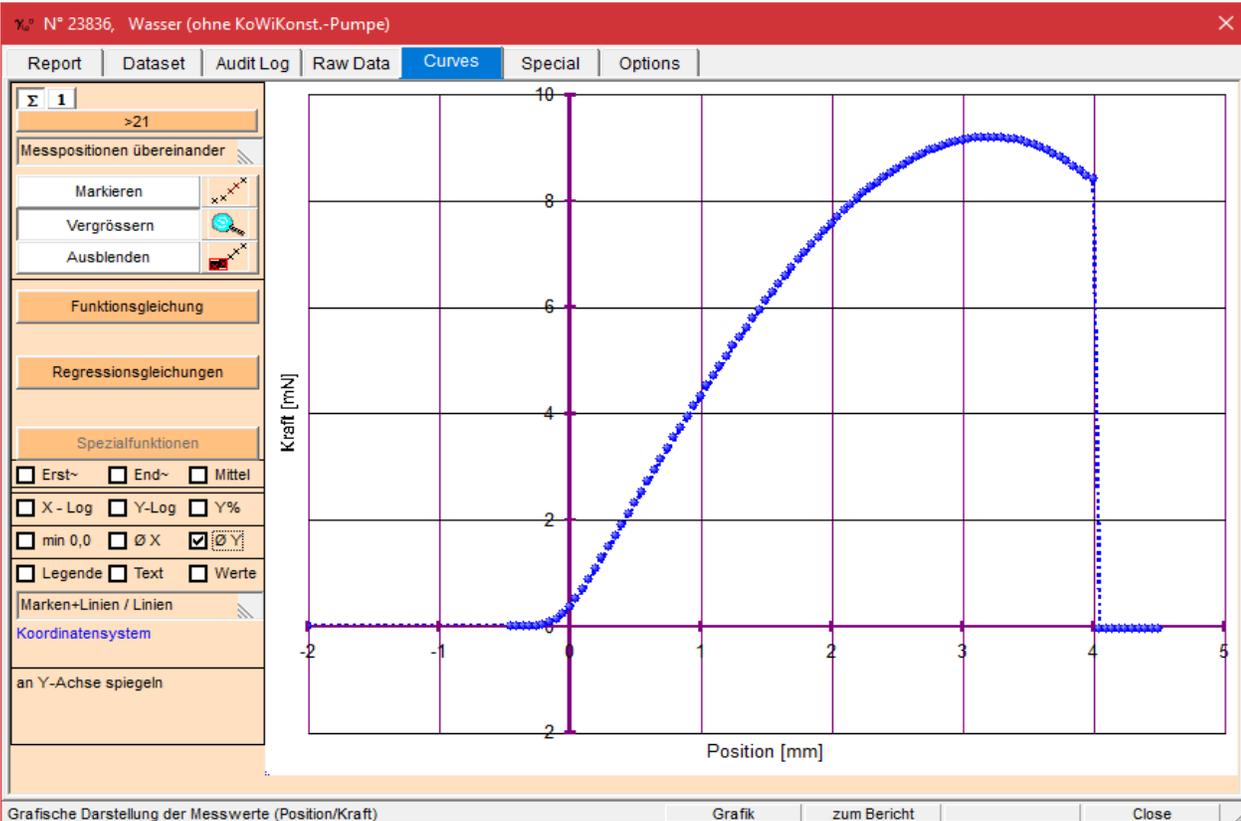
Aufrufzeit: 32,8 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93283 g, Stdabw: 0,00029 g, rel.Stabw 0,031 %, Auflösung/Stabw: 2,9 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 23, Akquis.Dauer: 0,76 s. Konst. = 0,9333 g, Steigung = -0,00124 mg/s, $r^2 = 0,967$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

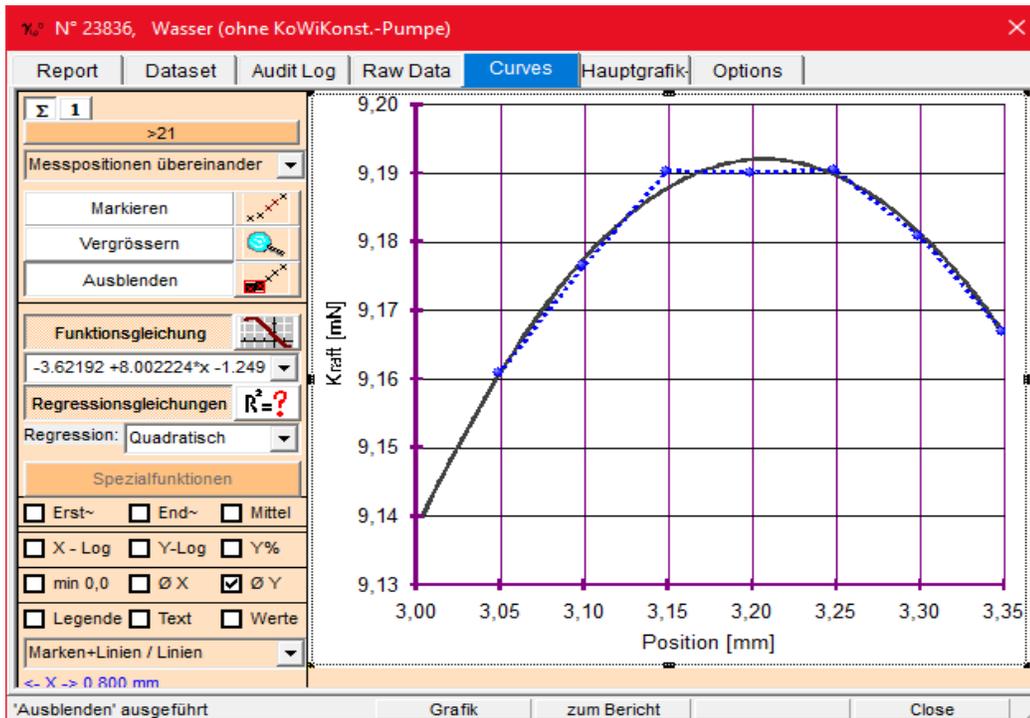
Aufrufzeit: 33,1 min, Wägewert(*1Stelle): 0,93011 g, Stdabw: 0,00009 g, rel.Stabw 9,3E-3 %, Auflösung/Stabw: 0,87 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 21, Akquis.Dauer: 0,75 s. Konst. = 0,9302 g, Steigung = -2,95E-4 mg/s, $r^2 = 0,58$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

Aufrufzeit: 33,3 min, Wägewert(*1Stelle): 0,92610 g, Stdabw: 0,00057 g, rel.Stabw 0,062 %, Auflösung/Stabw: 5,7 g/g, Anzahl Einzelwägungen: 22, Akquis.Dauer: 0,77 s. Konst. = 0,9262 g, Steigung = -3,25E-4 mg/s, $r^2 = 0,02$. Tara: 2,153655 g, ZeitCrit: -1, in ReportformatDoku.

in die Zwischenablage OK

5. Rohdatenansicht in Diagrammform (*Kraft-Weg-Daten werden automatisch aufgeschlüsselt*)





(Da diskrete Werte erfasst werden, bestimmt die Auswertesoftware also eine interpolierte Maximalkraft (F_{max}) aus einer Polynom-Regressionsfunktion, ähnlich wie in der Abbildung verbildlicht)

6. Einstellungen für den automatischen Prüfbericht (Layout, Ausgabedatenselektion)

The screenshot shows the 'Options' window in the software. The title bar indicates 'N° 23836, Wasser (ohne KoWiKonst.-Pumpe)'. The window has tabs for 'Report', 'Dataset', 'Audit Log', 'Raw Data', 'Curves', 'Special', and 'Options'. The 'Options' tab is active. The window is divided into several sections:

- Allgemeine Optionen:**
 - Einheitliche Reportformate verwenden
 - Diagramme als Bitmaps erzeugen
- Berichtseinstellungen:**
 - standard-i2 (dropdown)
 - Datenbankvorschläge anzeigen
 - Vorschläge nur aus Referenzdatenbank
 - identische Stoffnamen zusammenfassen
 - max. 12 beste Treffer der Recherche auflisten
 - allgemeine Angaben
 - Vergleichsanalyse
 - detaillierte Ergebnisse
 - alternative Einheiten, Zusatzinformationen
 - 0 IMPro Reports
 - formatierte Tabellen
 - Erläuterungstexte
 - Bearbeitungshinweise
 - Audit-Trail
 - Prüfmittelüberwachung
 - Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise
 - Berichtseinstellungen
 - Authentifizierungen
- verfügbare Diagramme:**
 - auf Referenztemperatur berechnen
 - Ausreißer-Eliminierung
 - Resultate in die Vergleichsdatenbank eintragen
 - N°23836 in Vergleichsdaten eintragen
 - Temperaturprofil
 - Temperaturverlauf
 - Zeitprojektion²
 - DeltaChart
 - Measuring Curves²
 - Geschwindigkeitsdiagramm²
 - Lamellenhöhen²
 - CMC-ChartA
 - CMC-Plot / Molar1

Automatisch generierter Abdruck des Quellcodes des Messprogramms (IMPro); Ablauf, Bedien-, Mess- und Steuerungsvorgänge im Wesentlichen eindeutig.

Laplace-Petzoldt SCI (M1)

Description given with the Program:

„Probenflüssigkeit (20-30cm³) im Temperiergefäß vorlegen. Option zur Volumen Konstanthaltung per Pumpe, (->Kolbenpumpen anschließen), Temperatur einstellen ... Start der Messung mit eingesetztem Ring ca. 2-3 mm unter Oberfläche. Option für vollständige Messkurven bis über das Abreißen hinaus im IMPRO einzustellen (Z37). (ToDo: Start-Tara mit Theta-rec. an Stäben in def.Pos. damit nach LAbriß am Ring verbleibende Restmenge bestimmt werden kann (-> Film- oder Fetzenbruch der Lamelle)“

General hints: The Source Code of an IMETER measurement program (IMPro) consists of a sequence of statements that are executed line by line. To make the IMPRO easier to understand, different elements are highlighted in the source code below:

Commands, IF-Conditions, Loops and Line-Jumps, Defining Variables, Calculations, Variables that create a Menu item at Start-up (or latent menu items), External Component Action (accessory, closer and farther devices), Comments and Hints, Info Messages, User Interaction or Input (). - Titles of Sub-Programs: SUB Program MENU-COMMAND - accessible by Toolbar/Menu during execution, AUTO-SUB - as periodic self-calling program part. The '*' or '#SubProgramName' means call of the SubProgram; Appearances of '@' denoting inline evaluations within a Text fragment. Some of the statements are pre-evaluated by the interpreter and can modify the representations in the data form, request additional information (for configuration) as well as the menu of the toolbar and the user interface during the run.

MAIN PROGRAM - Laplace-Petzoldt SCI - V.7.4.29 - Sep 14 2024

```

1a  x- SUB -x- Config
2a  [Yes/No *] *UsePump (?Yes) Pumpe benutzen (ggf. ohne Pumpe für VergleichsStudie)?
3a  [Number *] AnzahlMessungen (?1 n) Wieviele OFS-Messwerte?
4a  [Number] "WarteSchleifenWiederholungen" = 3600 [n] -bei 1 sec Zyklusdauer => max. 1h Abwarten.
5a  [Time] Stabilisierungsperiode = 0,75 [s] Stabilisierungsperiode - Zeilscheibe, über die keine Kraftänderung erfolgen darf, bevor der
    Lamellenauszug fortgesetzt wird.
6a  [relative Way] Inkrement = -0,05 [mm-rel] Inkrement Zugstrecke beim Ausziehen der Lamelle (negativer Wert, da Plattformbewegung nach
    unten).
7a  [Speed] LamellenZugGeschw. = 0,25 [mm/s] Bewegungsgeschwindigkeit
8a  [Mass/Weight *] Auslösekraft (?0,01 g) Grenzflächendetektion - Auslösekraft (für Wasser ... Oktan 0.01g typisch)
9a  IF "NOT UsePump" THEN: 3 Lines forward
10a IF "VP9100 Pumpe: <not active>" THEN: Message (Stop): Für dieses Messverfahren ist eine I-Pumpe erforderlich.
    Schließen Sie eine VP9100 an und starten dann bitte nochmal! ;...A1.JPG
11a #Define Pump & Sample ↵
12. [9] ===== #Config*

```

2. CALL USER: 'OFS/GFS-Messung mit const. Gefäßkontaktwinkel
Bauen Sie die Messung so auf, dass sich der Ring ein, zwei Millimeter unter der Oberfläche der Probenflüssigkeit befindet. Die Temperatur muss stabil eingestellt vorliegen Die Messung beginnt mit dem Quittieren der Meldung!

Confirmation: Keyboard or IMETER; Background Picture ...Media\Justiergewicht.jpg

```

3. #Config ↵
4. Wait: 1,750 s
5. LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "dF=0 mN" IS TRUE
6. Start thread Processes

8. [50] ----- 'Oberfläche aus der fluiden Phase heraus annähern' -----
9. [Number] "LfNr." = 0 [n] Durchlaufzähler
10. -a--b- ----- 'Kraft: @F@' -----
11. |--| Wait: 1 s
12. -a--| LOOP: 2 lines back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "dF=0 mN" IS TRUE
13. -b- LOOP: 3 lines back, 1x repetition .....
14. WEIGHING CELL: Tare
15. INTERFACE DET.: -0,0642 [mm] Zyklus, dW= Auslösekraft [g/Schr.], L-Interface .

17. [39] [Number] "LfNr." = LfNr. +1 [n]
18. ----- 'Pumpe auf Starteinstellung' -----

```

```

19. IF "UsePump" THEN: #Pumpen StartEinstellung
20. _____ 'In definierter Tiefe - Referenzkraft ermitteln -' _____
21. p Z-POSITION: NullNiveau at 1,0 mm/s
22. p Z-MOVE: 3,000 mm UP v= 1,0 mm/s
23. Z-MOVE: 1,000 mm DOWN v= 1,0 mm/s
24. -c--d- _____ 'Kraft: @F@, rel.Position: @Z@' _____
25. -|-| Wait: 1 s
26. -c-|- LOOP: 2 lines back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "dF=0 mN" IS TRUE
27. -d- LOOP: 3 lines back, 1x repetition .....
28. WEIGHING CELL: Tare (stable)

30. _____ 'Lamellenauszug' _____
31. IF " LfNr. >1 [n]" THEN: 5 Lines forward
32. WEIGHING CELL: Tare (stable)
33. WEIGHING CELL: I-Weighing : 0,75 [s] on streaming Data, Acquisition +Evaluability ↵
34. p Z-POSITION: NullNiveau at 1,0 mm/s
35. p Z-MOVE: 0,500 mm UP v= 1,0 mm/s
36. [31] _____ 'Lamellenauszug' _____
37. #Statischer Lamellen-Auszug bis Abriß ↵
38. Recalc Results/Diagrams
39. IF " LfNr. < AnzahlMessungen " THEN: 22 Lines backward

41. _____ 'Wiederholung - nach Zeit / Temperaturänderung' _____
42. QUESTION 'Soll die Messung - z.B. nach einer Temperierphase - wiederholt werden?' IF No ⇒ 11 - Lines forward
43. p Z-POSITION: NullNiveau at 0,50 mm/s
44. p Z-MOVE: 3,000 mm UP v= 0,50 mm/s
45. Z-MOVE: 1,000 mm DOWN v= 0,50 mm/s
46. -(M+)- 'TEMPERATUR EINSTELLEN ? Konzentration ändern? Warten?'

```

```

47. Wait: 3600 s
48.
49.
50. JUMP 42 Lines backward
51. IF "NOT UsePump" THEN: 2 Lines forward
52. VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° alle ⇒ A0R
53. [42] [51]
54. [SET] "Fid04" = Backup of state and individual IMPro configuration and variable values at the End:

```

Weight of Ring & Holder: @TARA#@g. Timeshift-Constant WZDt= @WZDt#@s.

Variables: Stabilisierungsperiodes @Stabilisierungsperiode#@s.

Numbers: Auslösekraft @Auslösekraft#@g.

Format@s.

Variables: Stabilisierungsperiodes @Stabilisierungsperiode Variables ruling the IMPro are written to the Experiment-Log. ⇒ Repeatability.

```

1b x SUB x Statischer Lamellen-Auszug
2b Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode"
3b LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "dW=0 mg" IS TRUE
4b [Mass/Weight] "SPF_max" = W [g]
5b [absolute Length] "H_SPF_max" = H [mm]
6b _____ 'Ausziehen der Lamelle = Die Messung ....' _____
7b -e- Z-MOVE: ⚡ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
8b -|-| Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode"
9b -|-| LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,25 mg" IS TRUE
10b -|-| #H_FMax ↵
11b -|-| Z-MOVE: ⚡ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
12b -|-| Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode"
13b -|-| LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,25 mg" IS TRUE
14b -|-| #H_FMax ↵
15b -|-| Z-MOVE: ⚡ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
16b -|-| Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode"
17b -|-| LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,25 mg" IS TRUE
18b -|-| #H_FMax ↵
19b -|-| Z-MOVE: ⚡ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
20b -|-| Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode"
21b -|-| LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,25 mg" IS TRUE
22b -|-| #H_FMax ↵
23b -e- LOOP: to row 7 back, max.100-times OR UNTIL "F2<F1 mN" IS TRUE
24. _____ #Statischer Lamellen-Auszug|

```

```

1c x SUB x Statischer Lamellen-Auszug bis Abriß
2c Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode "
3c LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "dW=0 mg" IS TRUE
4c [Mass/Weight] "SPF_max" = W [g]
5c [absolute Length] "H_SPF_max" = H [mm]
6c [24] 'Ausziehen der Lamelle = Die Messung ....'
7c -f- Z-MOVE: ☿ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
8c -l- Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode "
9c -l- LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,05 mg" IS TRUE
10c -l- #H_FMax ↵
11c -l- Z-MOVE: ☿ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
12c -l- Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode "
13c -l- LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,05 mg" IS TRUE
14c -l- #H_FMax ↵
15c -l- Z-MOVE: ☿ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
16c -l- Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode "
17c -l- LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,05 mg" IS TRUE
18c -l- #H_FMax ↵
19c -l- Z-MOVE: ☿ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s
20c -l- Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode "
21c -l- LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,05 mg" IS TRUE
22c -l- #H_FMax ↵
23c -f- LOOP: to row 7 back, max.100-times OR UNTIL "F2<F1 mN" IS TRUE
24c IF "W >0,1 [g]" THEN: 18 Lines backward Bis zum Abriß!
25. #Statischer Lamellen-Auszug bis Abriß

```

```

1d x SUB x H_FMax
2d 'NachDosierung der Flüssigkeit zum Erhalt des Gefäßrand-Kontaktwinkels - gemäß der gehobenen Fluidmenge. Position maximaler Kraft registrieren'
3d WEIGHING CELL: I-Weighing : 0,25 [s] on streaming Data, temporally
4d [Mass/Weight] "PumpVolumen" = ( W_ME - GewBilanz ) / Fld20 [g] (Tara 0 bei Kurvenstart) Welches Volumen soll gepumpt werden? Eine positive Volumenangabe bedeutet, dass dieses Volumen in die Messzelle gepumpt wird - eine negative Zahl bedeutet aus der Messzelle herauspumpen. Fld20=Dichte der Fl.
5d #Pumpt ↵
6d [Mass/Weight] "GewBilanz" = W_ME [g]
7d -g- Wait: ☉ "Stabilisierungsperiode "
8d -l- LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,15 mg" IS TRUE
9d -g- LOOP: 2 lines back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,15 mg" IS TRUE
10d WEIGHING CELL: I-Weighing : 0,75 [s] on streaming Data, Acquisition +Evaluability ↵
11d weighing for Raw-diagram
12d IF "W_ME < SPF_max" THEN: 3 Lines forward
13d [Mass/Weight] "SPF_max" = W_ME [g]
14d [absolute Length] "H_SPF_max" = H [mm]
15. [12] #H_FMax

```

```

1e ÷ MENU-COMMAND ÷ AUTO 30sec TemperaturMessen
2e 'Automatische Aufzeichnung der anliegenden Temperatur'
3e Record Temperature
4. TemperaturMessen

```

```

1f x SUB x Configure Pump
2f 'Für Pumpe mit installiertem 2.5 oder 5,0mL Kolben!'
3f [Volume] "SpritzenVolumen" = 2,5 [cm³] Die Kapazität - das kalibrierte Volumen - des eingesetzten Spritzenkolbens in mL.
4f [Number] "PumpeNummer" = 1 [n]
5f [Volume] "FüllVolumen" = 1,5 [cm³] Das Volumen, das bei Beginn in den Spritzenkolben aufgezogen wird und zur Förderung in die Messzelle zur Verfügung steht.
6f [Volume] "FreiVolumen" = SpritzenVolumen - FüllVolumen [cm³] Das Volumen, das aus der Messzelle abgesaugt werden kann (freies Volumen der Spritze - zu Beginn).
7f [Number] "PFlussRate" = 0,075 [n] Angabe der Rate in mL/s! Mit welcher Geschwindigkeit in mL pro Sekunde soll gepumpt werden?
8f VP9100 Pumpe(n): Pumpenvolumen einst. N° PumpeNummer
9f VP9100 Pumpe(n): Pumpgeschw. einstellen N° PumpeNummer
10. #Configure Pump

```

```

1g x SUB x Define Pump & Sample
2g #Configure Pump ↵
3g [SET] "Fld25" = @-1*ABS( Fld25 )@ KONVENTION!! -> Marke, dass der Gefäßumfang in der Auswertung als Unendlich gewertet wird - d.h. keine Pegeländerung durch Ein/Austauschen der Probe.
4g [SET] "Fld27" = 0 Listenfeld-Eintrag - für nicht klassifizierten Behälter! (Im Dataset (Auswertung) kann dies sonst nicht mehr eingestellt werden)
5g #Pumpen StartEinstellung ↵

```

6. =====#Define Pump & Sample & Sample*|

1h **x SUB x** **Pumpen StartEinstellung**
2h *ggf. Vorfüllung des Pumpkolbens, damit fehlendes Volumen nachgegeben werden kann*
3h [TEXT] "PumpBefehl" = (Ventilposition auf Output in die Messzelle:) O (Steigung/Rampe:)L14 (Backlash-Schritte:)K15
(Start-Lauf-Stopp-Geschw.:)v500V3000c500 (Kolbenposition oben:) A0 (Pause:) M100 (Kolben entsprechend Förderbares Volumen:)
A@3000* FüllVolumen / SpritzenVolumen ##0@ (Backlash-Schritte:)K0 (Befehl abfeuern:)R Format0@ (Backlash-Schritte:)K0 (Befehl abfeuern:)R
Starteinstellung - Command zur Einstellung der Kolbenposition der Spritze
4h VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ "PumpBefehl"
5h *VP9100 Pumpe(n): PumpEnde Abwarten*
6h [Volume] "VolBilanz" = FüllVolumen [cm³]
7h [Mass/Weight] "GewBilanz" = 0 [g]
8. =====#Pumpen StartEinstellung|

1i **x SUB x** **Pumplt**
2i IF "NOT UsePump" THEN: 21 Lines forward
3i JUMP 1 Lines forward 20 vorwärts lässt das aus ...
4i [3] *Sicherung, dass das gewünschte Volumen entsprechend bewegt werden kann -'*
5i [Volume] "VolBilanz" = -1* PumpVolumen + VolBilanz [cm³] ... d.i. die Volumenbilanz für den Spritzenkolben
6i IF "VolBilanz > SpritzenVolumen" AND/OR:"VolBilanz <0" THEN: Message (Stop): @PumpVolumen#mL#-3@ ist ein Unmögliches Pump-Volumen! ...
Das geforderte Volumen kann im aktuellen Zustand der Pumpe @PumpeNummer#@ nicht gepumpt werden. Die Volumenbilanz im Dosierkolben ergäbe mit der Ausführung @VolBilanz#mL#-3@.

Sie müssen evtl. das IMPro jetzt beenden!#L;...A1.JPG

8i [Number] "MoveSteps" = abs (PumpVolumen)* 3000/ SpritzenVolumen [n]
9i IF "PumpVolumen >0" DEFINE: 'PMove__ = D@MoveSteps@ [TEXT]' ... Vol in die Messzelle Pumpen
10i IF "PumpVolumen <=0" DEFINE: 'PMove__ = P@MoveSteps@ [TEXT]' Volumen aus der Messzelle absaugen

12i [TEXT] "GeschwParameter" = @6000/ SpritzenVolumen * PFlussRate ##0@ Format0@ 2*Geschritzzahl/Spritzenvolumen*mL/s ... Formatierung auf Ganzzahl
13i IF "GeschwParameter <5 [n]" THEN: Message (Stop): Zu geringe Fördergeschwindigkeit! yFrequenz "@GeschwParameter#Hz#0@ nicht darstellbar".
Evtl. müssen / sollten Sie das IMPro jetzt sofort beenden - es läuft sonst ohne die Pumpenaktion weiter!
14i IF "GeschwParameter <50 [n]" DEFINE: 'PumpBefehl = Ov50V@GeschwParameter [c50 @PMove_] ' max. Frequenz für Start-/End-Geschwindigkeit ist 50 Hz
15i IF "GeschwParameter >=50 [n]" AND "GeschwParameter <=1000 [n]" DEFINE: 'PumpBefehl = Ov@GeschwParameter [cV@GeschwParameter]'
16i IF "GeschwParameter >=50 [n]" AND "GeschwParameter <=5800 [n]" DEFINE: 'PumpBefehl = Ov900V@GeschwParameter [c900@PMove_] '
17i IF "GeschwParameter >5800 [n]" THEN: Message (Stop): Zu hohe Fördergeschwindigkeit! -- "@GeschwParameter#Hz#0@ nicht darstellbar".
Evtl. müssen / sollten Sie das IMPro jetzt sofort beenden!
18i [TEXT] "PumpBefehl" = M80@PumpBefehl@ eine Startverzögerung um 80ms (M80)...erforderlich ... Befehlslaufzeit

20i VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ "PumpBefehl"
21i JUMP 2 Lines forward
22i *(M) FlussRate: @PFlussRate@
GeschwParameter: @GeschwParameter@
PumpBefehl: @PumpBefehl@ (Vol.=@1000* PumpVolumen##-3@µL)
VolumenBilanz: @VolBilanz#mL#-4@*
23. [2] [21] =====#Pumplt|

1j **÷ MENU-COMMAND ÷** **Pumpe Handbetrieb öffnen**
2j *VP9100 Pumpe(n): Handsteuerung*
3. ===== • Pumpe Handbetrieb öffnen•

1k **÷ MENU-COMMAND ÷** **Pumpe Stopp**
2k VP9100 Pumpe(n): PumpenStop N° Pumpennummer ⇒ T
3. ===== • Pumpe Stopp•

1l **÷ MENU-COMMAND ÷** **Pumpe Spülen**
2l IF "NOT UsePump" THEN: 18 Lines forward
3l *EINSTELLUNG FÜR NIEDERVISKOSE FLUIDE !*
4l #Configure Pump ↵
5l [Number] "PumpWdhs" = 7 [n] z.B. 5 bis 9x
6l QUESTION '(1/4) Grobe Vorreinigung -
- Saugseite der Pumpe (=Schlauch von der Vorlage) in Abfallgefäß stecken
- Dosierseite (=Schlauch zur Messzelle) in ~150mL warmes Seifenwasser einführen.
=> Die Pump-Aktion startet sofort nach dem Quittieren der Meldung mit YES <== IF No => 13 - Lines forward
7l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ (7x Spülen) IA0L17V4000 gl(utput) A0 M20 O(nput) A3000 G PumpWdhs (=wdh 7x)

IA0R

8l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ (Ventil-Reinigen und Spülen) glA0 OA750 IA250 B OA1500 IA500 B OA2250 IA1000 B OA3000IA0 OA3000 G PumpWdhs (=wdh PumpWdhs x) IA0R

9l  VP9100 Pumpe(n): PumpEnde Abwarten

10l QUESTION '(2/4) Wasserspülung -

- Saugseite der Pumpe (⇒ Vorlage) verbleibt im Abfallgefäß.

- Dosierseite (⇒ Messzelle) in REINES WASSER (oder Alkohol, oder...) einführen.

⇒ Die Aktion startet nach dem Quittieren der Meldung mit YES <== IF No ⇒ 9 - Lines forward

11l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ (7x Spülen) IA0L17V4000 gl(utput) A0 M20 O(nput) A3000 G PumpWdhs (=wdh 7x) IA0R

12l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ (Ventil-Reinigen und Spülen) glA0 OA750 IA250 B OA1500 IA500 B OA2250 IA1000 B OA3000IA0 OA3000 G PumpWdhs (=wdh PumpWdhs x) IA0R

13l  VP9100 Pumpe(n): PumpEnde Abwarten

14l QUESTION '(3/4) Probenflüssigkeit wechseln ... -

- Jetzt Schläuche aus den Gefäßen nehmen - in die Luft halten ...

(Luft von der Vorlage-Seite anziehen, damit diese gereinigt und dann in das Reservoir eingeführt werden kann)

⇒ Die Aktion startet nach dem Quittieren der Meldung mit YES <== IF No ⇒ 5 - Lines forward

15l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ (Ventil zur Vorlage und spritze leer aufziehen) A0 IA3000R

16l QUESTION '(4/4) Probenflüssigkeit einfahren -

- Jetzt Schläuche außen säubern .. am besten auch abspülen ...

- dann, Dosierseite in sauberes unkontaminiertes Gefäß stecken, Vorlageseite (sauberst trocken ...) in die Vorlage stecken

- ... in Spritze und Schläuche wird die Mess- oder Probenflüssigkeit eingefahren.

⇒ Die Aktion startet nach dem Quittieren der Meldung mit YES <== IF No ⇒ 3 - Lines forward

17l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ A0 (Spülen) gl(ouput) A3000 M20 O(nput) A0G PumpWdhs (=wdh) R

18l VP9100 Pumpe(n): Code-Kommando? N° PumpeNummer ⇒ (Ventil mit Probe Spülen) gOA0 IA750 OA250 B IA1500 OA500 B IA2250 OA1000 B IA3000OA0 IA3000 G PumpWdhs (=wdh PumpWdhs x) OA0R

19l [6] [10] [14] [16]

20. [2] _____ • Pumpe Spülen•|

1m  MENU-COMMAND  x mL Dosieren |

2m IF "NOT UsePump" THEN: 2 Lines forward

3m VP9100 Pumpe(n): Dosieren N°1: Probe, V = 5,5±0cm³, c=0±0mg/cm³ (Ang.z.LZ.: Übernahme aktl.Temp.)

4. [2] _____ • x mL Dosieren••|

Unsicherheiten durch die Ringgeometrie sind vorhanden; verwendet wurden die Herstellerangaben, die keine Messunsicherheiten auswiesen.

Um Deckungsgleichheit beider Kurvenzüge darzustellen, wurde eine konstante Verschiebung der Strecken um +0.1mm eingeführt, die dem mechanischen Antastverfahren zur Ermittlung des Nullniveaus zugesprochen werden.

Verwendete Konstanten, Parametersatz der Berechnung

R (Ringradius)	9,600	mm
r (Ringdrahradius)	0,185	mm
Diskretisierung Δs	0,025	mm
Gefäßradius	21,500	mm
Gefäßrandwinkel Cos(θ)	0,375	Rad
Wasserdichte	0,997042	g/cm³
Luftdichte	1,0944	Kg/m³
Ortsfaktor g	9,80769	m/s²
Fmax*	9.2829	mN

*Die Maximalkraft am Ring (Fmax) ist der Betrag zwischen gemessener Maximalkraft und Bezugskraft (9.2829=9.1917+0.0912 mN)

F_{max} [mN]	F_{bz} [mN]	f_k -
9,1917	-0,0912	0,93587 p

Die Tabelle gibt die Daten zum Diagramm auf der Seite 1 wieder.

Die linke Tabellenhälfte gibt die Ergebnisse aus der Berechnung der Differentialgleichung an, die rechte Hälfte zeigt in der Spalte **Pos^{RAW}** die Plattformpositionen und mit **Force^{RAW}** die aufgezeichneten Messwerte von der Waage. **Position** und **Force** sind entsprechend um konstante Offsets verschobene Werte.

Ergebnis der Differentialgleichung			Messdaten	Offset -0.1	Offset 0,0912	
N°	Z _{ring} [mm]	F _{ring} [mN]	Pos ^{RAW} [mm]	Force ^{RAW} [mN]	Position [mm]	Force [mN]
1			-2,0000	0,00687	-1,9000	0,0981
2			-0,4500	0,00696	-0,3500	0,0982
3			-0,4000	0,01000	-0,3000	0,1012
4			-0,3500	0,00618	-0,2500	0,0974
5			-0,3000	0,00687	-0,2000	0,0981
6			-0,2500	0,00598	-0,1500	0,0972
7			-0,2000	0,02589	-0,1000	0,1171
8			-0,1500	0,06914	-0,0500	0,1603
9			-0,1000	0,13760	0,0000	0,2288
10			-0,0501	0,24196	0,0499	0,3332
11	0,0000	-0,06335	-0,0001	0,35582	0,0999	0,4470
12	0,0423	0,11439	0,0499	0,50284	0,1499	0,5940
13	0,0847	0,29247	0,0999	0,68134	0,1999	0,7725
14	0,1272	0,47088	0,1499	0,88112	0,2499	0,9723
15	0,1696	0,64957	0,1999	1,07718	0,2999	1,1684
16	0,2121	0,82844	0,2499	1,28903	0,3499	1,3802
17	0,2547	1,00739	0,2999	1,49126	0,3999	1,5825
18	0,2972	1,18636	0,3499	1,70624	0,4499	1,7974
19	0,3399	1,36529	0,3999	1,90946	0,4999	2,0007
20	0,3825	1,54411	0,4499	2,11238	0,5499	2,2036
21	0,4252	1,72266	0,4999	2,32325	0,5999	2,4145

22	0,4680	1,90096	0,5499	2,52067	0,6499	2,6119
23	0,5108	2,07889	0,5999	2,73537	0,6999	2,8266
24	0,5536	2,25634	0,6498	2,93368	0,7498	3,0249
25	0,5964	2,43329	0,6998	3,13846	0,7998	3,2297
26	0,6393	2,60957	0,7498	3,33471	0,8498	3,4259
27	0,6823	2,78521	0,7998	3,54205	0,8998	3,6333
28	0,7253	2,96005	0,8498	3,73702	0,9498	3,8282
29	0,7683	3,13408	0,8998	3,94024	0,9998	4,0314
30	0,8113	3,30714	0,9498	4,13012	1,0498	4,2213
31	0,8544	3,47919	0,9998	4,32862	1,0998	4,4198
32	0,8975	3,65017	1,0498	4,51880	1,1498	4,6100
33	0,9407	3,81997	1,0998	4,70191	1,1998	4,7931
34	0,9839	3,98854	1,1498	4,89423	1,2498	4,9854
35	1,0271	4,15576	1,1998	5,07842	1,2998	5,1696
36	1,0704	4,32159	1,2498	5,26065	1,3498	5,3519
37	1,1137	4,48594	1,2998	5,43523	1,3998	5,5264
38	1,1570	4,64872	1,3498	5,61520	1,4498	5,7064
39	1,2004	4,80992	1,3998	5,78330	1,4998	5,8745
40	1,2438	4,96932	1,4497	5,95356	1,5497	6,0448
41	1,2872	5,12698	1,4997	6,11255	1,5997	6,2038
42	1,3307	5,28276	1,5497	6,28084	1,6497	6,3720
43	1,3742	5,43661	1,5997	6,43698	1,6997	6,5282
44	1,4177	5,58846	1,6497	6,59273	1,7497	6,6839
45	1,4612	5,73820	1,6997	6,73867	1,7997	6,8299
46	1,5048	5,88581	1,7497	6,88863	1,8497	6,9798
47	1,5484	6,03117	1,7997	7,02829	1,8997	7,1195
48	1,5920	6,17422	1,8497	7,17021	1,9497	7,2614
49	1,6356	6,31493	1,8997	7,31046	1,9997	7,4017
50	1,6793	6,45314	1,9497	7,43717	2,0497	7,5284
51	1,7229	6,58890	1,9997	7,56938	2,0997	7,6606
52	1,7666	6,72204	2,0497	7,68952	2,1497	7,7807
53	1,8103	6,85253	2,0997	7,81594	2,1997	7,9071
54	1,8541	6,98033	2,1497	7,92520	2,2497	8,0164
55	1,8978	7,10530	2,1996	8,04083	2,2996	8,1320
56	1,9416	7,22744	2,2496	8,14195	2,3496	8,2332
57	1,9853	7,34670	2,2996	8,24768	2,3996	8,3389
58	2,0291	7,46297	2,3496	8,33889	2,4496	8,4301
59	2,0729	7,57615	2,3996	8,42922	2,4996	8,5204
60	2,1167	7,68627	2,4496	8,51690	2,5496	8,6081
61	2,1605	7,79324	2,4996	8,60066	2,5996	8,6919
62	2,2043	7,89698	2,5496	8,67961	2,6496	8,7708
63	2,2481	7,99744	2,5996	8,74993	2,6996	8,8411
64	2,2919	8,09453	2,6496	8,81515	2,7496	8,9064
65	2,3357	8,18824	2,6996	8,87939	2,7996	8,9706
66	2,3795	8,27849	2,7496	8,93775	2,8496	9,0290
67	2,4233	8,36524	2,7996	8,98630	2,8996	9,0775
68	2,4671	8,44843	2,8496	9,03278	2,9496	9,1240
69	2,5109	8,52799	2,8996	9,07457	2,9996	9,1658
70	2,5546	8,60388	2,9495	9,10467	3,0495	9,1959
71	2,5984	8,67605	2,9995	9,13871	3,0995	9,2299
72	2,6422	8,74442	3,0495	9,16087	3,1495	9,2521
73	2,6859	8,80897	3,0995	9,17647	3,1995	9,2677
74	2,7296	8,86963	3,1495	9,19030	3,2495	9,2815

75	2,7733	8,92635	3,1995	9,19000	3,2995	9,2812
76	2,8170	8,97909	3,2495	9,19049	3,3495	9,2817
77	2,8607	9,02779	3,2995	9,18088	3,3995	9,2721
78	2,9044	9,07240	3,3495	9,16695	3,4495	9,2582
79	2,9480	9,11287	3,3995	9,14891	3,4995	9,2401
80	2,9916	9,14916	3,4495	9,12223	3,5495	9,2134
81	3,0352	9,18122	3,4995	9,08290	3,5995	9,1741
82	3,0788	9,20897	3,5495	9,04210	3,6495	9,1333
83	3,1224	9,23238	3,5995	8,99503	3,6995	9,0862
84	3,1659	9,25138	3,6495	8,94363	3,7495	9,0348
85	3,2094	9,26594	3,6994	8,88233	3,7994	8,9735
86	3,2529	9,27599	3,7494	8,81172	3,8494	8,9029
87	3,2963	9,28148	3,7994	8,73718	3,8994	8,8284
88	3,3398	9,28234	3,8494	8,64979	3,9494	8,7410
89	3,3832	9,27852	3,8994	8,55770	3,9994	8,6489
90	3,4266	9,26994	3,9494	8,47286	4,0494	8,5641
91	3,4700	9,25655	3,9994	8,39774	4,0994	8,4889
92	3,5133	9,23827	4,0494	-0,05826	4,1494	0,0329
93	3,5567	9,21502	4,0994	-0,05855	4,1994	0,0327
94	3,6000	9,18670	4,1494	-0,05914	4,2494	0,0321
95	3,6434	9,15325	4,1994	-0,05973	4,2994	0,0315
96	3,6867	9,11457	4,2494	-0,05787	4,3494	0,0333
97	3,7301	9,07053	4,2994	-0,06110	4,3994	0,0301
98	3,7734	9,02105	4,3494	-0,05953	4,4494	0,0317
99	3,8168	8,96597	4,3993	-0,05993	4,4993	0,0313
100	3,8601	8,90514	4,4493	-0,05904	4,5493	0,0322
101	3,9036	8,83845	4,4993	-0,05924	4,5993	0,0320
102	3,9470	8,76561				
103	3,9905	8,68657				
104	4,0342	8,60091				
105	4,0778	8,50850				
106	4,1217	8,40889				