

ID N° 25041 - DRT - Surface Tension / Interpol.

Flüssigkeit/Vergleich: 'Hexan'

Result: $\gamma_{29,98^\circ\text{C}} = 16,97 \pm 0,16 \text{ mN/m}$

Messungen an verschiedenen Testflüssigkeiten bekannter γ und ρ funktionieren und erzeugen erwartbare Messwertverläufe und systematische Abweichungen von bis zu -3% vom Erwartungswert. Ein scheinbarer Anstieg von γ in den Wiederholungen folgt einer zusätzlichen Verringerung des Kantenwinkels φ_{end} , durch Verdunstung. Die Pegelabsenkung verkleinert den wirklichen Wert von f_k , gerechnet wird jedoch im Auswertungsprogramm noch mit dem f_k für das 90°-Pinning.

<https://www.imeter.de/?view=article&id=122:ringmethode&catid=24:oberflaechen-und-grenzflaechenspannung#DasDoppelring-Tensiometer>

• 2. Übersicht, Temperatur

Die Oberflächenspannung wurde 16-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs 20 Minuten; Temperaturänderung im Bereich von 29,97 bis 30,06°C.

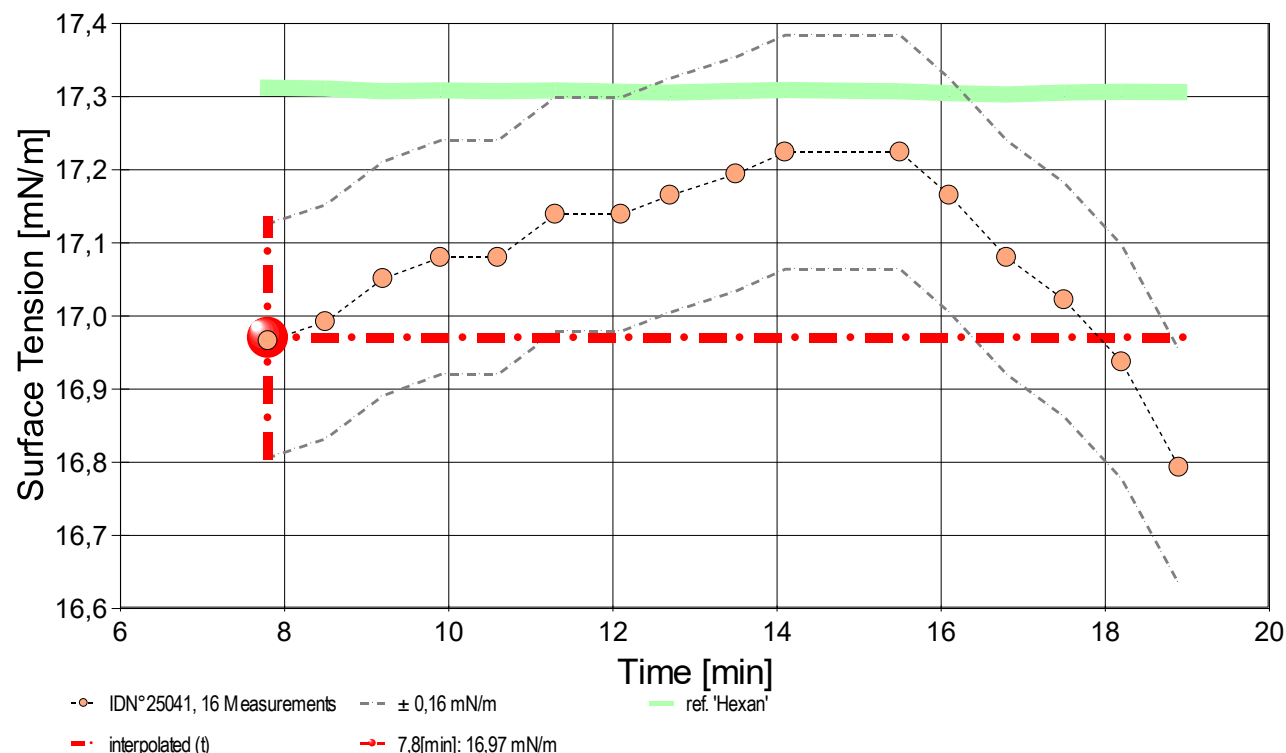
• 3. Ergebniszusammenfassung

16 Messwerte; Zeitbereich 8 bis 19 min, Temperatur $\Delta T = 0,091 \text{ K}$

Ergebnis: **16,97 $\pm$ 0,16** (Interpolation by time on measurements at 7,8 min)

[Average: 17,08 mN/m, Standard deviation: $\pm 0,12 \text{ mN/m}$]

→ Diagramm 1. Zeitprojektion der Messwerte - 'Zeitprojektion²'



Im Diagramm "Zeitprojektion²" sind die einzelnen Messwerte als Kreissegmente 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 'Hexan' temperaturkompensiert eingezeichnet.

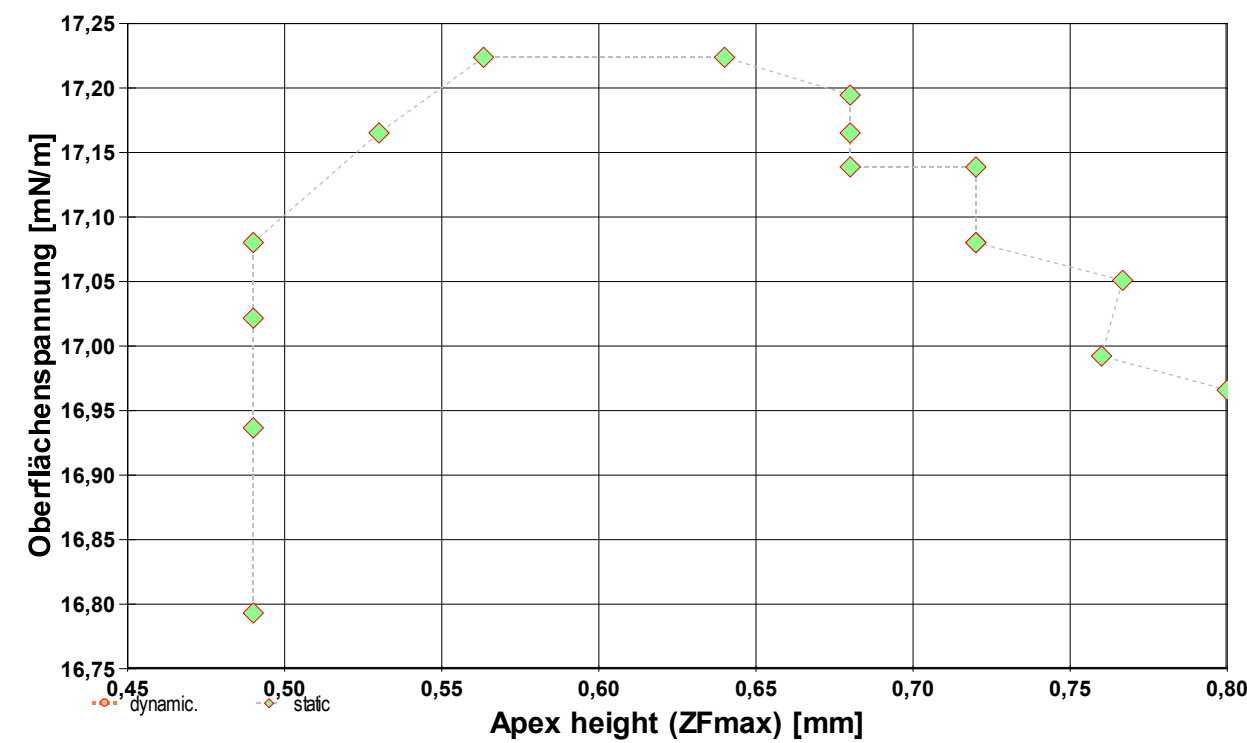
Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

N°	t [min]	ϑ [°C]	nPos	ΔZ [mm]	h_γ [mm]	W_γ [mg]	γ [mN/m]	$\tau_{\text{rel.}}$ [s]	$\Delta\rho$ [g/cm³]
1.	7,8	29,969	9	0,32	0,800	60,50	16,97	11,4	0,6497
2.	8,5	29,980	10	0,36	0,760	60,60	16,99	15,0	0,6497
3.	9,2	30,016	10	0,36	0,767	60,80	17,05	10,6	0,6497
4.	9,9	30,005	10	0,36	0,720	60,90	17,08	10,7	0,6497
5.	10,6	30,015	10	0,36	0,720	60,90	17,08	10,2	0,6497
6.	11,3	30,005	10	0,36	0,720	61,11	17,14	7,0	0,6497

7.	12,1	30,024	10	0,36	0,680	61,11	17,14	7,3	0,6497
8.	12,7	30,034	10	0,36	0,680	61,20	17,17	6,2	0,6497
9.	13,5	30,013	10	0,36	0,680	61,30	17,19	9,0	0,6497
10.	14,1	29,999	10	0,36	0,640	61,40	17,22	2,4	0,6497
11.	15,5	30,018	10	0,36	0,563	61,40	17,22	10,1	0,6497
12.	16,1	30,041	10	0,36	0,530	61,20	17,17	4,3	0,6497
13.	16,8	30,060	10	0,36	0,490	60,90	17,08	3,8	0,6497
14.	17,5	30,034	10	0,36	0,490	60,70	17,02	1,8	0,6497
15.	18,2	30,023	10	0,36	0,490	60,40	16,94	1,8	0,6497
16.	18,9	30,028	10	0,36	0,490	59,90	16,79	3,6	0,6497

In der Tabelle gibt **t** den Zeitpunkt des Messwertes und **θ** die zugehörige Temperatur an. **n_{pos}** steht für die Anzahl der Kraft/Positionsweite der Messkurvenabtastung über die Strecke **ΔZ**. Die Spalte **h_y** gibt die Lamellenhöhe am Scheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an (ZFmax). An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle **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 **Δρ** ist die Dichtedifferenz (d.h. der Dichte von Hexan abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

→ Diagramm 2. Lamellenhöhe in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung - 'Lamellenhöhen²'



- Das Chart "Lamellenhöhen²" stellt die Oberflächenspannung in einen Zusammenhang mit der 'Lamellenhöhe' im Punkt der maximalen Kraft bzw. Spannung. Die Abhängigkeit ist in der Regel proportional; die Lamellenhöhe wird grundsätzlich durch die Oberflächenspannung selbst, den Gefäßdurchmesser und dem Kontaktwinkel θ der Dreiphasenkontaktklinie an der Gefäßwand bestimmt.

• 4. Auswertungsverfahren & Messkörper

Berechnung: Young-Laplace-Petzoldt (YLP).

Messsystem: DRT-ES5, mittlerer Ringradius $R=2,5$ mm, Drahradius $r=0,1$ mm, linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha=8,9\cdot 10^{-6}K^{-1}$. Ring ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G\equiv 1$); Innendurchmesser des Messgefäßes $\varnothing=7,250$ mm, Gefäßvolumen $0,0645\text{ cm}^3$; Anfangs-Kontaktwinkel an der Dreiphasengrenze $\theta=90^\circ$.

Probensubstanz: Hexan, Kapillarlänge $a=1,630$ mm, Dichte $\rho=0,6508\text{ g/cm}^3$ (bei $30,0^\circ\text{C}$); die Dichtedifferenz $\Delta\rho$ wird zur jeweiligen Temperatur aus den Referenzangaben 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 Hexan automatisch. Hierzu wird die Gleichung ' $\Delta\rho\text{ [g/cm}^3\text{]}=f(\theta[^\circ\text{C}])=0.677556\cdot 86.889\cdot\theta/1\text{E}5-0.074370\cdot\theta^2/1\text{E}5-\rho_a$ ' verwendet.

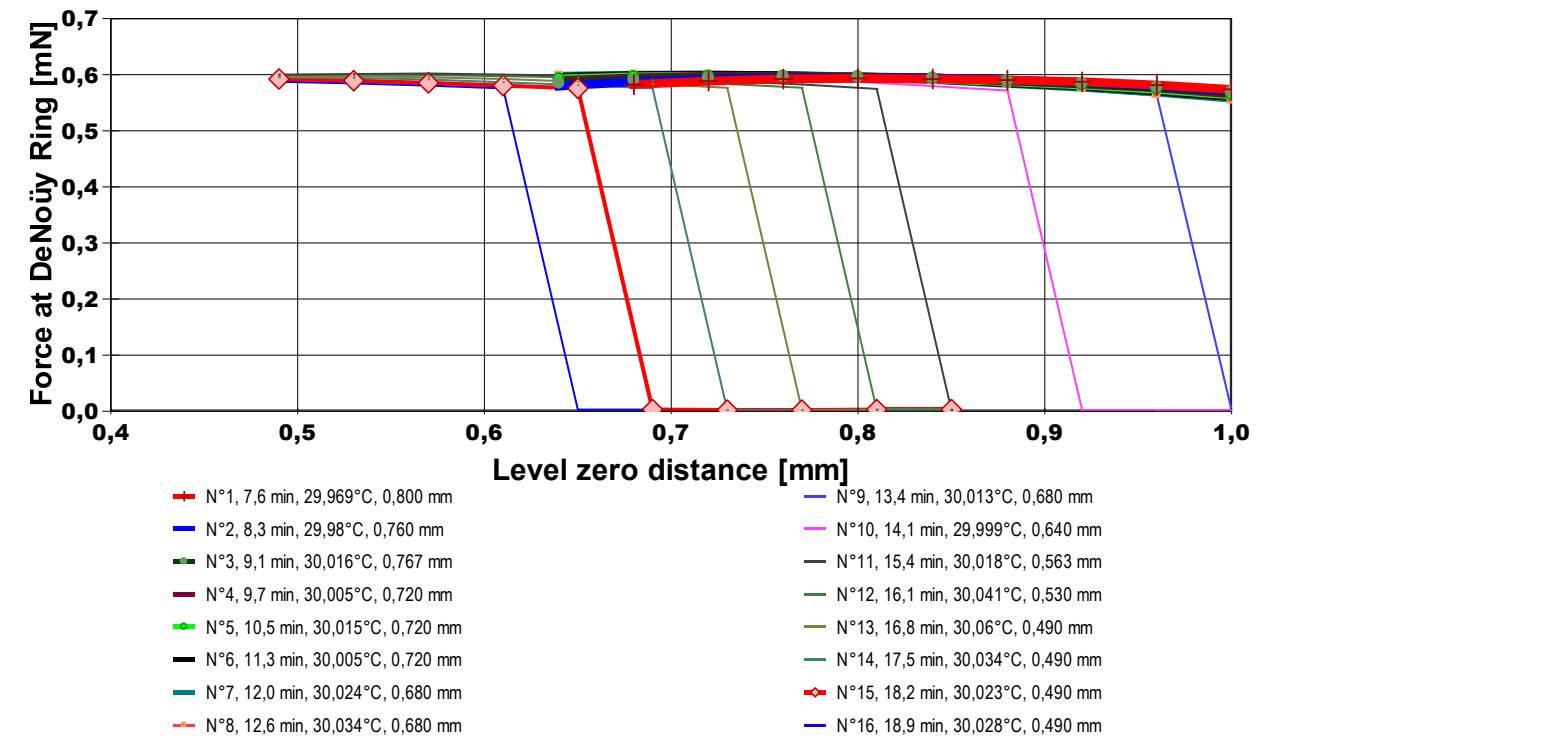
Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

N°	<i>F</i> _{max.} [mN]	<i>F</i> _{bz.} [mN]	<i>f</i> _k -	<i>v</i> _z [mm·s ⁻¹]	<i>X</i> [mm]	<i>t</i> _x [s]	<i>ΩK</i> -
1.	0,5934	0,0000	0,8983 p ¹	0,0105	-	-	³ pS
2.	0,5943	0,0000	0,8983 p ¹	0,0107	-	-	³ pS×
3.	0,5963	0,0000	0,8984 p ¹	0,0113	-	-	³ pS
4.	0,5973	0,0000	0,8984 p ¹	0,0112	-	-	³ pS×
5.	0,5973	0,0000	0,8984 p ¹	0,0118	-	-	³ pS×
6.	0,5993	0,0000	0,8985 p ¹	0,0114	-	-	³ pS
7.	0,5993	0,0000	0,8985 p ¹	0,0109	-	-	³ pS×
8.	0,6002	0,0000	0,8985 p ¹	0,0129	-	-	³ pS×
9.	0,6012	0,0000	0,8985 p ¹	0,00892	-	-	³ pS×
10.	0,6022	0,0000	0,8986 p ¹	0	-	-	³ pS×
11.	0,6022	0,0000	0,8986 p ¹	0,00791	-	-	³ pS
12.	0,6002	0,0000	0,8985 p ¹	0,00926	-	-	³ pS
13.	0,5973	0,0000	0,8984 p ¹	0,0106	-	-	³ pS×
14.	0,5953	0,0000	0,8983 p ¹	0	-	-	³ pS×
15.	0,5924	0,0000	0,8982 p ¹	0	-	-	³ pS×
16.	0,5875	0,0000	0,8980 p ¹	0	-	-	³ pS×

F_{max} gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (F_{max} bei Z_{Fmax}); der Kraftbezugswert ist mit F_{bz} bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_0 \cdot f_k \cdot W_\gamma / (4\pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_\gamma = (F_{max} - F_{bz} + F_{Ringauftrieb}) \cdot g$. Die Größen F_{bz} und $F_{Ringauftrieb}$ betragen 0 bei 'Messungen mit tariertem Ring'. 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 **tx** dafür den relativen Zeitpunkt an.

Die Angabe **QK** 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 3.

Messkurven - Grundlage der Bestimmung der Oberflächenspannung - 'Measuring Curves'²



Im Diagramm "Measuring Curves²" werden die zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte als 'Messkraft' gegen 'Lamellenhöhe' für alle Messpunkte der 16 Messkurven dargestellt. Eine Messkurve beschreibt einen Oberflächenspannungswert. Qualität und Korrektheit einer Messung zeichnen sich durch entsprechend glatt-konkave Kurvenzüge im Bereich der Kraftmaxima aus (Apex = h_7).

5. Referenzvergleich mit Hexan bei 29,98°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	17,31	16,97	-0,34 mN/m	-2,0%	-2

Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'HEXAN' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied Δ wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol γ steht für die Messgröße; "**Δ u**" ist die Referenzabweichung im Verhältnis zur Messunsicherheit.

6. Meldungen & Hinweise

16 Messwerte wurden als Absolutwerte mit Bezugskraft 0 bestimmt (tariert Start).
Temperaturangaben beziehen sich auf die Skala der ITS-90. **Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen bzw. Varianzen qualifiziert. Diese Angaben werden berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu jeweils berechneten Funktionswerten dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für ±(Standardmess-)Unsicherheiten einfache Standardabweichungen - ohne Erweiterungsfaktoren - angegeben, d.h. die Überdeckung betrifft 67% der Werte.

Program

Data created during execution of the IMPro "Lab_DRT-II", type 1/38. IMPro break by user in command line N°172.
(the digital twin of process IDN°25041 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Wägeinheit (WZA224) wurde am Vortag dieser Messung von Labor justiert.
IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,00 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} 1,10891 kg/m³; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001 K, Messunsicherheit ±0,01 K, R° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN°1, -41/200°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion: -0,0056 +0,997592· ϑ +2,20167E-05· ϑ^2 -4,78434E-08· ϑ^3). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.5.17, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).