

Dokument zur Patentanmeldung:

„Doppelringtensiometer: Vorrichtung und Verfahren zur Messung der Grenzflächenspannung“

- ◆ Probenvolumen < 1 mL
- ◆ Erste veröffentlichte Dokumentation einer Messung mit bestimmtem Kontaktwinkel

1. Experimenteller Aufbau
2. Der Prüfbericht mit Verfahrens- und Ergebnisdokumentation
3. Diagnose- und Überprüfungsmöglichkeiten des Datensatzes der Messung
4. Deduktiv und induktiv – theoretisch und praktisch OK (also *wahrscheinlich wahr*)
5. Prüfbericht einer Vergleichsmessung im gleichen Setup mit *n-Decan*
6. Der Algorithmus zu Steuerung & Datenacquisition = Das Messprogramm
7. Schlussfolgerungen

1. EXPERIMENTELLER AUFBAU



Das Foto zeigt den zur Theorieprüfung angewendeten ad hoc – minimalistischen **Aufbau eines DRT** (Doppelring-Tensiometer).

Ring über Gefäß zentriert:

Auf der Plattform der Positioniervorrichtung ist eine Plexiglasscheibe eingepasst auf der ein zylindrisches Gefäß koaxial ausgerichtet ist zum darüber befindlichen Ring, der frei hängenden mit der Kraftmessvorrichtung (Wägezelle) oberhalb verbunden ist, da eine steife Verbindung nur im Fall $\Theta < 90^\circ$ erforderlich ist.

Das Gefäß ist aus einem Aluminiumvollzylinder ($\varnothing 22\text{mm} \times 15\text{mm}$) auf einer Drehbank mit einer flachen zylindrischen Kavität ($\varnothing 18.75\text{mm} \times 3,0\text{mm}$) gefertigt.

Über der breitrandigen und planen Gefäßoberfläche, die scharf rechtwinklig in die Kavität übergeht, wird nach leichter Überfüllung ein Deckglas gelegt und schließt darunter das **definierte Flüssigkeitsvolumen** ein.

Der 90° Kontaktwinkel Θ , optisch glatt fluchtend an der Gefäßoberkante, konnte durch waagerechtes Abziehen der Glasplatte vom blasenfrei glatt gefüllten Gefäß dargestellt werden. Dieses Vorgehen funktionierte gut bei Wasser, jedoch nicht mit *Decan* (Kohlenwasserstoff mit kleiner OFS). Das Befüllen mit $\sim 0.83\text{mL}$ ($= \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot (1.875/2)^2 \cdot 0.3 = 0.8284\text{cm}^3$ -Ringvol.), um $\Theta \approx 90^\circ$ zu bestimmen, erfolgte bei Decan per Kolbenspritze.

Dieser Aufbau ist für genaue Messungen ungeeignet, da die raumoffene Darbietung der Oberfläche gegen Ab- und Adsorptionen aus der Umgebungsluft und Verdunstung ungeschützt ist, keine gesättigte Dampfatmosphäre vorliegen kann und eine Temperaturmessung der Probe fehlte. – Die Prüfung war nicht für mehr konzipiert, als einen Spatenstich ins - auf Basis der Erfindung - Erwartete aber doch zuvor Unbekannte zu tun.

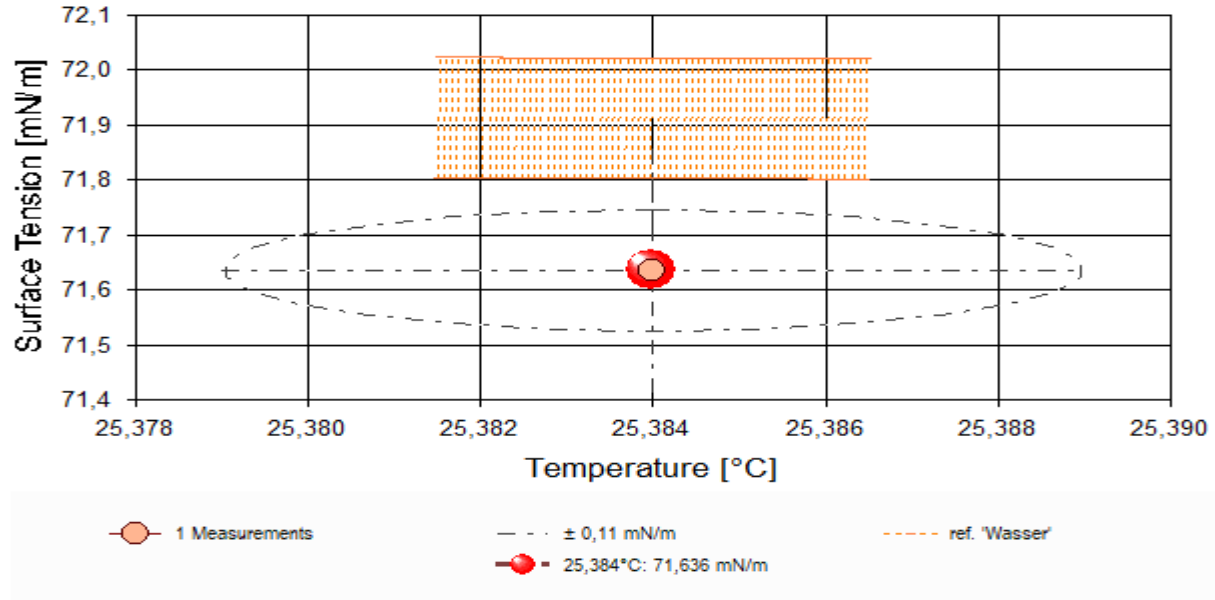
- Im Diagramm "Temperaturprofil" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der jeweils aufgezeichneten Temperatur gezeigt. Die Zeitachse beginnt mit dem Startzeitpunkt dieser Messung. -- Die Kreismarkierungen zeigen die einzelnen Temperaturmesswerte an, die kugelförmigen Marken stehen 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 25,384°C, nach 3,3 min

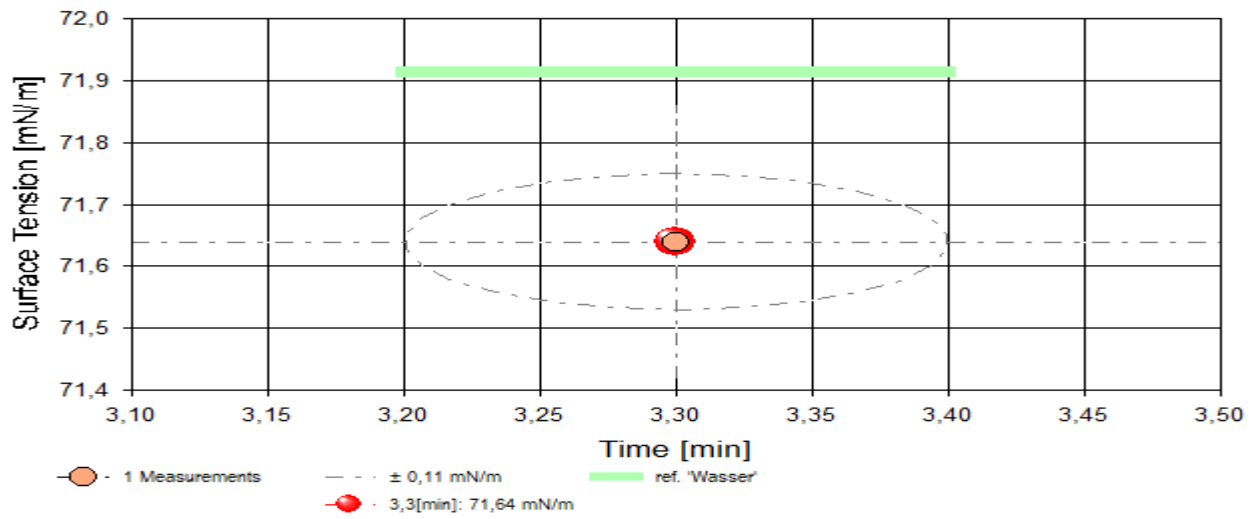
Ergebnis: 71,64 ±0,11 mN/m

▫ **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 ($\gamma_{25,384^\circ\text{C}} = 71,64 \text{ mN/m}$) 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_Y	W_Y	γ	$T_{rel.}$	$\Delta\rho$
[min]	[°C]	-	[mm]	[mm]	[mg]	[mN/m]	[s]	[g/cm ³]
3,3	25,384	40	1,950	4,22	642,61	71,64	135,6	0,9958

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 Messkurvenabtastung über die Strecke ΔZ . Die Spalte H_Y gibt die Lamellenhöhe im Scheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an. An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle exakt W_Y . Diese Gewichtskraft ist unter den Messumständen proportional zur daraus berechneten

Oberflächenspannung γ . Die Zeitspanne τ_{rel} 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: Young-Laplace-Petzoldt (YLP).

Messsystem: *Geometrisches Artefakt (AdHoc)*, mittlerer Ringradius $R=6,2680$ mm, Drahradius $r=0,2080$ mm, linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha=8,9 \cdot 10^{-6}K^{-1}$. Berechnung ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G \equiv 1$); Innendurchmesser des Messgefäßes $\varnothing=18,75$ mm; Kontaktwinkel Wasser an der Dreiphasengrenze $\Theta=90$, d.h. entspannt.

Probensubstanz: Wasser, Dichte $\rho=0,99697$ g/cm³ (bei 25,384°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 ' $\Delta\rho$ [g/cm³]= $f(\vartheta[^\circ C]) = (99983.952 + 1695.2577 \cdot \vartheta - 0.79905127 \cdot \vartheta^2 - 4.6241757E-3 \cdot \vartheta^3 + 1.0584601E-5 \cdot \vartheta^4 - 2.8103006E-8 \cdot \vartheta^5) / (1e5 + 1688.7236 \cdot \vartheta) - \rho_a$ ' verwendet.

Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

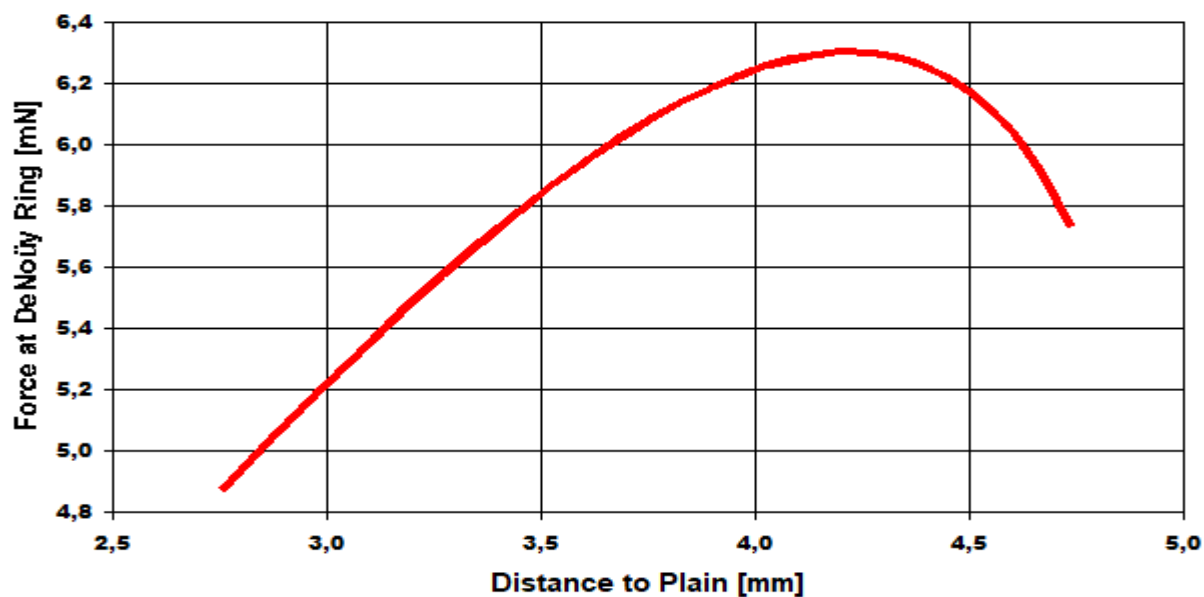
$F_{max.}$ [mN]	$F_{bz.}$ [mN]	f_k -	v_z [mm·s ⁻¹]	X [mm]	t_x [s]	ΩK -
6,1652	-0,1373	0,895279 p ^o	0,007	4,825	252,73	1pS

$F_{max.}$ gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (=Maximalkraft); der Kraftbezugswert ist mit F_{bz} bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_G \cdot f_k \cdot W_y / (4\pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_y = (F_{max.} - F_{bz.} + F_{Ringauftrieb}) \cdot g$. 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 ('†' 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 Flüssigkeitslamelle 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 kurz zuvor 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 der Messung) dem Bericht beigefügt sein.

→ Diagramm 4. Messkurven - Grundlage der Bestimmung der Oberflächenspannung - 'Measuring Curves'



- Im Diagramm "Measuring Curves" 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 25,384°C**

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	71,91	71,64	-0,27 mN/m	0,4%	2

- 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 " Δu " gibt an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit.

• **6. Meldungen & Hinweise**

Berechnungen mit Daten eines frei angegebenen Messrings. D.h. kein Log zum Artefakt, unvollständige Messsicherheit.

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 SCI2, 26.05.25, 26255", type 1/38. Time Period of the Accomplishment: Jun., 10. 2025 between 18:15:51 and 18:22:00, elapsed time: six minutes. IMPro finished as projected. The complete Report first was presented on Jun., 10.25 at 18:22. Audit-Log: The Original data is unchanged, nevertheless there are entries to the Log, made while the IMPro was executing:

Backup of state and individual IMPro configuration and variable values at the End:

Weight of Ring & Holder: before 0,0077g after -0,0096g (D=-0,0169 [n]). Timeshift-Constant WZDt= 0,316s.

Variables: Stabilisierungsperiodes 0,45s.

Numbers: Auslösekraft 0,01g.

The Number **24260** refers to the Recordset in the Database 'imeterData40' where all Information can be retrieved at any time.

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZA224) wurde zuletzt am 25.05.25 um 21:45, 16 Tage vor dieser Messung von M. Breitwieser justiert. Die letzte vollständige Prüfung der Positioniervorrichtung von **IMETER** (ID23903733) erfolgte am 21.04.25. **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} 1,1516 kg/m³; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001 K, Messunsicherheit $\pm 0,005$ K, R° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN², -25/152°C, 3S, FS15,8). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.5.23, LizenzN° *3037-4759*, Windows 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

3. ANGABEN & DATEN

1. Grunddaten zur Messung (Fluid, Ringdaten, Gefäß, Auswertungsart):

γ_s N° 24260, Kleinvolumenprüfung: Wasser im 19x3mm Alugefäß

Report Dataset Audit Log Raw Data Curves Special Options

ID/Messung: 24260
Datum/Zeit: 10.06.2025 18:15:50
Überschrift/Titel: Kleinvolumenprüfung: Wasser im 19x3mm Alugefäß
Prüfer: M. Breitwieser
Bemerkung: Dickboden-Alu-Becher (Gefäß Ø18.75 ±0,05, 3mm tief), frisch auf Drehbank hergestellt; mit sehr viel Wasser ausgespült. Abtastung der Teilkurve. Experimentelle Absicherung/Prüfung der Theorie mit Ø13mm-Ring mit dem bestimmtem Kontaktwinkel 90°.

Angabetemp.: 25,384 [°C]
Flüssig./Vergleich: Wasser
Dichte: 0,9969710 [g/cm³]
Behälter: [dropdown]
DeNoüy-Ring: * freier Messkörper
Korrektur-Faktor: 0,00000 [r/r]
Auswertung: Laplace-Petzoldt (YLP)
=> Oberflächenspannung: 71,64 [mN/m]

!Rgef.<LZ>KoWi: 9,375 90 [mm] [°]
Ringradius R: 6,2680 [mm]
Ringdrahradius r: 0,2080 [mm]
E-Modul: -1,00 [GPa]
Ausdehnungskoeffizient: 8,9 [1E-6/K] Vol.Korrektur: -1 [mm²]

Messgefäß / Messzelle Change Consts Accept & Recalc Delete Close

(Datenformular: im Eingabefeld „Rgef.<LZ>KoWi“ wird der Durchmesser der Tripleline und der Kontaktwinkel daran angegeben → Ø9.375mm, 90°“)

Berechnung der Oberflächenspannung mit $F_{\max} = 6.3025$ mN je nach Auswertung:

LAPLACE-PETZOLDT: $\gamma = 71,64$ ($f_k = 0,895279$ p°)

HARKINS & JORDAN: $\gamma = 77,95$ ($f_k = 0,9742$ h)

ZUIDEMA & WATERS: $\gamma = 78,39$ ($f_k = 0,9796$ z)

HUE & MASON: steht nicht zur Verfügung

RAW $\gamma = F_{\max}/4RII$: $\gamma = 80,02$ ($f_R = 1,000$ r)

Der Erwartungs- bzw. Sollwert für Wasser bei 25.4°C beträgt $\gamma = 71,91$ mN/m und wird durch die DRT-Handhabung unter den Umständen der Messung sogar gut angenähert, wohingegen die traditionellen Berechnungsmethoden drastische Fehlschätzungen liefern, also komplett versagen.

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

№ N° 24260, Kleinvolumenprüfung: Wasser im 19x3mm Alugefäß

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
1760483	0,3343	0,187	1724226	0,639	0,0000	
1760484	0,3343	14,872				
1760485	0,0000	41,233				
1760486	2,2018	47,386				
1760487	0,8320	50,215	1724227	57,016	0,0088	
1760488	-0,9000	60,524				
1760489	-0,9500	64,318	1724228	69,184	4,7458	
1760490	-1,0000	70,405	1724229	75,346	4,9049	
1760491	-1,0500	76,525	1724230	81,449	5,0493	
1760492	-1,1000	83,275	1724231	88,824	5,1881	
1760493	-1,1500	90,126	1724232	97,920	5,3155	
1760494	-1,2000	99,215	1724233	105,988	5,4355	
1760495	-1,2500	107,266	1724234	112,463	5,5433	
1760496	-1,3000	114,702	1724235	120,790	5,6437	
1760497	-1,3499	122,195	1724236	127,259	5,7325	
1760498	-1,3999	128,618	1724237	133,472	5,8135	
1760499	-1,4499	134,717	1724238	140,257	5,8856	
1760500	-1,4999	141,481	1724239	147,446	5,9474	
1760501	-1,5499	148,869	1724240	154,314	6,0024	
1760502	-1,5999	155,636	1724241	160,568	6,0479	
1760503	-1,6499	161,861	1724242	166,627	6,0871	
1760504	-1,6999	167,952	1724243	172,837	6,1174	
1760505	-1,7499	174,127	1724244	178,947	6,1397	

TEMPERATURE-MEASURES

[min]	[°C]
0,87	25,2718
1,38	25,2881
1,90	25,2878
2,41	25,2984
2,92	25,3151
3,43	25,3318
3,94	25,3481
4,45	25,3882
4,96	25,3799
5,48	25,3918
6,02	25,4027

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

Excel Notepad Clipboard Close

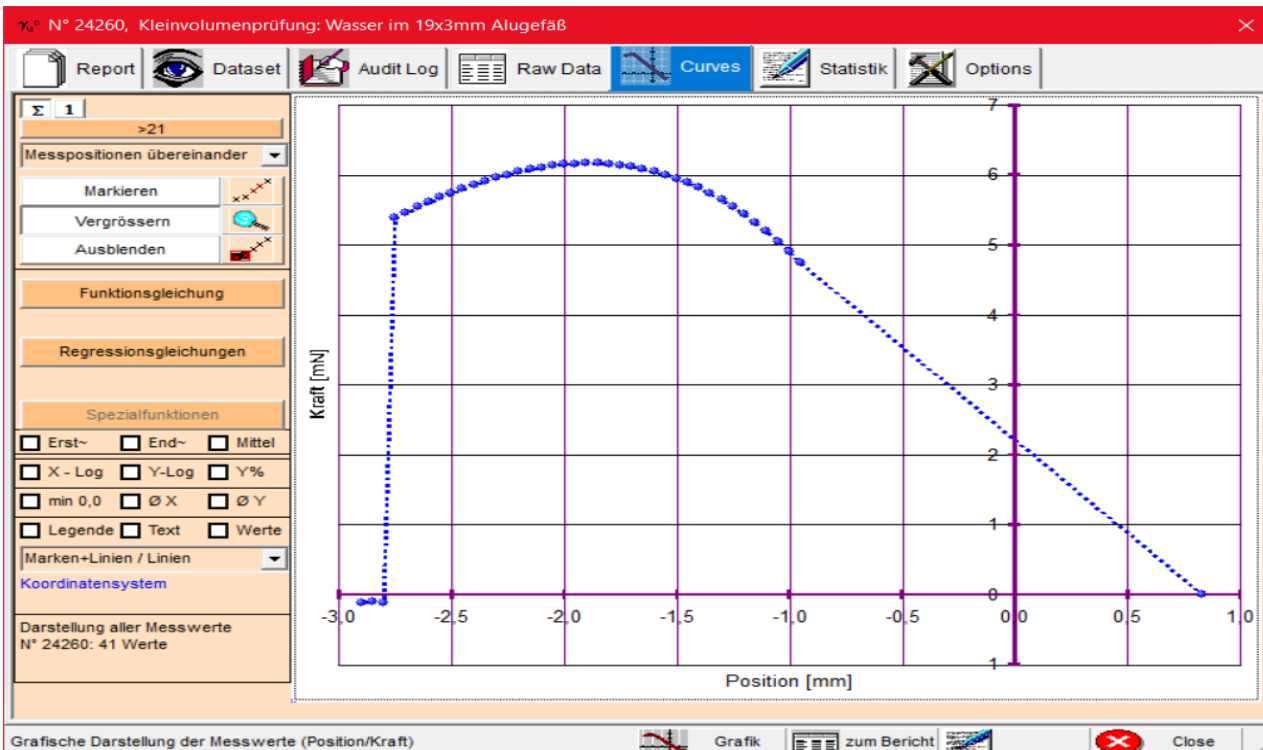
3. Weg-Kraft-Zeit Rohdaten:

(→ Export aus der Datenbank)

DSN°	Platform [mm]	at [s]	DN°	Time [s]	Force [mN]
1760483	0,3343	0,187	1724226	0,639	0,0000
1760484	0,3343	14,872			
1760485	0,0000	41,233			
1760486	2,2018	47,386			
1760487	0,8320	50,215	1724227	57,016	0,0088
1760488	-0,9000	60,524			
1760489	-0,9500	64,318	1724228	69,184	4,7458
1760490	-1,0000	70,405	1724229	75,346	4,9049
1760491	-1,0500	76,525	1724230	81,449	5,0493
1760492	-1,1000	83,275	1724231	88,824	5,1881
1760493	-1,1500	90,126	1724232	97,920	5,3155
1760494	-1,2000	99,215	1724233	105,988	5,4355
1760495	-1,2500	107,266	1724234	112,463	5,5433
1760496	-1,3000	114,702	1724235	120,790	5,6437
1760497	-1,3499	122,195	1724236	127,259	5,7325
1760498	-1,3999	128,618	1724237	133,472	5,8135
1760499	-1,4499	134,717	1724238	140,257	5,8856
1760500	-1,4999	141,481	1724239	147,446	5,9474
1760501	-1,5499	148,869	1724240	154,314	6,0024
1760502	-1,5999	155,636	1724241	160,568	6,0479

1760503	-1,6499	161,861	1724242	166,627	6,0871
1760504	-1,6999	167,952	1724243	172,837	6,1174
1760505	-1,7499	174,127	1724244	178,947	6,1397
1760506	-1,7999	180,215	1724245	185,091	6,1549
1760507	-1,8499	186,367	1724246	192,497	6,1633
1760508	-1,8999	193,970	1724247	199,924	6,1647
1760509	-1,9499	201,146	1724248	206,572	6,1602
1760510	-1,9999	207,891	1724249	214,506	6,1479
1760511	-2,0499	215,724	1724250	220,684	6,1295
1760512	-2,0998	222,036	1724251	226,896	6,1053
1760513	-2,1498	228,302	1724252	235,028	6,0765
1760514	-2,1998	236,241	1724253	241,206	6,0425
1760515	-2,2498	242,438	1724254	247,427	6,0042
1760516	-2,2998	248,837	1724255	253,598	5,9594
1760517	-2,3498	254,844	1724256	259,890	5,9131
1760518	-2,3998	261,148	1724257	268,026	5,8583
1760519	-2,4498	269,211	1724258	274,208	5,8021
1760520	-2,4998	275,515	1724259	281,155	5,7395
1760521	-2,5498	282,600	1724260	287,622	5,6753
1760522	-2,5998	288,795	1724261	294,284	5,6061
1760523	-2,6498	295,442	1724262	304,049	5,5352
1760524	-2,6998	305,213	1724263	310,220	5,4590
1760525	-2,7498	311,474	1724264	317,052	5,3790
1760526	-2,7998	318,305	1724265	323,229	-0,1122
1760527	-2,8497	324,400	1724266	329,351	-0,1110
1760528	-2,8997	330,629	1724267	334,938	-0,1118
1760529	0,0000	346,667			
1760530	2,2018	368,907			

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



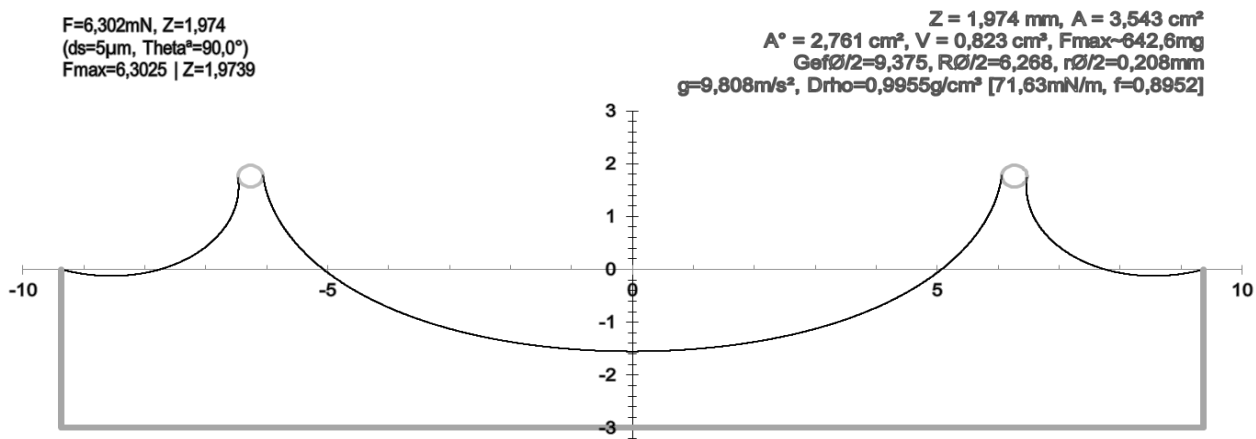
Die Rohdaten in der universellen Auswertung – mit falschem Vorzeichen der z- bzw x-Werte.
(Da diskrete Werte erfasst werden, bestimmt die Auswertesoftware also eine interpolierte Maximalkraft (F_{max}) aus einer Polynom-Regressionsfunktion im Kurvenmaximum – bei $f'(z)=0$)

Die in der Messung IDN°24260 ermittelten Positions-Kraft- Wertepaare werden mit theoriegemäß ermittelten Wertepaaren verglichen.

Verwendete Parameter zur Berechnung der Differenzialgleichung

R (Ringradius)	6,268	mm
r (Ringdrahradius)	0,208	mm
Diskretisierung Δs	0,005	mm
Gefäßradius	9,375	mm
Gefäßrandwinkel (θ)	90	°
Dichte (Wasser)	0,9967	g/cm ³
Luftdichte	1,176	Kg/m ³
Ortsfaktor g	9,80769	m/s ²
Fmax*	6.3025	mN

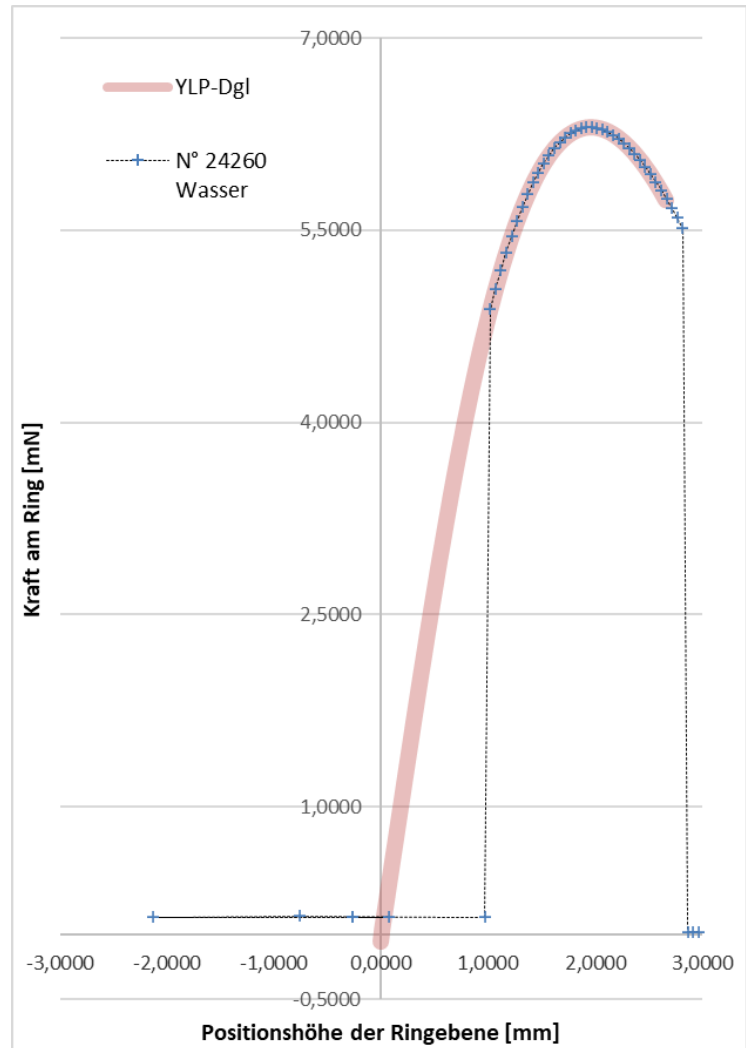
* F_{max} ist im Prüfbericht der Betrag zwischen gemessener Maximalkraft und Bezugskraft ($6.3025 = 6.1652 + 0.1373$ mN). Das Antastverfahren zur Ermittlung des Nullniveaus führt zu einer konventionell bedingten Differenz beider ‚Nullniveaus‘, die für die Messdatenvisualisierung eine konstante Verschiebung um $+0.069$ mm ($=r/3$) erforderlich machte.



Mit den Ausgangsdaten der Messung ergibt die Differenzialgleichung eine zu den Experimentalergebnissen passende, sehr ähnliche, nahezu identische Spannungskurve und GFS.

Für eine genaue Datenanalyse ist die Qualität der Ausgangsdaten der experimentellen Messung aufgrund unzureichender Umgebungsbedingungen bei der Messung ungünstig, gleichwohl wird eine erstaunlich gute Übereinstimmung erhalten.

Nr°	Theoretische Werte		Gemessene Werte (IDN°24260, Wasser)	
	z [mm]	F-YLP [mN]	z [mm]	F-exp [mN]
1	1,0191	4,8702	1,0193	4,8831
2	1,0658	5,0180	1,0693	5,0422
3	1,1134	5,1597	1,1193	5,1866
4	1,1619	5,2952	1,1693	5,3254
5	1,2115	5,4240	1,2193	5,4528
6	1,2623	5,5458	1,2693	5,5728
7	1,3143	5,6604	1,3193	5,6806
8	1,3676	5,7672	1,3693	5,7810
9	1,4223	5,8658	1,4192	5,8698
10	1,4786	5,9560	1,4692	5,9508
11	1,5074	5,9977	1,5192	6,0229
12	1,5662	6,0741	1,5692	6,0847
13	1,6270	6,1408	1,6192	6,1397
14	1,6582	6,1702	1,6692	6,1852
15	1,7223	6,2210	1,7192	6,2244
16	1,7552	6,2421	1,7692	6,2547
17	1,8231	6,2753	1,8192	6,2770
18	1,8939	6,2956	1,8692	6,2922
19	1,9305	6,3006	1,9192	6,3006
20	1,9680	6,3019	1,9692	6,3020
21	2,0065	6,2993	2,0192	6,2975
22	2,0867	6,2818	2,0692	6,2852
23	2,1285	6,2662	2,1192	6,2668
24	2,1718	6,2458	2,1691	6,2426
25	2,2165	6,2200	2,2191	6,2138
26	2,2629	6,1885	2,2691	6,1798
27	2,3111	6,1507	2,3191	6,1415
28	2,3615	6,1058	2,3691	6,0967
29	2,4143	6,0531	2,4191	6,0504
30	2,4701	5,9913	2,4691	5,9956
31	2,5293	5,9189	2,5191	5,9394
32	2,5928	5,8338	2,5691	5,8768
33			2,6191	5,8126
34	2,6618	5,7327	2,6691	5,7434



Statistische Auswertung zu den beiden Kurven

- ◆ Korrelationskoeffizient: 0,9997
- ◆ Mittlere Differenz (Messung - Theorie): +0,009
- ◆ Standardabweichung der Differenz: 0,014
- ◆ Maximale Abweichung: +0,043 mN/m
- ◆ Minimale Abweichung: -0,009 mN/m

Eine simulationsgestützte Konkretisierung über die exakten geometrischen Daten der Ringe (Triple Line, Ring, Ringdraht), kann auf Basis einwandfreier Messdaten z.B. auch durch eine KI vorgenommen werden.

Test mit einer Referenzflüssigkeit, die eine weitaus geringe OFS und eine andere Dichte aufweist. Der nachfolgende Prüfbericht dokumentiert die Messung der OFS von n-Decan.

IMETER V.5.5 rev.255



automatic Report (99A14AO16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 15. Jul 25

IDN° 24263 - Surface Tension

Executed on Jun 16, 2025, by M. Breitwieser

Decane - Referenz 2

Decane >=99%, SIGMA-ALDRICH. mit Spritze direkt vor Messung in AluGefäß => Ø18.75 ±0,05, 3mm tief=> 0.83 cm³. Steuerungspositionen gemäß ID24260 (Wasser) eingestellt da allgleich. (Temp.messung mangelbehaftet.)

Flüssigkeit/Vergleich: 'Decane'

Result: $\gamma_{29,164^{\circ}\text{C}} = 22,82 \pm 0,11 \text{ mN/m}$

Report

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

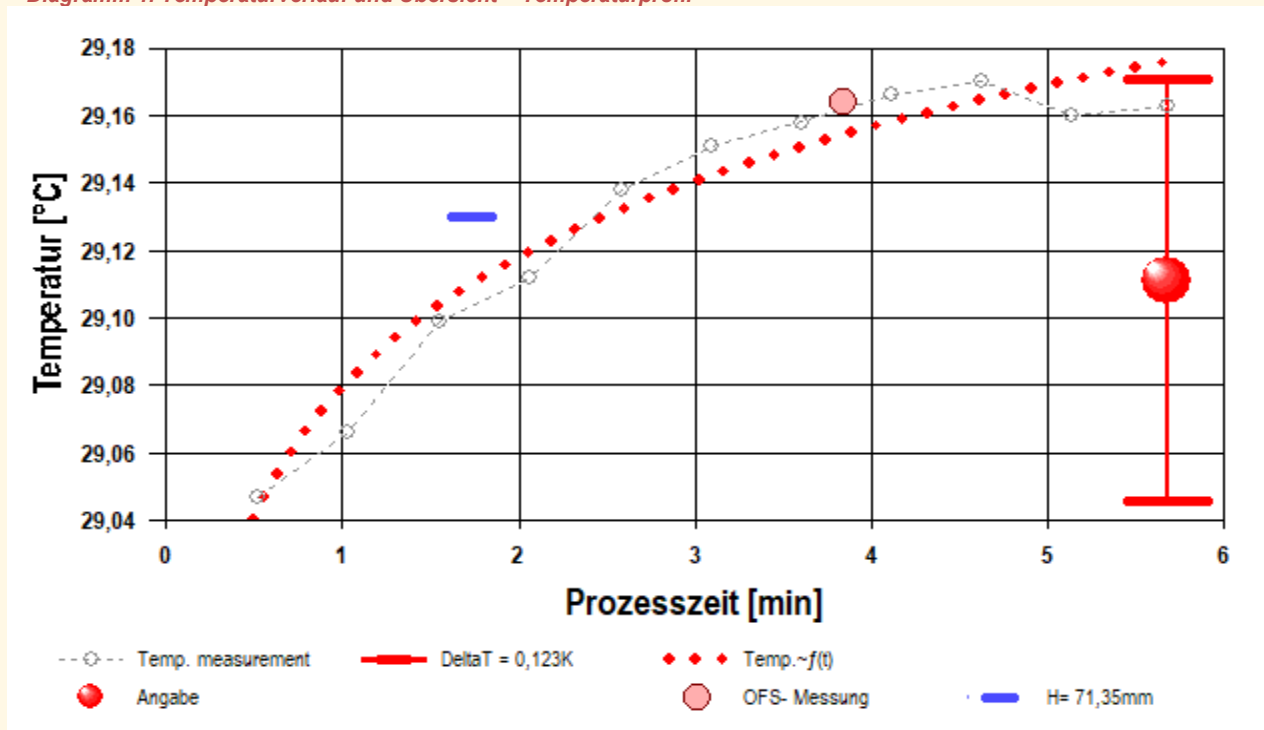
1. Eigenschaft und Methode

Die Oberflächenspannung γ ist die kohäsiv wirkende Kraft, ...

2. Übersicht, Temperatur

Die Oberflächenspannung wurde ein-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs sechs Minuten; Temperatur bei 29,1°C.

- Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 'Temperaturprofil'



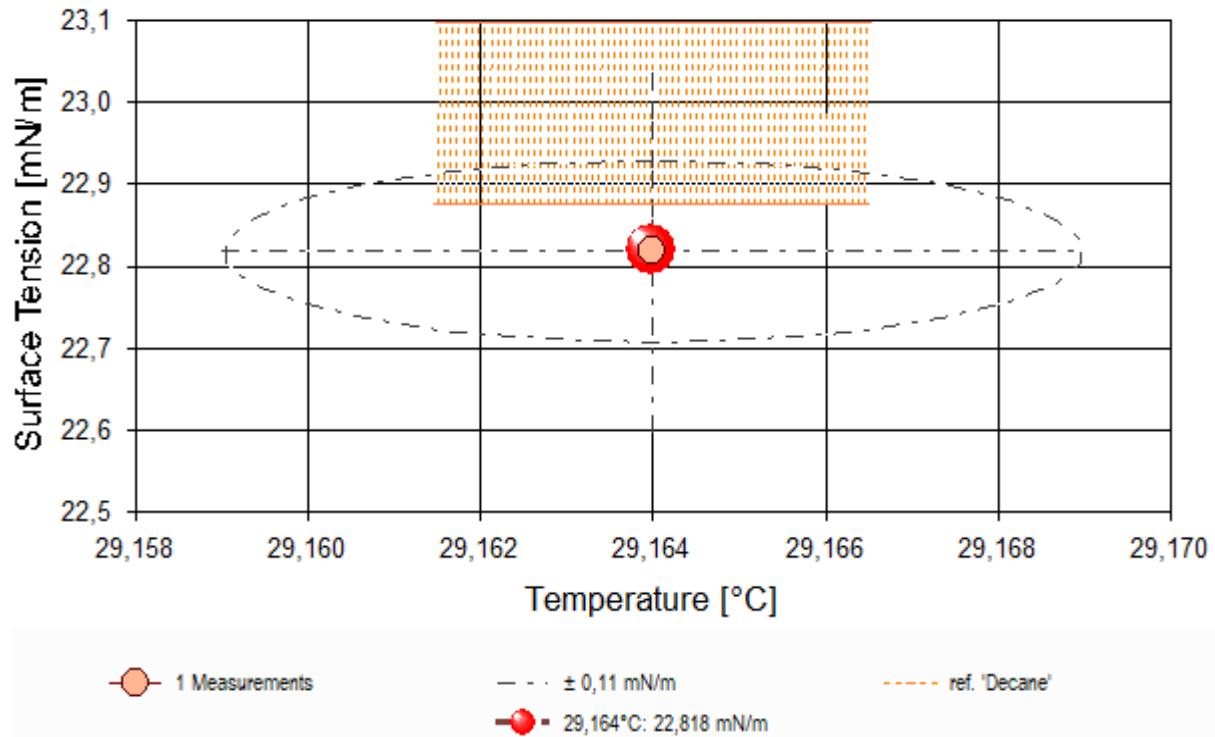
- Im Diagramm "Temperaturprofil" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der jeweils aufgezeichneten Temperatur gezeigt. Die Zeitachse beginnt mit dem Startzeitpunkt dieser Messung. -- Die Kreismarkierungen zeigen die einzelnen Temperaturmesswerte an, die kugelförmigen Marken stehen 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.

● 3. Ergebniszusammenfassung

Ein Messwert bei 29,164°C, nach 3,8 min

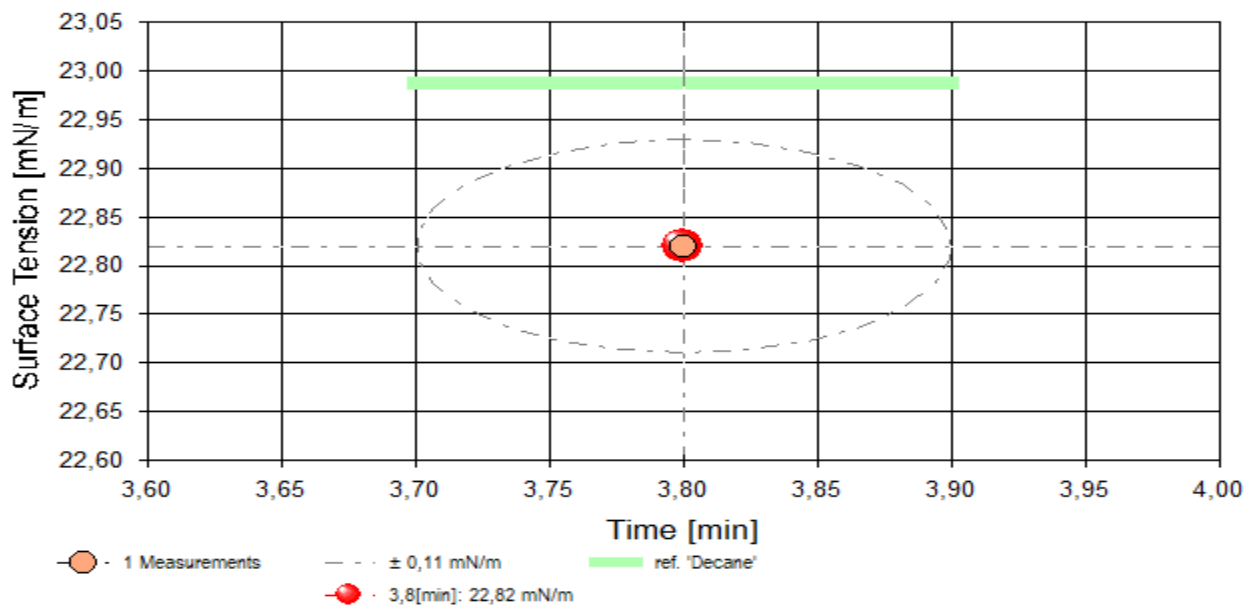
Ergebnis: 22,82 ±0,11 mN/m

– 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 ($\gamma_{29,164^\circ\text{C}} = 22,82 \text{ mN/m}$) ist der Bereich der Messunsicherheit als dünn gestrichelte Kreislinie dargestellt. Als fein schraffierter Bereich ist der Datenbank-Referenzwert von 'Decane' 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 'Decane' temperaturkompensiert eingezeichnet.

Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

t [min]	ϑ [°C]	n_{Pos}	ΔZ [mm]	H_Y [mm]	W_Y [mg]	γ [mN/m]	$\tau_{rel.}$ [s]	$\Delta\rho$ [g/cm ³]
3,8	29,164	31	1,500	2,92	212,60	22,82	113,1	0,7228

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 Messkurvenabastung über die Strecke ΔZ . Die Spalte H_Y gibt die Lamellenhöhe im Scheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an. An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle exakt W_Y . Diese Gewichtskraft ist unter den Messumständen proportional zur daraus berechneten Oberflächenspannung γ . Die Zeitspanne $\tau_{rel.}$ 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 Decane abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

4. Auswertungsverfahren & Messkörper

Berechnung: Young-Laplace-Petzoldt (YLP).

Messsystem: *Geometrisches Artefakt (AdHoc)*, mittlerer Ringradius $R=6,2680$ mm, Drahradius $r=0,2080$ mm, linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha=8,9 \cdot 10^{-6}K^{-1}$. Berechnung ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G \equiv 1$); Innendurchmesser des Messgefäßes $\varnothing=18,75$ mm; Kontaktwinkel Decane an der Dreiphasengrenze $\Theta=90^\circ$, d.h. entspannt.

Probensubstanz: Decane, Dichte $\rho=0,724$ g/cm³ (bei 29,164°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 Decane automatisch. Hierzu wird die Gleichung $\Delta\rho$ [g/cm³] = $f(\vartheta[^\circ C]) = 0.7455 - 0.7293E-3 \cdot \vartheta - 0.371E-6 \cdot \vartheta^2 - \rho_a$ verwendet.

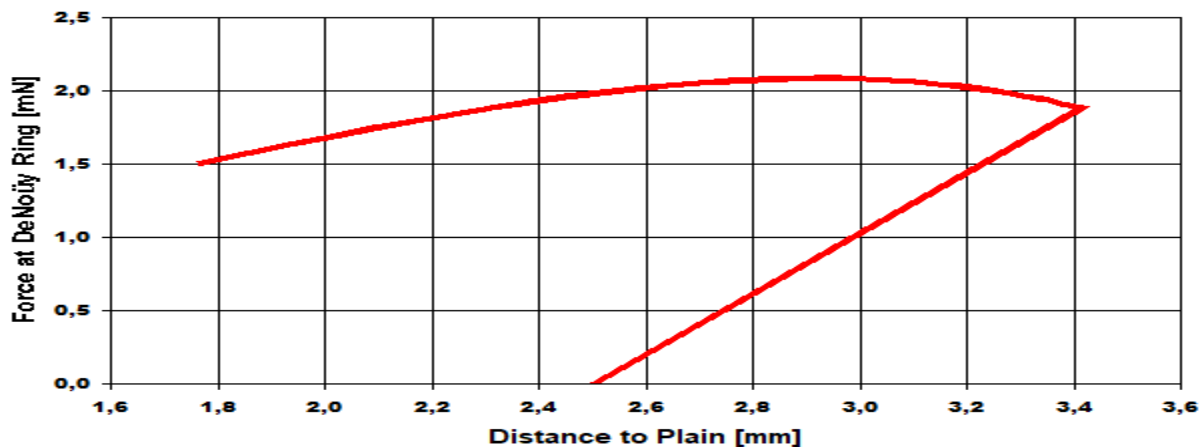
Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

$F_{max.}$ [mN]	$F_{bz.}$ [mN]	f_k	v_z [mm·s ⁻¹]	X [mm]	t_x [s]	ΩK - °pS
2,0851	0,0000	0,862005 p°	0,00752	-	-	°pS

$F_{max.}$ gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (=Maximalkraft); der Kraftbezugswert ist mit $F_{bz.}$ bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_G \cdot f_k \cdot W_Y / (4n \cdot R \cdot g)$ mit $W_Y = (F_{max.} - F_{bz.} + F_{Ringauftrieb}) \cdot g$. 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 ('+' 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 Flüssigkeitslamelle 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 kurz zuvor 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.

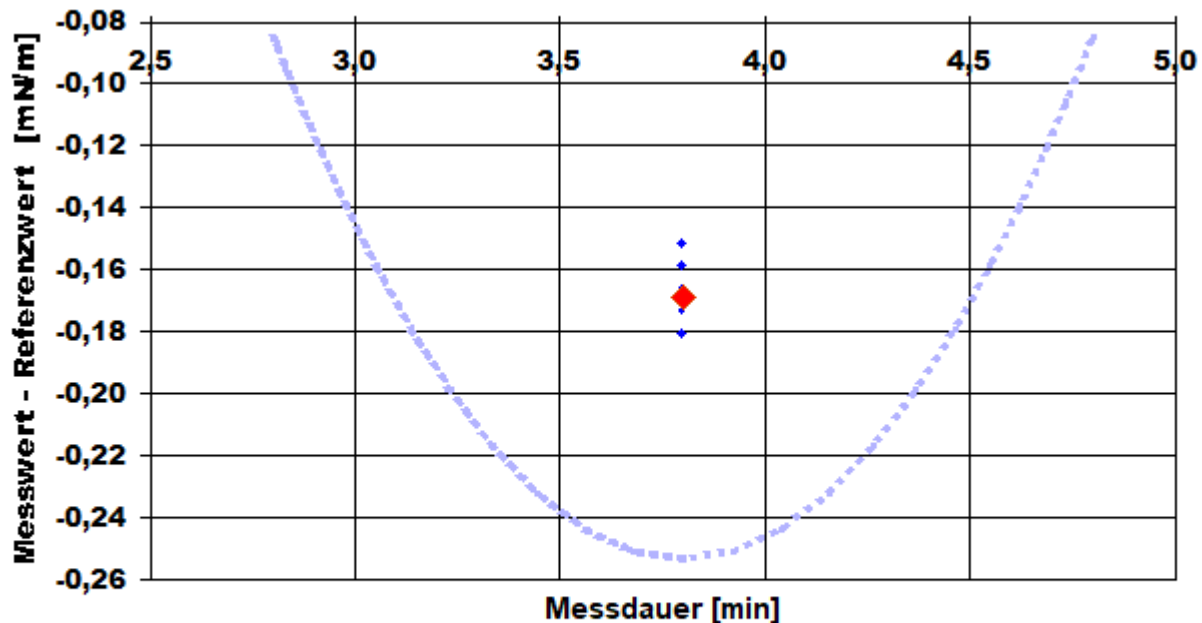
▭ Diagramm 4. Messkurven - Grundlage der Bestimmung der Oberflächenspannung - "Measuring Curves²"



- 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. Referenzdatenvergleich

→ Diagramm 5. IST/SOLL-Vergleich in zeitlicher Abfolge der Messwerte - 'DeltaChart'



Reference values for 'Decane' acc. to $f(T[°C]) = 25.670 - 0.0920 \cdot T$

- Das Chart "DeltaChart" zeigt die temperaturkompensierten Abweichungen der einzelnen Messwerte zum Referenz- bzw. Erwartungswert in zeitlicher Sequenz. - In Diagrammen wird der Datenbereich entsprechend vergrößert dargestellt, was mitunter gute Messungen nicht so aussehen lässt. Weiterhin ist die tatsächliche Korrektheit der Referenz sowie die Relation der Abweichung im Verhältnis zur Messunsicherheit in Betracht zu ziehen.

6. Referenzvergleich mit Decane bei 29,164°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	22,99	22,82	-0,17 mN/m	0,7%	2

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'DECANE' 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 " Δu " gibt an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit.

7. Meldungen & Hinweise

1. Berechnungen mit Daten eines frei angegebenen Messrings. D.h. kein Log zum Artefakt, unvollständige Messsicherheit.
2. Ein Messwert wurde als Absolutwert ohne Bezugskraftermittlung bestimmt.

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 SCI3, 16.06.25, 11399", type 1/38. Time Period of the Accomplishment: Jun., 16. 2025 between 23:46:01 and 23:51:45, elapsed time: six minutes. IMPro finished as projected. The complete Report first was presented on Jun., 17.25 at 00:00. Audit-Log: The Original data is unchanged, nevertheless there are entries to the Log, made while the IMPro was executing:

Backup of state and individual IMPro configuration and variable values at the End:

Gewicht von Ring und Aufhängung: 1,56955g (n=13) um 23:47:32.

Weight of Ring & Holder: before 1,56955g after W+1,5693g (D=-1,56755 [n]). Timeshift-Constant WZDt= 0,316s.

Variables: Stabilisierungsperiode * Rep.: 0,45s * 25 = 11,25 s max., Gefäßdurchmesser Ø18,75 mm,

Positions: StartUndEndeHöhe (50), NNinID24260 (71,352), RingBoden (73,8760), H_SPF_max (69,502),

The Number **24263** refers to the Recordset in the Database 'imeterData40' where all Information can be retrieved at any time.

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZA224) wurde 1,8 Stunden vor dieser Messung von M. Breitwieser justiert. Die letzte vollständige Prüfung der Positioniervorrichtung von **IMETER** (ID23903733) erfolgte am 21.04.25.

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 $\pm 0,005$ K, R° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN^o2, -25/152^oC, 3S, FS15,8). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.5.24, LizenzN^o *3037-4759*, Windows 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N^o6995684 (C, SSD).

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m ³]
5,6	47,7	24,93	97,387	1,13187

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

Report created by IMETER[®] & M. Breitwieser

Die Qualität der Messung von *n*-Decan ist wahrscheinlich durch ein Verdampfen des Messliquids während des Ablaufs beeinträchtigt. - Um die wirklich richtigen Parameter des Setups zu bestimmen, die genauer als messbar bestimmt sein würden, müssten tadellose Messungen an Normal- Referenzfluide vorliegen – dann könnten Ring- und Gefäßparameter exakt ermittelt werden.

Berechnung der Oberflächenspannung mit $F_{max} = 2.0851$ mN je nach Auswertung:

LAPLACE-PETZOLDT: $\gamma = 22,82$ ($f_k = 0,862005 p^\circ$)

HARKINS & JORDAN: $\gamma = 23,56$ ($f_k = 0,8901 h$)

ZUIDEMA & WATERS: $\gamma = 23,28$ ($f_k = 0,8796 z$)

HUE & MASON: steht nicht zur Verfügung

RAW $\gamma = F_{max}/4RII$: $\gamma = 26,47$ ($f_r = 1,000 r$)

6. DER ALGORITHMUS ZU STEUERUNG & DATENACQUISITION = DAS MESSPROGRAMM

(Unter der Adresse <https://www.imeter.de/service/info-download.html> ist jeweils eine ausführlich erklärende Bedienungs- und Programmieranleitung verfügbar.)

Der kommentierte Quellcodes des IMPros (Messprogramm) macht das Zustandekommen der Daten verstehbar; Ablauf, Bedien-, Mess- und Steuerungsvorgänge sind eindeutig. Der bestimmungsgemäße Ablauf des IMPros erzeugt automatisch, automatisch deduzierbare Ergebnisse.

Laplace-Petzoldt SCI3 (M1)

Description given with the Program:

GENAU ABGESTIMMTE POSITIONEN - VORSICHT -

- 1: Tara - dann Ring eingehängen - Tara
2. Probenflüssigkeit im Gefäß vorlegen - glatte Füllung 90°. (OT-Abstrich!)
3. Ring gegläht einsetzen.
4. --- Automatische Positionierungen (exakte Positionen aus absolut selbem Aufbau ID24260 => 0=71.352mm Plattformhöhe!)
... RGef=9.4mm (Ø18.8mm) mit 13mm-Ring.

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 SCI3 - V.7.5.23 - Jul 14 2025

2. Start thread Processes
 3. #Config ↴
 4. IF "W + TARA > 0,01 [g]" THEN: Message (Stop): **Bitte Waage ganz frei machen!**
 5. WEIGHING CELL: Tare (WCint)
 6. Z-MOVE: ⚡ "StartUndEndeHöhe" v= 10 mm/s
 7. CALL USER: **'OFS-Messung mit Gefäßkontaktwinkel 90°**
 - (1) **Gefäß gefüllt bereit -**
 - (2) **Ring Einhängen (trocken, sauber, ausgeglüht)**
 - (3) **STRAT Messung läuft vollautomatisch'**

Confirmation: Keyboard or IMETER; Background Picture ...Media\Justiergewicht.jpg
 8. Wait: 0,500 s
 9. LOOP: one line back, max.100-times OR UNTIL "dW=0 g" IS TRUE
 10. WEIGHING CELL: I-Weighing : 0,5 [s] on streaming Data, +Evaluability
 11. [SET] "Fid04" = **Gewicht von Ring und Aufhängung: @W_ME#@g (n=@W_nz#@) um @TIME@.** Format@) um @TIME@. Variables rulling
- the IMPro are written to the Experiment-Log. => Repeatability.*
12. [Mass/Weight] "RingTara" = W_ME [g]
 13. _____ **'*** RING IN LUFT TARIERT ***'** _____
 14. WEIGHING CELL: Tare (stable)
 15. [28]
 16. _____ **'Taucht ganz an den Boden ...'** _____
 17. [Number] "LfNr." = 0 [n] Durchlaufzähler
 18. [35] _____ **'Kraft: @F@'** _____
 19. [Number] "LfNr." = LfNr. +1 [n]
 20. Z-MOVE: ⚡ "RingBoden" v= 5,0 mm/s
 21. Z-MOVE: ⚡ "NNinID24260" v= 0,50 mm/s
 22. Set Z-Zero on actual Position
 23. _____ **'Lamellenauszug - Startversatz - Anfang auslassen'** _____
 24. Z-MOVE: ⚡ "VorauszugStrecke" v= 1,0 mm/s
 25. _____ **'Lamellenauszug'** _____
 26. #Statischer Lamellen-Auszug bis Abriß ↴
 27. Recalc Results/Diagrams
 28. IF " LfNr. < AnzahlMessungen " THEN: 13 Lines backward

 30. _____ **'Wiederholung - nach Zeit / Temperaturänderung'** _____
 31. Z-POSITION: NullNiveau at 0,50 mm/s
 32. QUESTION **'Soll die Messung - z.B. nach einer Temperierphase - wiederholt werden?'** IF No => 4 - Lines forward
 33. **-(M+)-** **'Temperatur? Was ändern? Warten (wdh nach 1h)? Beenden?'** _____
 34. Wait: 3600 s
 35. JUMP 17 Lines backward
 36. [32] Record density of Air
 38. f On User ends IMPro: Jump here _ - (without query!)
 39. Z-MOVE: ⚡ "StartUndEndeHöhe" v= 10 mm/s
 40. [SET] "Fid04" = **Backup of state and individual IMPro configuration and variable values at the End:**

@Fid04@

Weight of Ring & Holder: before @RingTara#@g after @W+ TARA #@g (D=@W - RingTara@). Timeshift-Constant WZDt=@WZDt#@s.

Variable: Stabilisierungsperiode * Rep.: @Stabilisierungsperiode#@s * @WarteSchleifenWiederholungen#@ =
 @Stabilisierungsperiode * WarteSchleifenWiederholungen#@ s max.. Gefäßdurchmesser Ø@Gefäßdurchmesser#@ mm,
 Positionen: StartUndEndeHöhe (@StartUndEndeHöhe#@), NNinID24260 (@NNinID24260#@), RingBoden (@ RingBoden#@),
 H_SPF_max (@H_SPF_max#@) ⇒ ZFmax(exp.) = @NNinID24260 - H_SPF_max#@mm. Format@g (D=@W - RingTara@). Timeshift-Constant WZDt=
 @WZDt Variables ruling the IMPro are written to the Experiment-Log. ⇒ Repeatability.

1a **x SUB x** **Config**

2a [Number *] AnzahlMessungen (?1 n) **Wieviele OFS-Messwerte?**

3a [absolute Length *] Gefäßdurchmesser (?18,75 mm) **Durchmesser der exakt runden Triple Line (Gefäß-Füllrand! 90°)!**

4a [SET] "Fid25" = @Gefäßdurchmesser / 2@ Gefäßradius.

5a [Number] "WarteSchleifenWiederholungen" = 25 [n] 'Stabilisierungsperiode * WarteSchleifenWiederholungen' ⇒ max. Wartezeit .. (25*0,5 = 12,5sec) max. abwarten.

6a [Time] Stabilisierungsperiode = 0,45 [s] **Stabilisierungsperiode - Zeilscheibe, über die keine Kraftänderung erfolgen darf, bevor der Lamellenauszug fortgesetzt wird.**

7a [relative Way] Inkrement = -0,05 [mm-rel] **Inkrement Zugstrecke beim Ausziehen der Lamelle (negativer Wert, da Plattformbewegung nach unten).**

8a [relative Way] "VorauszugStrecke" = -0,9 [mm-rel] Strecke ab Nullniveau um die die Lamelle automatisch vorab ausgezogen wird (Messung auf Fmax konzentriert). Plattform um diesen Betrag nach unten!

9a [Speed] LamellenZugGeschw. = 0,25 [mm/s] **Bewegungsgeschwindigkeit**

10a [absolute Length] "StartUndEndeHöhe" = 50 [mm]

11a [absolute Length] "NNinID24260" = 71,352 [mm] Nullniveau aus ID24260 entnommen

12a [absolute Length] "RingBoden" = 73,8760 [mm] Nullniveau aus ID24260 entnommen

13a Z-Axis SET PROPERTIES cur%17

14. =====#Config•|

1b **x SUB x** **Statischer Lamellen-Auszug bis Abriß**

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 [24] 'Ausziehen der Lamelle = Die Messung'

7b -a- Z-MOVE: ⚡ "Inkrement" v= "LamellenZugGeschw." mm/s

8b -| Wait: ⌚ "Stabilisierungsperiode "

9b -| LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,05 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|<=0,05 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|<=0,05 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|<=0,05 mg" IS TRUE

22b -| #H_FMax ↵

23b -a- LOOP: to row 7 back, max.100-times OR UNTIL "F2<F1 mN" IS TRUE

24b IF "W >0,1 [g]" THEN: 18 Lines backward Bis zum Abriß!

25. =====#Statischer Lamellen-Auszug bis Abriß•|

1c **x SUB x** **H_FMax**

2c 'Nachdosierung der Flüssigkeit zum Erhalt des Gefäßrand-Kontaktwinkels - gemäß der gehobenen Fluidmenge. Position maximaler Kraft registrieren' —

3c -b- Wait: ⌚ "Stabilisierungsperiode "

4c -| LOOP: one line back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,15 mg" IS TRUE

5c -b- LOOP: 2 lines back, max."WarteSchleifenWiederholungen"-times OR UNTIL "|dW|<=0,15 mg" IS TRUE

6c WEIGHING CELL: l-Weighing : 0,75 [s] on streaming Data, Acquisition +Evaluability ↵

7c weighing for Raw-diagram

8c IF "W_ME < SPF_max " THEN: 3 Lines forward

9c [Mass/Weight] "SPF_max" = W_ME [g]

10c [absolute Length] "H_SPF_max" = H [mm]

11. [8] =====#H_FMax•|

1d **—÷— MENU-COMMAND —÷— AUTO 30sec | TemperaturMessen |**

2d 'Automatische Aufzeichnung der anliegenden Temperatur' —

3d Record Temperature

4. =====> TemperaturMessen•|

Das Diagramm zeigt Ergebnis und Zusammenfassung der beiden experimentellen Testmessungen.

Gemessene und berechnete Werte verlaufen nahezu deckungsgleich, wodurch eine Kohärenz von Theorie (YLP-) und Experiment (N°...Wasser, Decan) hoch beweiskräftig vorgelegt wird.

Die üblichen Berechnungsverfahren zur Ringmethode versagen, gefüttert mit den Experimentaldaten, erwartungsgemäß und vollständig.

Obwohl Messfluid Wasser das Aluminium des Gefäßes nicht gut benetzt (geschätzt $\Theta > 60^\circ$), wurde die Triple Line in Position gehalten. Das n-Decan verdunstet relativ zu Wasser sehr schnell. Die Niveauabsenkung durch das Abdampfen, das während des langsamen Lamellenauszugs fortläuft, dürfte die Abweichungen vom *grünen Graphen* und den verfrühten Lamellenabriss erklären.

Die grob um den Faktor 10x verkleinerte Ausführung eines Ringensiometers als ein DRT, bietet offenbar keine Überraschung. Die drastische Reduktion des erforderlichen Probenvolumens von ca. >15 mL auf 0.8 mL ist auf übliche Tensiometer-geräten direkt übertragbar. Weitere ebenso problemlose Miniaturisierungen sind gut vorstellbar.

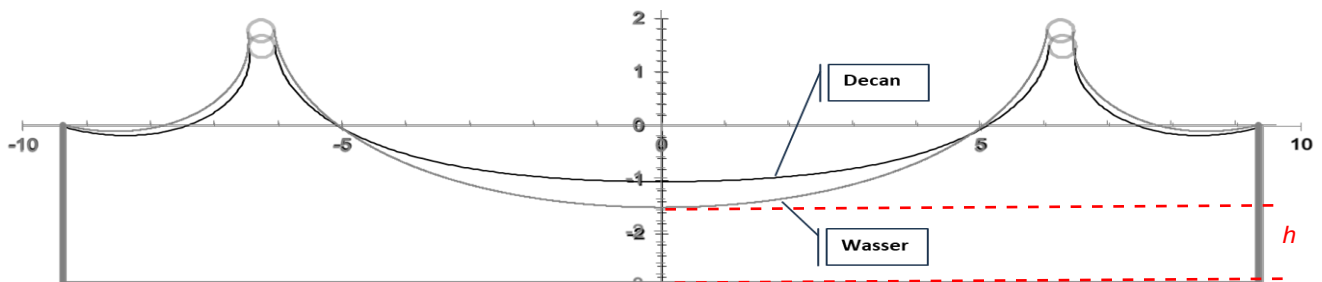
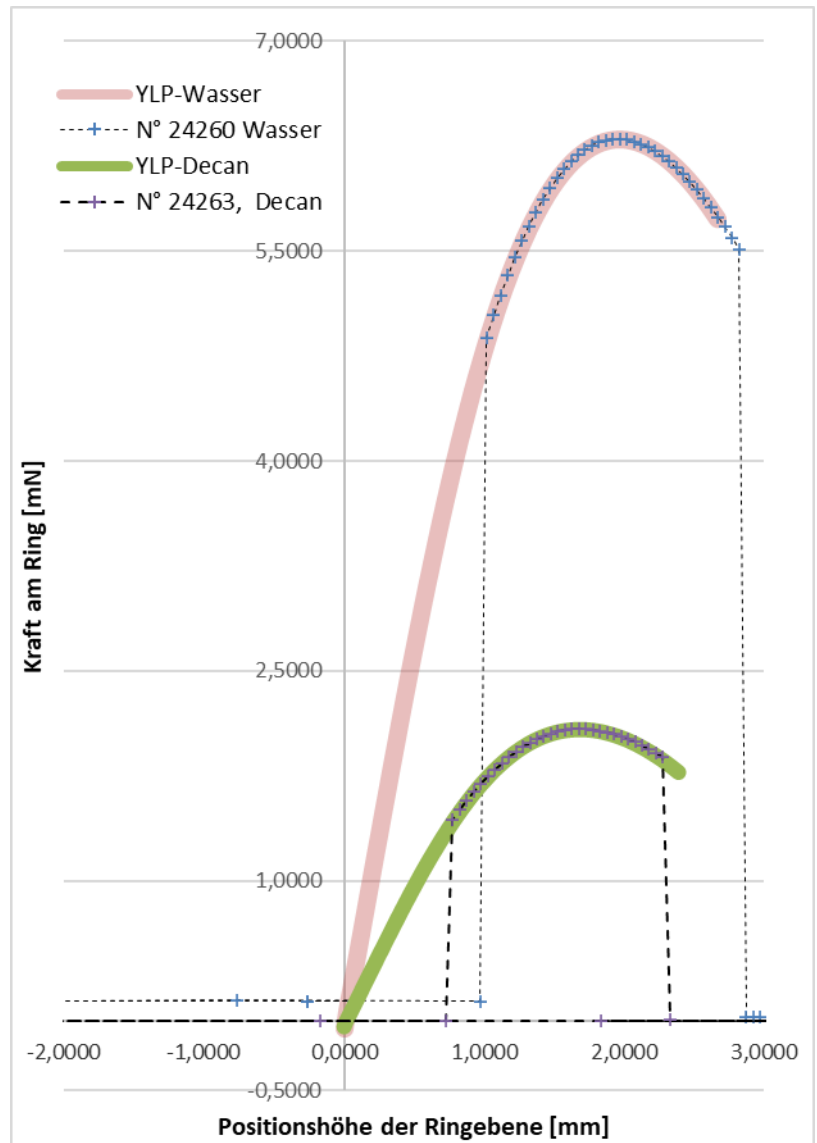


Abb.: Profil des verwendeten Gefäßes mit Konturen der beiden Fluiden eingezeichnet bei der GFS zu F_{max} , ZF_{max} . - Das Gefäß müsste, wie erkennbar, nicht tiefer als 1.8mm sein - es wären also nur **0,497 mL** (minus Ringvolumen) Probe erforderlich. -

[Test auf Entnetzbarkeit bzw. Mindestschichthöhe h eines Fluids über einer Oberfläche am Gefäßboden: die mit dem Lamellenauszug flacher werdende deckenden Fluidschicht über einem Untergrund kann zur Bestimmung der kritischen Bedeckung instrumentiert werden.]