



## Messung der *Feststoffdichte* an Pulvern, Granulaten, Pasten oder Flüssigkeiten

### Dichte von Seesand (Ostsee)

**Der Maßstab bei der hydrostatischen Festkörperdichtemessung ist die Dichte der Flüssigkeit, um damit die exakt gemessene Auftriebskraft auf das Probenvolumen zurückzuführen. In diesem Beispiel wird die Messung eines feinteiligen Stoffes, nämlich Sand, beschreiben. Zur Erhöhung der Sicherheit wird das alternierende Messverfahren für die Gewährleistung des Maßstabs und die Meniskuseliminierung für sicherste Messwerte eingesetzt. Die Reinheits- bzw. Gehaltsbestimmung wird im Bezug auf Beimengung zu Quarz berechnet.** - Ein Problem bei der Messung waren bisher pastöse und feinteilige Stoffe. Statt Pyknometer einzusetzen, kann die imeter Dichtemessung komfortabel angewendet werden. Plagt nun die Frage, wie sollte wohl der der Sand aufgehängt werden? Außerdem, es gibt kaum Flüssigkeiten deren Dichten über Temperaturbereiche im ppm-Maßstab glaubwürdig ermittelt sind. -- Auch dieses Problem wird gelöst.

Als Flüssigkeit wurde Chloroform (technische Qualität) eingesetzt. benetzt gut, und man darf annehmen, dass alle Luft aus der Probenmatrix ausgetrieben wird. Außerdem, die relativ hohe Dichte verbessert die Messauflösung. Praktisch wurde so vorgegangen: Eine Schale, in die hernach das Pulver gegeben wird, wird leer in die Messflüssigkeit eingesetzt und zwar zur Dichtemessung<sup>1</sup> der Flüssigkeit selbst. Dann wird in den Behälter eine Menge Sand genau eingewogen; das Gewicht wird im Datenformular angegeben, die Schale in die Messzelle eingesetzt und wie zuvor automatisch nach Temperaturangleichung, nun die Dichte der Probe bestimmt. Im Ergebnis wird die Schale, d.h. Masse und Volumen des vormaligen Messkörpers eliminiert<sup>2</sup>. Später kann die (leere, saubere) Schale wieder als Dichtemesskörper verwendet werden, um die Flüssigkeit zu messen. Und/oder es kann die nächste Probe untersucht werden<sup>3</sup>. Dies klingt vielleicht aufwendig, ist es aber nicht, denn die Handgriffe und Eingaben sind einfach, kaum der Rede wert; Daten suchen oder rechnen braucht man nicht und jedweder Fehler fällt sofort auf - sei er systematischer Natur<sup>4</sup> oder von zufälligem Charakter<sup>5</sup>. Und wenn eventuell das Gewicht der Probe per Tippfehler falsch angegeben wurde, kann dies jederzeit (auch während der Messung) korrigiert werden – oder es wird ein Messablauf (Messprogramm) gewählt, innerhalb dem das Probengewicht gleich mit-bestimmt wird.

<sup>1</sup> Die „Schale“ war Probe in einer sorgfältigen Festkörperdichte- und Dilatationsmessung und wurde dadurch ein valider Dichtemesskörper für Flüssigkeiten. Es hätte natürlich auch ein normaler Dichtemesskörper verwendet werden können – aber, wozu der Aufwand!

<sup>2</sup> Nach analogem Schema der Eliminierung ist auch die Porosität, z.B. durch Ummantelung mit Wachs, als Messgröße zugänglich

<sup>3</sup> Es muss nicht streng abgewechselt werden zwischen Fest/Flüssigkeitsdichte. Bei bekannten Probenarten genügt es, zwischendurch die Flüssigkeitsdichte zu bestimmen. Die imeter-Datenauswertung sucht sich passende Daten selbst zusammen. Und es stört auch nicht, nicht einmal als systematischer Fehler, wenn sich die Temperatur dabei geändert hat.

<sup>4</sup> z.B. die Flüssigkeit verändert sich → eine Dichtestufe erscheint über die Vor- und Nachbestimmte Flüssigkeitsdichte.

<sup>5</sup> z.B. Gasbläschen → es ergibt sich bei drei Werten schon ein unnatürlicher Trend bzw. eine starke Streuung. (Normalerweise liefern Dichtemessgeräte keine Mittelwerte oder Verläufe, das ist auch ein wichtiger Punkt der Sicherheit).

©2006 imeter/MSB Breitwieser  
MessSysteme  
Tel. (+49)(0)821/706450

<http://www.imeter.de>

**imeter Anwendungen**

Diesem Anwendungsbeispiel ist der zur Messung automatisch erzeugte **imeter**-Prüfbericht beigelegt. Die relative Ausführlichkeit ergibt sich aus der Forderung, dass die Variablen einer Messung dargestellt werden sollen und müssen (GxP). Variabel sind nicht nur die Messdaten selbst und deren Umstände sowie die Eigenschaften der Normale, sondern auch Abläufe und Handhabungen. Dazu verfügt **imeter** einerseits über eine Modellersprache, um Mess- bzw. Steuerungsverfahren zu gestalten („was soll der Fall sein“) und andererseits über analytische Fähigkeiten, um zu bewerten, was der Fall ist und um darüber in Berichten Rückkopplung zu geben. - **imeter** befreit kostbare Arbeitszeit, indem es nicht nur das Messen/Steuern/Regeln, sondern auch die beurteilungsreife Darstellung und Dokumentation weitgehend automatisiert.

*Die Formatierungsvorgaben des Berichts bestimmen Art und Umfang der Informationsdarstellung. – Der Anwender (der Kunde oder wir) können jederzeit in die Lage versetzt werden, die Plausibilität und Validität einer Messung detailliert zu überprüfen.*

*Der **imeter**-Prüfbericht auf den folgenden Seiten enthält keine Erläuterungen (Prüfmittelüberwachung, alternative Einheiten u.a.) Bitte finden Sie Erläuterungen und zuschaltbare Features in einigen anderen, der in dieser Reihe gezeigten Beispiele.*

Die Messung ist technisch bedingt sehr genau: Weil durch die Differenzwägung im Messablauf Driftstörungen beseitigt werden und durch die Eliminierung des *Meniskusgewichts* auch die andere wesentliche Fehlerquelle entfällt, zudem wird die Flüssigkeitsdichte garantiert. So ist die Methode sicher, robust und genau.

Diese Messungen wurden in einem Temperiergefäß mit Deckel ausgeführt (Messzelle), die Flüssigkeit wird dabei mit dem integrierten Magnetrührwerk umgewälzt, um im Fluid eine einheitliche Temperatur zu gewährleisten. Dabei dient ein Ministat -Thermostaten (Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH, Offenburg - [www.huber-online.com](http://www.huber-online.com)) zur exakten Temperierung.

Messungen laufen selbstverständlich vollautomatisch bis zur Berichtsabgabe durch.  
 ... Temperaturangleichung abwarten, umrühren, Probe heben und senken, *Meniskus auslöschen*, gerechte Werte messen, ein paar Mal wiederholen, schließlich das Ergebnis ausgeben:



imeter/MSB, Augsburg am 25.04.06

## Feststoffdichte

Titel: **Ostseesand, Usedom, Ückeritz**  
 Bemerkung: normal lufttrockener Sand  
 Ergebnis:  $\rho^{25,02^{\circ}\text{C}} = 2,5633\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$   
 Ostsee-Sand, gemessen in Chloroform (Kalibrierungsübertragung)

## Bericht

### • Ermittelte Probandaten

<b>Dichte</b>	$\rho = 2,5633$	$\pm 0,0003$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>0,1‰</b>
<b>Volumen</b>	$V = 8,7453$	$\pm 0,0004$	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>40ppm</b>
<b>Masse</b>	$m = 22,4165$	$\pm 0,0002$	<b>g</b>	<b>9ppm</b>
<b>Wägewert</b>	$W = 22,4094$	$\pm 0,0002$	<b>g</b>	

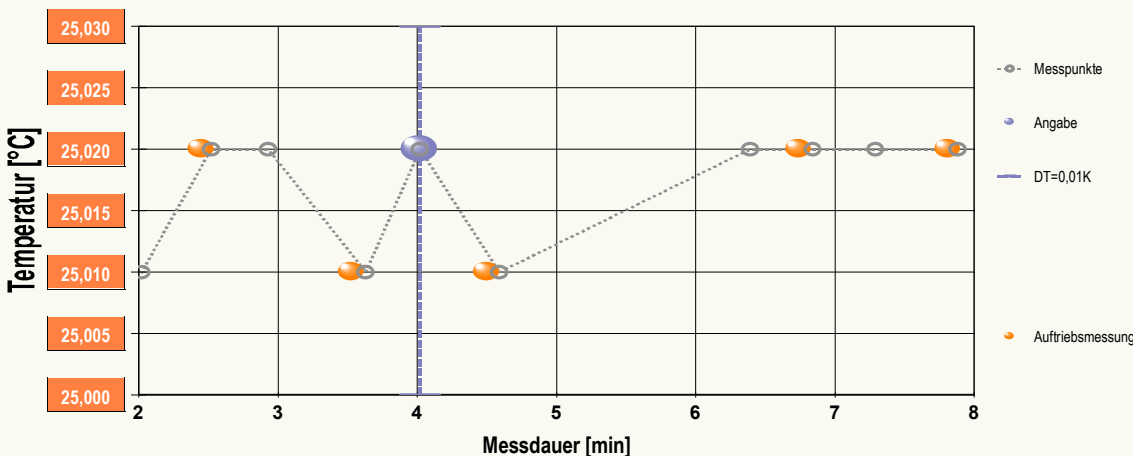
Die Masse der Probe ist um 7,1mg größer als der Wägewert; materialbezogen beträgt der Unterschied 0,3‰.

Die Dichtangabe wurde aus dem Mittelwert der Einzelergebnisse ermittelt. Die Standardabweichung beträgt absolut  $1,8\cdot 10^{-4}\text{g/cm}^3$ . Da die Streuung kleiner ist, als die Fehlerschätzung, kann von einer formalen Richtigkeit der Messung ausgegangen werden.

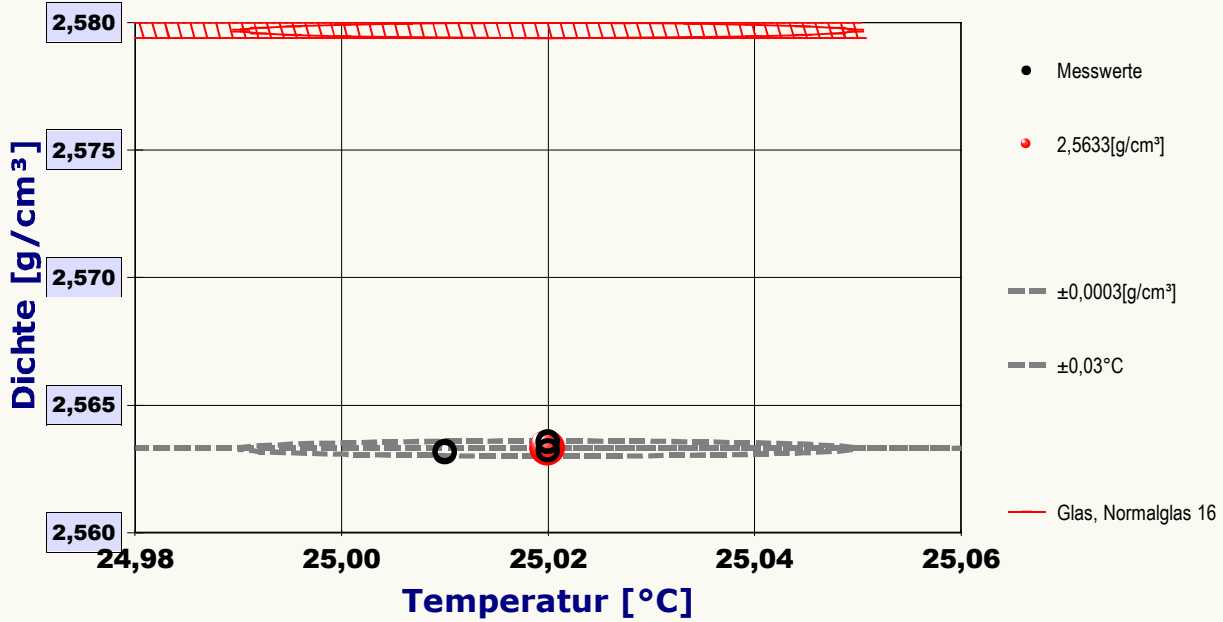
### • Fünf Dichtemesswerte

gesamte Dauer 7,8 Minuten. Die Temperatur ist im gesamten Zeitraum etwa isotherm bei 25,02°C.

**Diagramm 'Temperaturverlauf und Ereignisse'**



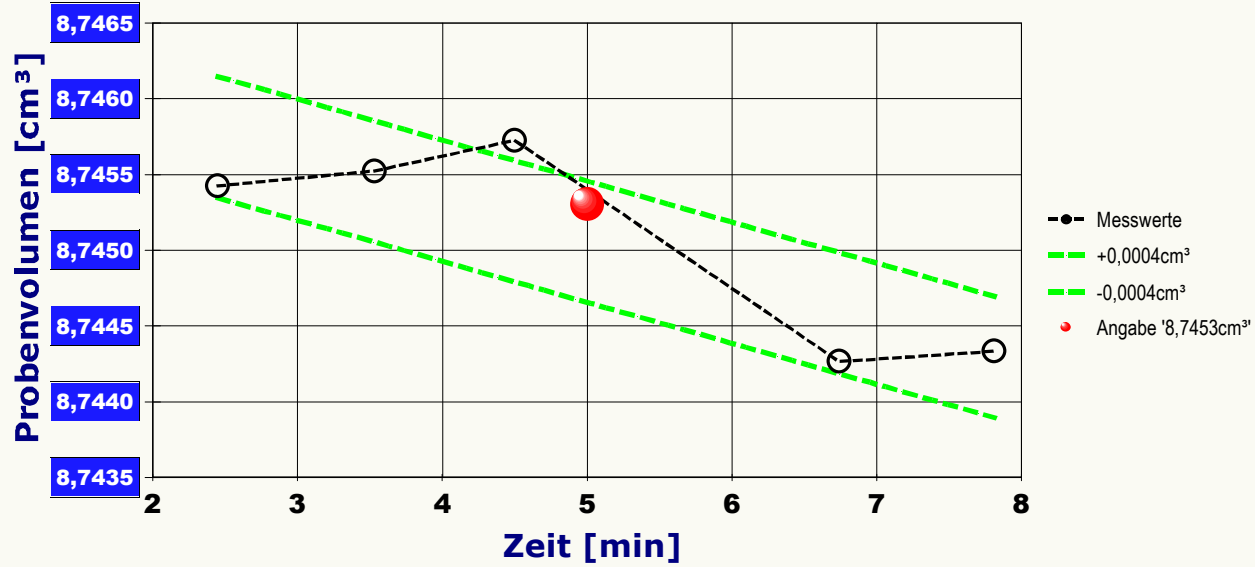
**Diagramm 'Temperaturabhängigkeit'**



**Tabelle der Detaildaten:**

N°	Zeit	T	$\rho_{Fl}$	$\rho_{Probe}$	$V_{Probe}$	$\Delta t_{Akqu.}$	$\Delta T$	$\Delta \rho_{Probe}$	N
1.	2,4	25,02	1,46782	2,56323	8,74542	1,2	-	-	2
2.	3,5	25,01	1,46784	2,56320	8,74552	0,6	-	-	2
3.	4,5	25,01	1,46784	2,56314	8,74573	1,2	-	-	2
4.	6,7	25,02	1,46782	2,56357	8,74426	1,2	-	-	2
5.	7,8	25,02	1,46782	2,56355	8,74433	0,6	-	-	2

**Diagramm 'absolutes Volumen'**



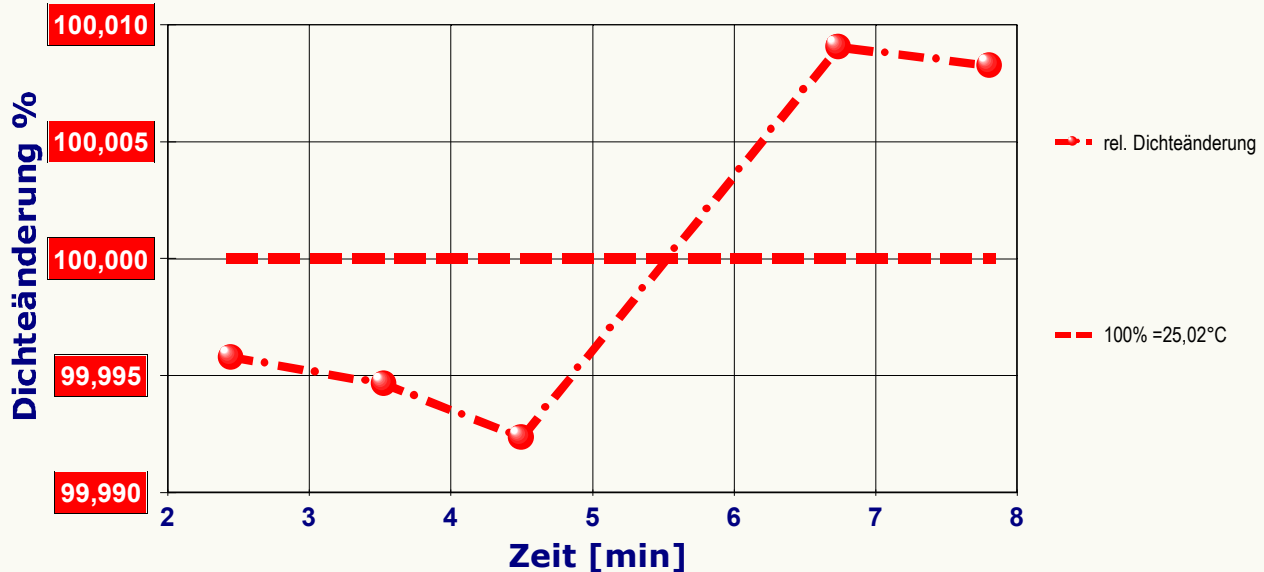
**• Chronologische Volumenentwicklung**

Die Entwicklung des Probenvolumens mit der Messzeit wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$V_i[\text{cm}^3] = f(t[\text{min}]) = 8,7464 - 2,706E-4 \cdot t$$

Die Korrelation ist, wie bei der Dichte, unbedeutend ( $r^2 = 0,74$ ), die Standardabweichung der Gleichung gegen die Messwerte beträgt absolut  $3,53E-04 \text{ cm}^3$  und relativ 40ppm. So ist die Streuung über den gesamten Bereich, trotz der schlechten Korrelation, kleiner, als der eingeräumte Volumenfehler. (vgl. Diagramm *absolutes Volumen*.)

**Diagramm 'relative Dichteänderung'**



**• Auswertungshinweise**

Messflüssigkeit 'Chloroform', experimentell vor- und nachbestimmt in Messung **N°7197 und 7199**. Die Übertragung der Kalibrierung des Flüssigkeitsdichtemesskörpers (ID339) durch das alternierende Messverfahren - bindet die angegebene Dichte automatisch an die Dichte des Messkörpers an. Die Unsicherheit des Zahlenwertes der Flüssigkeitsdichte wurde individuell zur Messung angegeben. Die Flüssigkeitsdichte,  $\rho_{Fl.}$ , wurde demnach gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur Temperatur berechnet:

$$\rho_{Fl.} = f(\zeta[^\circ C]) = (1.4800 - 1.892E-3 \cdot (\zeta - 25)) - 0,01214, \text{ Unsicherheit } \pm 0,00005 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

Die Übertragung der Kalibrierung ermöglicht mit einem korrekt ausgemessenen Flüssigkeitsdichtemesskörper, ein maximales Sicherheitsniveau des Maßstabs zu erreichen.

**• Technik**

Einsatz der Prüfkörperaufnahme 'Aluschale [8.23.1]' (ID340). Diese wird mit 29,632g in der Messung untertauchendes Befestigungsmaterial mit der Dichte  $2,8561 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  bei  $25^\circ\text{C}$  - mit dem kubischen Ausdehnungskoeffizienten  $62 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  - berücksichtigt. In der angewandten Patentmethode, dem Meniskuseliminierverfahren, wurde der Aufhängungsquerschnitt mit  $0,0314 \text{ mm}^2$  angegeben. Über den Niveauunterschied von durchweg 9,49mm zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von  $0,30 \text{ mm}^3$  (~Mikroliter), um den der Volumenauftrieb korrigiert wird. Das Gewicht von Prüfkörper und Halterung (gesamt  $52,0334 \text{ g}$ ) wurde im Datenblatt angegeben.

**• Meldungen**

- Für die Messunsicherheit der Flüssigkeitsdichte wurde die Datenblattvorgabe angesetzt. (Die Angabe aus der Messung N°7197 und 7199 wäre  $0,00006 \text{ g/cm}^3$ ).
- Vorsicht! Die Flüssigkeitsdichte weist einen relativen Unterschied von 0,8% zur erwarteten Dichte auf. Dadurch kann der Ausdehnungskoeffizient beeinflusst sein und der Messfehler ist ggf. größer als angegeben.

**• Datenbankvergleiche**

1. Aluminium, gegossen <sup>2</sup>	2,56	0,1%	
2. Glas, Rasothermglas <sup>2</sup>	2,55	0,5%	
3. Glas, Normalglas 16 III <sup>1</sup>	2,58	0,6%	
4. Glas, Supremaxglas 56 <sup>1</sup>	2,59	1,0%	
5. Vivianit <sup>2</sup>	2,6	1,4%	SF weiss, nmG, MH 1-2
6. Kieserit <sup>2</sup>	2,6	1,4%	SF weiss, nmG, MH 3-4
7. Vivianit <sup>2</sup>	2,6	1,4%	SF blau, nmG, MH 2-4
8. Orthoklas, Mikroklin, Sanidin <sup>2</sup>	2,5	2,5%	SF weiss, nmG, MH 6-7
9. Adular <sup>2</sup>	2,5	2,5%	SF weiss, nmG, MH 5.5-6
10. Leucit <sup>2</sup>	2,5	2,5%	SF weiss, nmG, MH 5.5-6
11. Glas, Fenster <sup>2</sup>	2,48	3,2%	
12. Hydrargillit <sup>2</sup>	2,4	6,4%	SF weiss, nmG, MH 2-3

<sup>1</sup>: Für  $25,02^\circ\text{C}$  berechneter Referenzwert, <sup>2</sup>: Tabellierter Referenzwert.  
(Auswahl nur aus Referenzdaten, Stand 25.04.06)

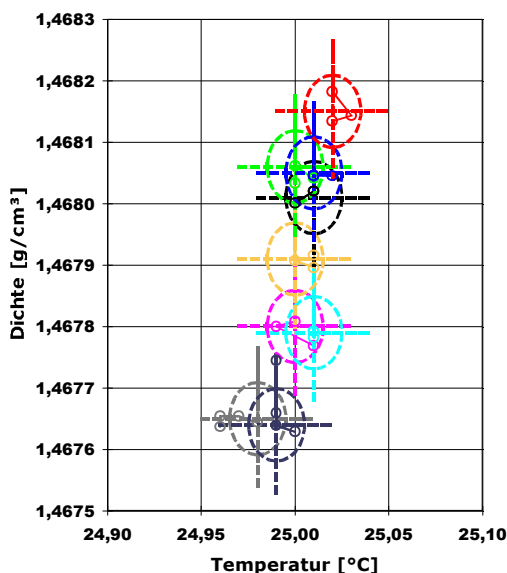
In diesem Bericht werden nicht alle verfügbaren Diagramme ausgegeben. Sie können die Ausgabe der Grafiken durch Aktivierung der entsprechenden "Checkboxes" (unter der Registerkarte "Optionen") bewirken.

**Nicht angezeigte Charts:** Mit Diagramm 3, "Dichte-Zeitverlauf", werden Messwerte in zeitlicher Form angezeigt. Bei isothermen Bedingungen und längeren Messzyklen können Verläufe beobachtet werden, die die Stabilität der Probe oder der Messbedingungen zur Anzeige bringen.

**Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeeinstellungen:** Datenbankvorschläge anzeigen, Detaillierte Ergebnisse, Allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, formatierte Tabellen, Berichtseinstellungen.

**Beschränkte Informationsausgabe durch negierte Optionen:** Erläuterungstexte, alternative Einheiten, Zusatzinformationen, Bearbeitungshinweise, Audit-Trail, Prüfmittelüberwachung, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, Authentifizierungen werden nicht angezeigt.

## Verifikation



**Diagramm:** Zur schnellen Überprüfung der Messflüssigkeit, wurden die im Verlauf der Kampagne erhaltenen Flüssigkeitsdichten durch eine Zusammenschau begutachtet<sup>6</sup>. Das Diagramm zeigt, da die Temperatur um ein paar Hundertstel Grad im Verlauf anstieg, die aufeinander folgenden Messergebnisse der Flüssigkeitsdichten schräg übereinander. Die Dichtezunahmen zeigen sich als geringfügig und stetig, obwohl in der Testreihe neben Sand auch Gipspulver, Honig, Gold, Salz, Zinngranulat gemessen wurden.

(Der für die Qualität der Messungen bedeutungslose Dichteanstieg kann verschieden erklärt werden: und zwar entweder durch einen Verlust eines weniger dichten Stabilisators oder einer anderen spezifisch leichteren, flüchtigen Verunreinigung, oder gar durch Aufkonzentration einer höherdichten Verunreinigung infolge der Verdunstung des Chloroforms (technischer Qualität). Wie auch immer – kein Sprung, kein Problem!)

Dichtemessen mit imeter heißt vereinfacht, aus Temperatur und Dichte der Flüssigkeit (Festkörperdichtemessung) / des Festkörpers (=Flüssigkeitsdichtemessung) die jeweils andere Größe zu erhalten. Wenn *alle drei* Größen

bekannt sind, ergibt die Messung einen exakten Zirkelschluss. Und was Sicherheit und Richtigkeit generell betrifft – auf imeter kann jede Komponente für sich geprüft werden: Die Wägezelle schlicht mit einem zusätzlichen, externen Justiergewicht (möglichst geeicht), das Thermometer in Eiswasser, der Messkörper am Justiergewicht, ... oder insgesamt, indem reines Wasser (oder eine andere als Referenzsubstanz taugliche Flüssigkeit) mit der Dichte- & Dilatationsmessung und mit einem Normkörper (Messkörper mit exakter Dichte) gemessen wird. Falls Komponenten nicht korrekt funktionieren, fällt dies per Bericht unmittelbar auf. Aufwand und Kosten zum Kalibrieren sind darum sehr gering, und eine Nullpunktsdrift des sensorischen Kerns, der Waage, wird frei jeden Aufwands, *automatisch* ausgeschlossen – zudem, Quarz-, Glas- oder Edelstahlkörper ändern ihre Masse oder Volumen nicht sehr schnell – zumindest nicht in menschlichen Zeitskalen. Verbrauchsmaterial gibt es nicht und Wartungskosten sind sehr gering.

---

Zurück zur Messung bzw. dem Bericht. Die Auswertung gibt die folgende erklärungsbedürftige Meldung aus<sup>7</sup>:

**„Vorsicht! Die Flüssigkeitsdichte weist einen relativen Unterschied von 0,8% zur erwarteten Dichte auf. Dadurch kann der Ausdehnungskoeffizient beeinflusst sein und der Messfehler ist ggf. größer als angegeben.“**

Dies ist so zu verstehen, die Auswertung prüft die zeitlich umliegenden Fluidichtemessungen. Stimmen Zeitrahmen und dass das Fluid namentlich in der Datenbank bekannt ist – und bei der aktuellen Messung *nichts* angegeben ist, (so unterstellt die Software, dass *hier die Dichtedaten einzusetzen sind*) wird das Fluid mit dem Sollwert verglichen. Dieser weicht hier ab, weil das technische  $\text{CHCl}_3$  nicht rein ist<sup>8</sup>, und das muss dem Anwender natürlich mitgeteilt werden. Genauso, dass eine Kalibrierungsübertragung eingesetzt wird. Auch darum der Bericht. Der Anwender muss Rückkopplung und Sicherheit darüber erhalten, ob es die Software auch so interpretiert, wie es gemeint ist. Jedenfalls, es macht doppelt nichts aus, dass die Dichte des Chloroforms abweicht (dies wurde separat geprüft). Der softwaretechnische Aufwand wurde veranstaltet, damit der Anwender nicht gezwungen ist, isotherm zu messen.<sup>9 10</sup>

<sup>6</sup>Das Vergleichsdiagramm erhält man auf Knopfdruck, indem die Messungen aus einem Browserfenster *zusammengedrückt* werden.

<sup>7</sup>Wir möchten uns bei den freien Mitdenkern im www herzlich bedanken, die uns durch hilfreiche Hinweise in die Lage versetzt haben, einige Schönheitsfehler der Berichtsausgaben und der logischen Aufbereitung zu korrigieren.

<sup>8</sup>normal sind 0.5 bis 1% Ethanol zur Stabilisierung gegen die Phosgenentwicklung enthalten.

<sup>9</sup>Wie kann die Auswertung sagen „Vor- und Nachbestimmt“? Im Jetzt der Messung wird nur der vorige Wert eingesetzt, klar. Sieht man später, nachdem wieder eine Flüssigkeit (gleichen Namens und im Zeitrahmen) gemessen wurde, diese Aufnahme an, dann prüft die Software das ab und mittelt bzw. interpoliert die beiden umliegenden Flüssigkeitsdichtewerte zum Maßstab dieser Messung.

<sup>10</sup>Allgemein sind Automatismen und Handhabungen entgegenkommend, einheitlich und rückkoppelnd. Gerade um auch die zahlreichen anderen imeter-Messtechniken einfach anwendbar zur Verfügung zu stellen. Der Anwender schmachtet nicht in der *Optionenhölle* oder wird mit zahllosen Einstellungen behelligt. Die Kommunikation ist implizit. D.h. die Präzision ergibt sich aus bekannt werdenden Daten; Mittelwerte, Temperatur- oder Zeitabhängigkeiten, Messfehler, ob zur Dilatation Aussagen möglich sind, welche Technik eingesetzt wurde – es ergibt sich.

Eine genaue Dichtemessung bedeutet für binäre Mischungen auch entsprechende Genauigkeit in einer Gehaltsbestimmung. Die Präzision wächst automatisch mit dem Probenvolumen und der Flüssigkeitsdichte. Hauptkomponenten bei 99% chromatographisch oder spektroskopisch direkt zu bestimmen, ist ziemlich kompliziert, erst recht bei Konglomeraten und organisch/anorganischen Gemengen. Die Präzision der *imeter*-Dichtemessung übertrifft die anderer Methoden in der Regel bei weitem. Wie in der Analytik allgemein, sind Grenzen durch außerhalb der Methode liegende Parameter gesetzt, die abzuklären sind.

Sand wurde gemessen. Die Datenbank bietet Glasarten und gegossenes Aluminium an. Das taugt natürlich nicht. Man weiß aber, Sand enthält oft Quarz (Dichte ca. 2.65g/cm<sup>3</sup>), das ist ein größerer Wert. Und Quarzglas wird mit 2.2g/cm<sup>3</sup> angegeben. Wenn es so wäre, dass man den Ostseesand als Mischung hauptsächlich aus SiO<sub>2</sub>-Arten (Quarz, Quarzglas – kristallin/amorph) ansehen könnte (*also wir wissen das nicht, und es ist ja auch nur ein Beispiel*), dann könnten wir uns das einmal überschlagsmäßig ausrechnen lassen. Also nutzen wir die Dichtemessung zu einer ihrer klassischen Anwendung, der Gehaltsbestimmung. Um *Quarzglas* in *Quarzsand* zu bestimmen, wird die Auswertemethode per *Dropdown* auf „Reinheit/Gehalt“ umgeschaltet und als Verunreinigung wird im Dialog „Glas, Quarz“ angegeben. ... Es kann der Bericht dann in den wesentlichen Teilen folgendermaßen aussehen:



## Feststoffdichte & Gehalt

Titel: **Ostseesand, Usedom, Ückeritz**  
 Bemerkung: normal lufttrockener Sand  
 Ergebnis:  $\rho^{25,02^\circ\text{C}} = 2,5633\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $c_{\text{Quarz}} = 83,46\% \text{ m/m}$   
 gemessen in Chloroform (Kalibrierungsübertragung)

## Bericht

### • Vergleichsanalyse zu Quarz

	Referenzwert	Messung	Abweichung absolut	relativ	Signifikanz
$\rho$	2,65	2,56	-0,09g·cm <sup>-3</sup>	3%	<b>300</b>

Referenz "Quarz", Bezugstemperatur = 25,02°C. Zum Datenvergleich wurde das genauere Messergebnis auf die Präzision der Referenzangabe um zwei Stellen gekappt. Die Datenbank liefert mit **Glas, Normalglas 16 III**, 2,58g·cm<sup>-3</sup>, einen ähnlichen, ggf. geeigneteren Wert, der Unterschied zum Messwert beträgt gleichwohl 0,02g·cm<sup>-3</sup>.

### • Gehalt

		% m/m	% v/v	absolut [g]
<b>Quarz</b>	:	<b>83,46</b>	<b>80,73</b>	18,7097
<b>Glas, Quarz</b>	:	<b>16,54</b>	<b>19,27</b>	3,7068

Quarz, ID2074.3:  $\rho_1 = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 2.65 - 3.577\text{E}-6 \cdot (\zeta - 20)$

Präzision: zwei gültige Dezimalen.

Ref.Anmerkungen: 'SF weiss, nmG, MH 6.5-7.5'.

Glas, Quarz, ID20215.1:  $\rho_2 = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 2.2 - 2.970\text{E}-6 \cdot (\zeta - 20)$

Präzision: eine Dezimale.

$\rho_{1/2}$  - Koeffizient: nicht gesetzt bzw. Angabe für ideales Verhalten der Mischungsdichte.

*Bei höheren Anteilen der Verunreinigung (Glas, Quarz) kann sich ein nicht ermittelter  $\rho_{1/2}$  - Koeffizient verstärkt auswirken! Die Referenzdaten von Glas, Quarz sind auf nur eine Nachkommastellen bestimmt. Die Korrektheit der Gehaltsangabe wird dadurch beeinträchtigt!*

...

Für den Fall, dass der Sand in der Tat aus reinem Quarz bestünde und die Verunreinigung der üblichen Feuchtigkeit zuzuordnen wäre, kann der Unterschied als Wasser ausgewiesen werden:



## Feststoffdichte & Gehalt

...  
 Ergebnis:  $\rho^{25,02^{\circ}\text{C}} = 2,5633\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $c_{\text{Quarz}} = 97,96\% \text{ m/m}$   
 ...

### • Gehalt

		% m/m	% v/v	absolut [g]
Quarz	:	97,96	94,75	21,9592
Wasser	:	2,04	5,25	0,4573

Die Gehaltsbestimmung basiert auf vorliegenden Datenbankeinträgen und der Angabe zum  $\rho_{1/2}$ -Koeffizient:

Quarz, ID2074.3:  $\rho_1 = f(\zeta[^{\circ}\text{C}]) = 2.65 - 3.577\text{E-}6 \cdot (\zeta - 20)$

Präzision: zwei gültige Dezimalen.

Ref.Anmerkungen: 'SF weiss, nmG, MH 6.5-7.5'.

Wasser, ID10136.3:

$\rho_2 = f(\zeta[^{\circ}\text{C}]) = (6.5592063\text{E-}05 \cdot \zeta^5 - 1.1225639\text{E-}02 \cdot \zeta^4 + 1.0026530 \cdot \zeta^3 - 90.968893 \cdot \zeta^2 + 679.48991 \cdot \zeta + 9998425.9) / 1\text{E}7$

Präzision: sechs gültige Dezimalen.

Ref.Anmerkungen: 'Regression aus CRC-Handbook, GÜLTIGKEIT: 0 bis 40°C'.

$\rho_{1/2}$  - Koeffizient: nicht gesetzt bzw. Angabe für ideales Verhalten der Mischungsdichte.

...

Die Anwendung kann interessant sein, wo Wertstoffe durch Lösemittel oder Wasser verdünnt sind und die Konzentration der Lieferung genau überprüft werden soll. Auch bei Stoffen die schwierig zu trocknen oder temperaturempfindlich sind, bietet sich dieses Vorgehen an.



*imeter intelligenter messen\*.*

**imeter**

*\*und oft auch genauer, schneller, einfacher und umweltfreundlicher.*

**imeter**

*intelligent, integriert,  
 automatisiert -  
 physikalische Messtechnik  
 verfeinert, kombiniert und  
 zusammengefasst -  
 ein besseres Messgerät für*

- ◆ Flüssigkeitsdichte
- ◆ Festkörperdichte
- ◆ Oberflächenspannung
- ◆ Viskosität
- ◆ Sedimentation
- ◆ Konsistenz u.A.

*Kreative Freiräume  
 einfache Handhabung  
 Überlegene Technik*



Weitere Beispiele zur Dichtemessung (Weblink):

[http://www.imeter.de/interim/6\\_DichteFK.htm#Beispiele](http://www.imeter.de/interim/6_DichteFK.htm#Beispiele)

Allgemeine Infos zum Thema Dichte & Messung (Weblink):

[http://www.imeter.de/interim/2\\_DichteFL\\_A.htm](http://www.imeter.de/interim/2_DichteFL_A.htm)

Übersicht zu **imeter** (PDF-Dokument):

<http://www.imeter.de/download/imeter-kompakt.pdf>

*Wir setzen imeter auch gerne für Messungen & Auftragsuntersuchungen ein. Warum probieren Sie es nicht einfach aus?*

©2006 imeter/MSB Breitwieser MessSysteme

Verantwortung: Michael Breitwieser,

Morellstrasse 6, D-86159 Augsburg

Tel. (+49)0821/706450, Fax 0821/7473489

<http://www.imeter.de>