

IMETER M2 "Ringmethode": GFS-Temperaturabhängigkeit Statische Grenzflächenspannung zwischen Hexan/Wasser

statische Messung der <u>Wasser - Hexan</u> Grenzflächenspannung zwischen 17,5 und 35°C (gesättigte Phasen)

Dieses Anwendungsbeispiel dokumentiert eine Messung zur Temperaturabhängigkeit der Grenzflächenspannung.

Die Grenzflächenspannung zwischen Wasser und Hexan konnte nicht als zeitstabile Eigenschaft gefunden werden – die Grenzflächenspannung fällt mit der Zeit und nach Phasenvermischung stark ab. Die mutmaßlich gegenseitig gesättigten Phasen zeigen eine gegenüber der Erstmessung (51 mN/m) deutlich reduzierte Grenzflächenspannung.

Die Messung der Temperaturabhängigkeit zwischen 35°C, Starttemperatur, bis 17,5°C in Schritten von 2,5 K, zeigte mit fallender Temperatur ebenso fallende Spannungsmesswerte. Der positive Temperaturkoeffizient wird als Effekt ("*höhere Ordnung bei höherer Temperatur"*) als hier mit der Temperatur irregulär abnehmende Grenzflächen-Entropie gedeutet.



©2024 IMETER - MessSysteme Tel. (+49)(0) 821/706450

www.imeter.de

IMETER Anwendungen

In diesem Dokument wird ein automatisch erzeugter IMETER-Prüfbericht vorgestellt. Die Ausführlichkeit ergibt sich aus der Forderung, dass alle Variablen einer Messung dargestellt werden sollen. Variabel sind ja nicht nur die Messdaten, sondern auch Umstände, Abläufe und die Eigenschaften der Normale. Daher verfügt IMETER zum einen über eine Modelliersprache, um Mess- bzw. Steuerungsverfahren zu gestalten ("*was soll der Fall sein"*), zum anderen über analytische Fähigkeiten, um zu bewerten, *was der Fall* ist und um darüber in Berichten Rückkopplung zu geben.

IMETER spart sehr viel Arbeitszeit, indem nicht nur das Messen, Steuern und Regeln, sondern auch die beurteilungsreife Ergebnisdarstellung automatisiert ist!

Anhand eines vollständigen Reports wird der Anwender in die Lage versetzt, Plausibilität und Validität einer Messung detailliert zu überprüfen.

IMETER ist für die Zusammenarbeit mit ML-KI-Tools zur Analyse komplexerer Datenlagen prädestiniert. Durch den Einsatz von Zufalls-Reihenfolgen und variierenden Stellgrößen (z.B. Geschwindigkeit, Pausenzeiten ...) können aus unübersichtlichen Zusammenhängen, Stoffeigenschaften mit relativ wenigen Messungen abgeleitet werden. – Oder, denkbar, man lässt sich das IMPro (=Messprogramm) durch eine KI vorschlagen?

IMETER intelligenter messen!



automatic Report (7F8EE7M16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 20. Jun 24

ID N° 394 - Interfacial Tension / ΔT

Wasser/Hexan : 17,5°C /2.5K/ 35°C ... stabiler Endwert der Grenzflächenspannung <Phasen seit 6 Tagen in Kontakt>

Interfacial Tension: Hexan / WasserResult: $\gamma_{20^{\circ}C} = 30,82 \pm 0,11 \text{ mN/m}, \kappa_{\gamma} \cdot 58 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$

Report

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

• 1. Eigenschaft und Methode

Die *Grenzflächenspannung* γ ist die kohäsiv wirkende Kraft, die eine flüssige Phase in Gegenwart einer anderen Flüssigkeit zusammenhält und die zwischenmolekularen 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 Grenzfläche zu schaffen bzw. die freigesetzt wird, wenn Grenzfläche (z.B. durch Vereinigung von Tröpfchen) verschwindet. Das Augenscheinliche der Eigenschaft Grenzflächenspannung besteht in der mehr oder weniger leichten Verformbarkeit der flüssigen Grenzfläche. Die hier zur Messung angewandte *Ringmethode* beruht auf Kraftmessung bei *Deformation der Grenzfläche*: Ein waagerechter Drahtring wird in die Flüssigkeits-Grenzfläche 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 Grenzflächenspannung. Als Gegenkraft wirkt unter der Fallbeschleunigung das gehobene Flüssigkeitsgewicht - mithin die Dichtedifferenz $\Delta \rho$ zwischen den beiden Flüssigkeiten. Für den exakten Grenzflächenspannungswert 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 Korrekturtabellen - auf der auch andere Algorithmen beruhen. Weiterhin zur Berechnung vur Meiter Anzeige mittels einer Standardflüssigkeit eingesetzt. Das ausgewählte Berechnungsverfahren wird in die sem Bericht nebst aller Eingangsdaten angegeben. Angewandtes Verfahren und Ergebnisberechnung: ausdauernde Messungen bei Temperaturänderung; Ergebniswert und Temperaturabhängigkeit wurden aus dawer der Grenzflächenspannung in Temperaturabhängigkeit erlaubt bei genügede großem Temperaturab

• 2. Übersicht, Temperatur

Die Grenzflächenspannung wurde 39-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs fünf Stunden; stufig, zwischen 35,1 und 17,5°C abfallender Temperaturverlauf, acht Temperaturniveaus; mit sieben Stufen; 2,5 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils ca. fünf Messwerten.



¬ Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 'Temperatur, Events²'

 Im Diagramm "Temperatur, Events²" 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 Grenzflächenspannung. Eine größere kugelförmige Markierung gibt den Zeit/Temperatur-Angabewert in der Dokumentation des gesamten Messprozesses an. Waagerechte rote Striche geben den relativen Verlauf des Flüssigkeitspegels (Niveauhöhe) im Messgefäß an. Dieser wurde durch jeweilige Bezugshöhenbestimmungen 39 Mal durch das Messprogramm ermittelt. Der größte Niveauhöhenunterschied (max.dH) beträgt 0,292 mm. Diese zusätzliche Auswertung ermöglicht, Niveauveränderungen z.B. durch Dosierungen, Verdunstung, Absorption und besonders durch die Temperaturänderung eine Volumenausdehnung der Probe anzuzeigen.

• 3. Ergebniszusammenfassung

39 Messwerte; Zeitbereich 18 bis 291 min, Temperatur ΔT =-17,552 K

Ergebniswert: $\gamma_{20^{\circ}C}$ = 30,82 ±0,11 mN/m (293,15 K)Streuung:±0,11 mN/m absolute bzw. 3,6‰ relative StandardabweichungBerechnung:lineare Regressionsgleichung.Temperaturabhängigkeit zwischen 17,534 und 35,086 °C: γ [mN/m] = f(ϑ [°C]) = 27,22 ±0,18· ϑ mit r^2 =0,988, s^2 =1,25E-2

Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. - Aus der Abwägung der Einflüsse werden formale Zusammenhänge für die Bewertung ermittelt und auch 'Qualitätsangaben' erzeugt, die, wie hier, offenbar nicht ganz eindeutig sind (eine Messzeitabhängigkeit kann immer Temperatureinflüsse überlagern - Ergebnisse werden eindeutiger, wenn im Messablauf stärker unregelmäßige Temperaturänderungen eingestellt werden). Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r², der hier wohl 'mäßig' zu nennen ist). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s²) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung (√s²) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.



 Das Diagramm "GFS-Temperaturprojektion²" zeigt die einzelnen Messwerte der Grenzflächenspannung als Kreissymbole in Abhängigkeit von der Temperatur an. Um den Angabewert (y_{20°C}= 30,82 mN/m) ist der Bereich der Messunsicherheit als dünn gestrichelte, parallele Doppellinie dargestellt. Der Verlauf einer Regressionsfunktion zu den Messwerten ist als dickere, gestrichelte Linie eingezeichnet.



¬ Diagramm 3. Zeitprojektion der Messwerte - 'GFS-Zeitliche Abfolge²'

Taballa 1. Duataball day Masa und Eugabriadata

 Im Diagramm "GFS-Zeitliche Abfolge²" 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.

Tupelle	1: PTOLOKU	JII aer mess- a	una Ergebi	iisuuten					
N°	t [min]	9 [°C]	NPos -	∆Z [mm]	H Fmax [mm]	W(Fmax) [mg]	γ [mN/m]	τ rel. [s]	Δρ [g/cm ³]
1.		35,054	39	1,329	4,26	432,41	33,67	106,8	0,3478
2.	21,7	35,066	39	1,330	4,34	431,60	33,60	105,9	0,3478
3.	24,7	35,086	35	1,190	4,26	430,98	33,54	93,1	0,3478
4.	27,8	35,063	35	1,190	4,26	431,30	33,57	92,4	0,3478
5.	50,6	32,542	35	1,190	4,34	427,70	33,28	101,5	0,3464
6.	53,6	32,554	39	1,330	4,34	426,50	33,17	101,9	0,3464
7.	56.7	32.558	35	1.190	4.31	425.49	33.09	92.3	0.3464

8.	59,7	32,563	39	1,330	4,30	424,62	33,01	98,8	0,3464
9.	63,0	32,567	39	1,330	4,33	424,46	33,00	104,7	0,3464
10.	85,3	30,036	35	1,190	4,30	422,09	32,82	91,7	0,3448
11.	88,5	30,039	39	1,330	4,32	419,60	32,61	106,6	0,3448
12.	91,8	30,043	39	1,330	4,34	418,69	32,53	104,8	0,3449
13.	94,9	30,053	39	1,330	4,30	418,29	32,50	97,2	0,3449
14.	98,1	30,032	39	1,330	4,30	417,92	32,47	100,1	0,3448
15.	120,4	27,539	35	1,189	4,28	416,30	32,34	87,7	0,3433
16.	123,6	27,538	39	1,330	4,30	414,32	32,18	95,0	0,3433
17.	127,0	27,536	39	1,330	4,33	412,71	32,04	110,6	0,3433
18.	130,0	27,556	39	1,329	4,28	413,00	32,07	94,0	0,3433
19.	133,2	27,528	39	1,330	4,30	413,18	32,08	91,9	0,3433
20.	156,1	25,004	39	1,330	4,32	410,64	31,88	103,5	0,3417
21.	159,3	24,984	39	1,330	4,30	409,38	31,78	101,2	0,3417
22.	162,3	24,990	39	1,330	4,31	407,60	31,63	93,8	0,3417
23.	165,4	24,974	39	1,330	4,28	407,20	31,59	88,8	0,3417
24.	168,7	24,970	39	1,330	4,31	407,02	31,58	98,8	0,3417
25.	194,5	22,541	39	1,330	4,32	405,51	31,46	98,9	0,3401
26.	197,6	22,539	35	1,190	4,28	403,70	31,31	96,5	0,3401
27.	200,7	22,544	39	1,329	4,28	402,96	31,25	100,5	0,3401
28.	203,9	22,550	39	1,330	4,25	402,61	31,22	95,0	0,3401
29.	207,1	22,539	39	1,330	4,28	402,24	31,19	95,4	0,3401
30.	233,2	20,032	35	1,190	4,27	399,72	30,99	97,0	0,3383
31.	236,6	20,037	39	1,330	4,33	397,43	30,80	116,3	0,3383
32.	239,9	20,044	39	1,329	4,30	397,00	30,76	110,3	0,3384
33.	243,1	20,044	39	1,330	4,27	397,11	30,77	94,5	0,3384
34.	246,4	20,047	39	1,330	4,29	396,51	30,72	103,1	0,3384
35.	278,6	17,534	35	1,190	4,19	395,02	30,61	85,6	0,3366
36.	281,7	17,554	39	1,330	4,22	393,50	30,48	90,8	0,3366
37.	284,8	17,560	39	1,330	4,26	392,70	30,42	91,5	0,3366
38.	287,9	17,557	39	1,330	4,22	392,20	30,37	92,5	0,3366
39.	291,1	17,563	39	1,330	4,25	391,63	30,33	95,3	0,3366

In der Tabelle gibt t den Zeitpunkt des Messwertes und 🛛 die zugehörige Temperatur an. 🗛 nes steht für die Anzahl der Kraft/Positionswerte der 👘

Messkurvenabtastung über die Strecke ΔZ . Die Spalte H_{Fmax} gibt die Lamellenhöhe im Parabelscheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an. An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle $W_{(Fmax)}$ und dieses entspricht der so gemessenen Grenzflächenspannung γ . Die Zeitspanne τ_{rel} gibt die Dauer beim Auszug der Lamelle bis zum Erreichen der Maximalkraft an. In der Spalte $\Delta \rho$ ist die Dichtedifferenz der beiden flüssigen Phasen bei der Temperatur angegeben.

¬ Diagramm 4. Lamellenhöhe in Abhängigkeit von der Grenzflächenspannung - 'GFS und Lamellenhöhe²'



Das Chart "GFS und Lamellenhöhe²" stellt die Grenzflächenspannung in einen Zusammenhang mit der 'Lamellenhöhe' im Punkt der maximalen Kraft bzw. Spannung. Die Abhängigkeit ist in der Regel proportional; die Lamellenhöhe wird teilweise von der Gefäßoberfläche beeinflusst. Größere Streuungen im Werteverlauf zeigen eine unruhige Umgebung oder ungeeignete Ermittlungseinstellungen der Grenzflächenlage an (Nullniveau-Bestimmung); systematische Änderungen deuten je nach Umständen auf Effekte von Messgeschwindigkeitsvariationen oder auch die Bildung einer 'Oberflächenhaut' hin. - Beim Bestimmungsverfahren zur Pegelposition der Phasengrenze durch das *Tastverfahren von unten* (aus der Phase), wird die Höhe 0 (Nullniveau) durch den Kontakt der Ringoberseite mit der Phasengrenze definiert. Deshalb ist die Ringdrahtdicke (=0,185 mm) bei diesen absoluten Niveau-Höhen in Betracht zu ziehen.

• 4. Auswertungsverfahren & Messkörper

Berechnung: 'Harkins & Jordan' - Originaltabellen.

Messring: Ring N°3 (PtIr-III), mittlerer Ringradius R = 9,602 mm, Drahtradius r = 0,185 mm, linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, Volumenzusatz 0,3 mm³. Berechnung ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G \equiv 1$); Innendurchmesser des Messgefäßes Ø = 43,0 mm.

Grenzfläche: *Hexan / Wasser*, Dichtedifferenz der beiden Phasen $\Delta \rho = 0,3383 \text{ g/cm}^3$ (bei 20°C), die Dichten wurden zur jeweiligen Temperatur mit den Referenzfunktionen berechnet.

- Die geometrischen Angaben zum Messring beziehen sich auf die Bezugstemperatur 25°C. Ein '*Volumenzusatz*' ergänzt das mathematisch bestimmte Ringvolumen mit dem Volumen der *Lötverbindung*. Für die Berechnung wird die genaue Dichtedifferenz der beiden Phasen benötigt [die Dichten der gegenseitig gesättigten Phasen sind ggf. zu bestimmen - mit dem 'Offset' zur Referenz kann die jeweilige Temperaturgleichung i.d.R. einfach modifiziert werden!]. Die Berechnung der Dichte ρ zur jeweils vorliegenden Temperatur erfolgt mittels vorhandener Referenzdaten zu *Hexan* und Wasser automatisch. Für die Dichtedifferenz wird die Gleichung '**\Delta \rho** [g/cm³] = f(Θ [[°]) = ABS(((99983.952+1695.2577-8)-0.79905127-8²-4.6241757E-3·8³ +1.0584601E-5·8⁴ -2.8103006E-8·8⁵) / (1e5+1688.7236·8)) - (0.677556-86.889·8)/1E5 -0.074370·8^2/1E5))' verwendet.

Tahelle 2 · 711	Rerechnung	und Klassifikation	der einzelnen	Messwerte
	DELECTION			NICONVELLE

N°	F max. [mN]	F bz. [mN]	<i>f</i> k	V z [mm⋅s ⁻¹]	X [mm]	t x [s]	<u>Ω</u> K
1.	4,2409	0,0000	0,958 h	0,0111	-	-	²pS
2.	4,2330	0,0000	0,9578 h	0,0112	-	-	² pS
3.	4,2269	0,0000	0,9576 h	0,0113	-	-	² pS
4.	4,2301	0,0000	0,9577 h	0,0114	-	-	² pS
5.	4,1947	0,0000	0,9573 h	0,0114	-	-	² pS×
6.	4,1830	0,0000	0,957 h	0,0117	-	-	² pS
7.	4,1731	0,0000	0,9568 h	0,0121	-	-	² pS
8.	4,1645	0,0000	0,9566 h	0,0113	-	-	² pS
9.	4,1630	0,0000	0,9566 h	0,0114	-	-	² pS
10.	4,1397	0,0000	0,9565 h	0,0118	-	-	² pS
11.	4,1153	0,0000	0,9561 h	0,0112	-	-	² pS
12.	4,1064	0,0000	0,9559 h	0,0114	-	-	² pS
13.	4,1025	0,0000	0,9559 h	0,0115	-	-	² pS
14.	4,0988	0,0000	0,9558 h	0,0119	-	-	² pS
15.	4,0829	0,0000	0,9558 h	0,012	-	-	² pS
16.	4,0635	0,0000	0,9555 h	0,0122	-	-	² pS
17.	4,0477	0,0000	0,9552 h	0,0104	-	-	² pS
18.	4,0506	0,0000	0,9553 h	0,0119	-	-	² pS
19.	4,0523	0,0000	0,9553 h	0,0126	-	-	² pS
20.	4,0274	0,0000	0,9552 h	0,0112	-	-	² pS
21.	4,0151	0,0000	0,955 h	0,0114	-	-	² pS
22.	3,9976	0,0000	0,9546 h	0,0119	-	-	² pS
23.	3,9937	0,0000	0,9545 h	0,0122	-	-	² pS
24.	3,9919	0,0000	0,9545 h	0,012	-	-	² pS
25.	3,9771	0,0000	0,9546 h	0,0113	-	-	² pS
26.	3,9594	0,0000	0,9542 h	0,0116	-	-	² pS
27.	3,9521	0,0000	0,9541 h	0,0115	-	-	² pS
28.	3,9487	0,0000	0,954 h	0,0118	-	-	² pS
29.	3,9450	0,0000	0,9539 h	0,0121	-	-	² pS
30.	3,9203	0,0000	0,9538 h	0,0108	-	-	² pS
31.	3,8979	0,0000	0,9534 h	0,0105	-	-	² pS
32.	3,8937	0,0000	0,9533 h	0,0102	-	-	² pS
33.	3,8947	0,0000	0,9533 h	0,0119	-	-	² pS
34.	3.8888	0.0000	0.9532 h	0.0112	-	-	² pS
35.	3.8742	0.0000	0.9533 h	0.0119	-	-	² nS
36.	3,8593	0,0000	0,953 h	0,0123	-	-	² pS
37.	3.8515	0.0000	0.9528 h	0.0122	-	-	² pS
38.	3.8466	0.0000	0.9527 h	0.0121	-	-	² pS
39.	3,8410	0,0000	0,9526 h	0,0121	-	-	² pS

 F_{max} gibt den korrigierten Messwert der Maximalkraft an; dessen Kraftbezugswert wird mit F_{bz} ausgegeben {Berechnung: $\gamma = f_G \cdot f_K \cdot \{F_{max} \cdot F_{bz}\}/(4\pi \cdot R)$ }. Der Faktor f_{bc} 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 zugrundeliegenden 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: ¹¹ steht für eine Messkurve mit wenigen Sekunden zuvor frisch ermittelter Bezugskraft; bei ²² wurde die Bezugskraft übernommen; ³³ 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 '×' wird angehängt, wenn der Messwert unsicher ist und aus nicht-idealen Messkurven ermittelt wurde, z.B. bei verzerrter Parabelform.

DIN 53993 - zur Bestimmung der Grenzflächenspannung - 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.



Im Diagramm "Spannungsbögen²" werden die zu Grunde liegenden Messwerte als 'Messkraft' gegen 'Oberflächenabstand' dargestellt. Für die 39 Messkurven wird der korrigierte Sachverhalt bezüglich Kraft und Abstand von Ring und Grenzfläche abgebildet. Qualität und Korrektheit zeichnen sich anhand glatter Kurvenzüge im Bereich des Kraftmaximums aus.





 Das Chart "GFS-Geschwindigkeitsabhängigkeit²" zeigt die Abhängigkeit der Grenzflächenspannung von der Auszugsgeschwindigkeit an. Dynamisch bzw. statisch bestimmte Messwerte werden separiert dargestellt. Bei (quasi-)statischen Lamellenauszügen wird die angegebene Geschwindigkeit über die Messpositionen gemittelt; Geschwindigkeiten bei dynamischer Messung werden als unkorrigierte Verfahr-Geschwindigkeiten der Plattform angegeben.

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% 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.

Programm

Data created during execution of the IMPro *"TensIMETER-A"*, type 2/28. Automatic self-repetition of the IMPro - the 1. Repetition. IMPro finished as projected.

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZA224) wurde im Messablauf und bereits 66,5 Stunden vor dieser Messung justiert.

IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,00 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung *g* 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001 K, Messunsicherheit ±0,01 K, *R*° 100.0056 Ω, Kalibrierintervall 30 min (BN°1, -41/200°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion: -0,0054 +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 7.4.18, LizenzN° *3037-4759*, Windows 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).

Justierung der Wägezelle während der Messung:

Zeit: 13,4 [min] Korrektur: 0,0001 [g] Die während der Messung automatisch ausgeführten Wägezellen-Justierungen sind mit relativem End-Zeitpunkt und korrigierter Abweichung oberhalb

dokumentiert (die kompletten Kalibrier- und Justierprotokolle sind in der Datei 'imeter-Beispiele.cal' gesondert gespeichert).

Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	φ[%]	<u><i>T</i>a</u> [°C]	<u>pa [kPa]</u>	$\rho_{air} [kg/m^3]$
12,4	41,36	15,5684	95,802	1,153
47,8	40,56	14,8109	95,798	1,156
82,8	40,26	14,2439	95,775	1,158
118,0	39,76	14,2782	95,7512	1,158
153,3	39,68	16,5029	95,72	1,148
191,9	39,679	14,8873	95,703	1,155
230,6	39,92	15,0385	95,680	1,154
276,1	39,37	15,1371	95,650	1,1531

Obige Zusammenstellung gibt die Aufzeichnung der Atmosphärendaten für den Aufstellort wieder; darin bedeuten φ relative Luftfeuchte (r.H.), Ta Lufttemperatur und pa absoluter Luftdruck, ρair die Luftdichte; Die Luftdichte wird dabei aus den Druck-, Temperatur- und Luftfeuchtewerten berechnet.

Report created by IMETER ®

"Der automatische Bericht präsentiert die Datenlage und führt eine (Vor-)Interpretation aus. Die Tabellendaten sind in Spalten Tab-separiert und können somit sehr einfach z.B. in Excel oder einem KI-Assistenten weiteranalysiert werden.

Jeder, der Messreihen zusammenfasst, forscht, auswertet, QS-Statistiken führt etc., kennt den Fall, dass manche Werte nicht ins Bild passen. Ausreißer? Die Dokumentation von Messungen, wie sie IMETER bietet, erlaubt es, sehr viel später noch die Plausibilität zu überprüfen. Das spart Zeit, Geld und Nerven, gibt Sicherheit und fördert Entdeckungen.