

Feststoffdichte:

- Einfache Messung - Die Dichte einer EPS-Probe

In diesem Beispiel wird ein simpleres Verfahren nach Art der klassischen hydrostatischen Methode eingesetzt (ohne „Highlights“ wie Meniskus-eliminierverfahren oder alternierende Flüssigkeitsdichtebestimmung). Dazu wurde also zuerst die Kraft bestimmt, die auf die Aufhängung (=beschwerter Lastträger) in Kontakt mit dem Isopropanol in der Mess-Eintauchtiefe wirkt (0.3mg). Daran wurde der Probekörper aufgesteckt und in der assistierten Messung wurde das Gewicht an Luft und dann im der Flüssigkeit bestimmt.

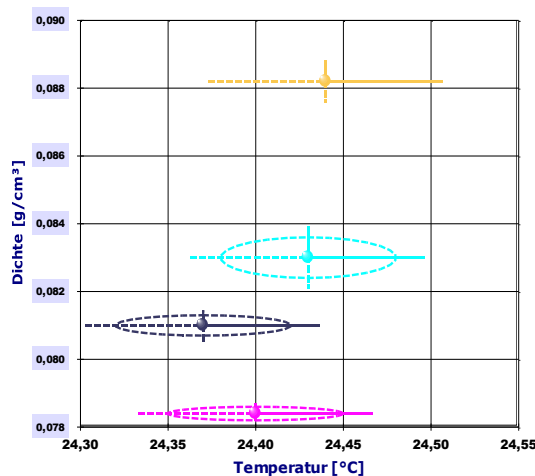


Diagramm: Vergleich verschiedener Messungen an härterem EPS, wobei die Proben von einem einzigen Formkörper stammten und an verschiedenen Stellen entnommen wurden. Sie zeigen, dass das Material inhomogen ist. Die Dichte ist in dieser Zusammenschau deutlich größer als im folgenden Bericht, da ein weiches EPS gemessen wurde.

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 (können bzw. müssen). Variabel sind nicht nur die Messdaten - sondern auch Umstände und Abläufe und die Eigenschaften der Normale. Dazu passend verfügt **IMETER** einerseits über eine Modelliersprache, 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 sehr viel kostbare Arbeitszeit, indem nicht nur das Messen/Steuern/Regeln sondern auch die beurteilungsreife Darstellung automatisiert ist.

Die Formatierungsvorgaben des Berichts bestimmen Art und Umfang der Informationsdarstellung. - Anhand eines vollständigen Berichts wird der Anwender (der Kunde oder wir) in die Lage versetzt, Plausibilität und Validität einer Messung detailliert zu überprüfen.

Der Prüfbericht auf den folgenden Seiten enthält also Elemente, wie automatische Erläuterungen, auf deren Ausgabe man in der Routine natürlich verzichtet (und die leider wortreich den Fluss der Informationen bzw. das Layout beeinträchtigen).

imeter/MSB, Augsburg am 24.04.06

Feststoffdichte

Titel: blaues Styropor

Bemerkung:

hellblau massegefärbtes EPS (Blockschaum) auf eine Stahlnadel gesteckt. Der Auftrieb der Nadel wurde im Tauchniveau der Messung (anhand der Marke) zuvor zu +0.3mg ermittelt.

Ergebnis: $\rho_{23,37^{\circ}\text{C}} = 0,0416 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
gemessen in 2-Propanol

Bericht

Kommentar: < Einfache Messung an geschäumtem Polystyrol (EPS). Es wurde Isopropanol wegen der besseren Benetzung verwendet - ggf. ist eine höher viskose Flüssigkeit geeigneter, um etwa das Eindringen des Fluids in die Poren der Probe zu vermeiden (-> vgl. Gleichgewichtsmessdauer). - Das EPS kann zu verschiedenen Dichten aufgeschäumt werden. Materialfestigkeiten werden bei EPS oft aus der Dichte abgeleitet. Beachtlich ist, dass sich bei der Dichte von 0.04g/ml bereits eine Abweichung von Masse und Wägewert von 3% ergibt. > **Kommentar**

Per "Kommentar" können Dokumentationen frei mit beschreibenden Texten versehen werden. Hier eingebrachte Eingaben oder Änderungen werden nicht über das "Audit-Log" verwaltet. (Falls eine z.B. rechtlich wichtige Bemerkung mit Zeit und Name - quasi notariell - festgehalten werden soll, dann sollte diese über das 'Bemerkungsfeld' im Datenblatt eingetragen werden.)

Hinweis: Die Aktivierung der Option "ERLÄUTERUNGSTEXTE", die für diese Berichtsausgabe eingestellt ist, bewirkt, dass der Bericht selbst und erklärungsbedürftige Elemente darin mit Erläuterungen versehen werden, Bearbeitungshinweise für den Anwender werden zusätzlich ausgegeben, außerdem wird auf ggf. unterdrückte Informationen hingewiesen. Die zugehörigen Erklärungen sind formatiert wie dieser Text.

Zum angewandten Messprinzip: Die hydrostatische Methode beruht darauf, dass ein Körper, der in einer Flüssigkeit untergetaucht wird, um genau den Betrag leichter erscheint, der seinem Volumenäquivalent als 'Flüssigkeitsgewicht' entspricht. Über die Dichte der Flüssigkeit, die für die Auftriebskraft verantwortlich ist, wird so das Volumen des Körpers bestimmt. Die Masse wird aus der Wägung ermittelt und das Verhältnis von Masse und Volumen ergibt die Dichte.

In folgender Zusammenstellung werden die Ergebniswerte der Messung präsentiert. Die den Zahlenwerten beigeordnete Messunsicherheit ist ohne Erweiterungsfaktor ($k=1$) als Absolutwert und als relative Unsicherheit gegeben. Die Unsicherheit der Ergebnisse wird aus den Angaben über die Dichte des Messfluids, der Unsicherheit der Fluidichte, der Messunsicherheit der Kraft(und Temperatur-)messung sowie dem ermittelten Ergebnis (Masse und Volumen der Probe) - auch im Hinblick auf angebbare Präzision - berechnet (Gauss).

• Ermittelte Probendaten

Dichte	$\rho = 0,0416$	$\pm 0,0002$	g/cm³	4‰
Volumen	V = 3,933	$\pm 0,003$	cm³	0,7‰
Masse	m = 0,1636	$\pm 0,0005$	g	3‰
Wägewert	W = 0,1589	$\pm 0,0005$	g	
- alternative Größen, nicht SI-Einheiten -				
Gewicht	G = 1,558	mN	0,1589p	
Wichte	$\gamma = 0,0416$	p/cm³	0,40797mN/cm³	
spez. Volumen	v_s = 24,04	cm³/g		

In die Berechnungen fließen ein, die Angabe zur Luftdichte $\rho_{\text{Luft}}=1,2\text{kg/m}^3$, zur Fallbeschleunigung $g=9,80769\text{m/s}^2$ sowie zur Temperatur $T=23,51^\circ\text{C}$. Die Temperaturangabe ist über die Wirkung auf die Dichte des Messfluids, '2-Propanol', für die Ergebnisberechnung von doppelter Wichtigkeit. Mit 'Wägewert' wird der Wert angegeben, den eine Waage zeigt, die mit einem Massestück von $8,000\text{g/cm}^3$ justiert ist. Der Unterschied von Wägewert und Masse wird mit der Luftdichte umso größer, je mehr die Dichte des Justiergewichts der Waage von der Probendichte abweicht. Das 'Gewicht' wird als wirkende Gewichtskraft, korrigiert um den Luftauftrieb des Volumens angegeben ($G = m \cdot g - V \cdot \rho \cdot g$). Im Angabewert 'Wichte' (spezifisches Gewicht) geht über die Gewichtskraft die lokale Erdanziehung ein; der Wert ist berechnet nach $\gamma = \rho \cdot g / 9,80665$ ('Pond': $1\text{p} = 9,80665\text{mN}$). Die Relative Dichte (Dichtezahl) bezogen auf Wasser (ρ_4^{24}) ist zahlengleich mit dem ausgewiesenen Dichtewert. Das spezifische Volumen ist die reziproke Dichte ('wieviel mL davon ergeben ein Gramm'). Die Dimensionen cm^3 und mL sind im Rahmen der Genauigkeit der Messung in der alten Liter-Definition äquivalent. Die Masse der Probe ist um $4,7\text{mg}$ größer als der Wägewert; materialbezogen beträgt der Unterschied 3%.

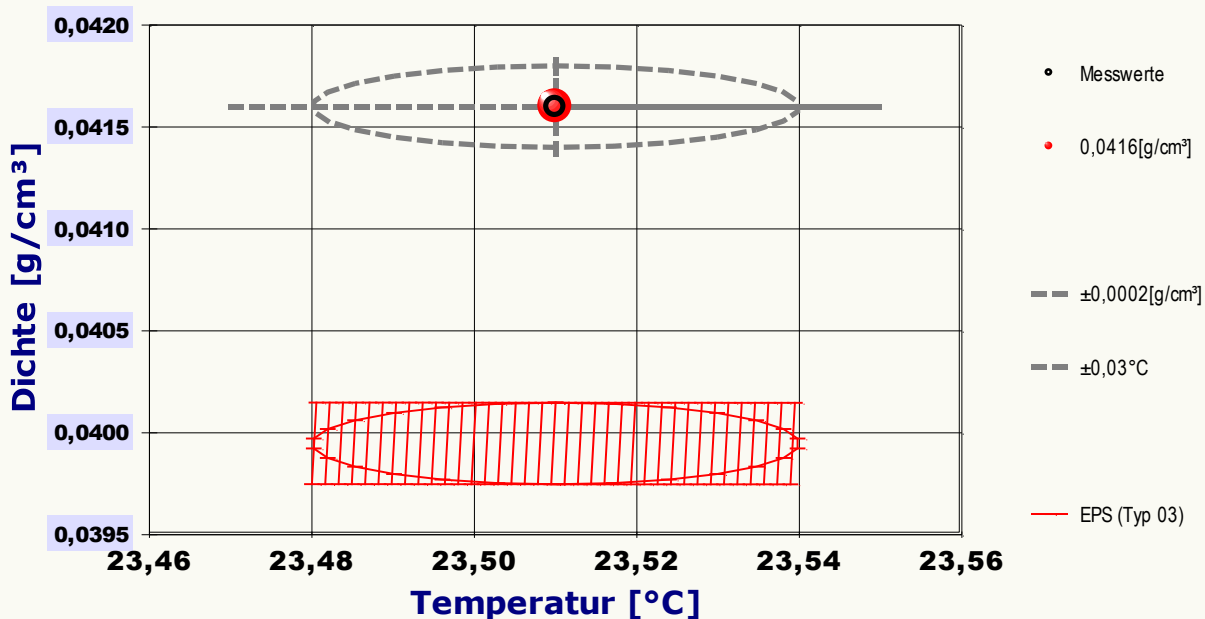
Für das Ergebnis wurde lediglich ein Dichtemesswert akquiriert.

Der Ergebniswert stammt aus einer Einzelmessung. -- BEARBEITUNGSHINWEIS: Das Resultat wird wesentlich sicherer - im Hinblick auf klassische Fehler, wie 'Luftblasen', wenn mindestens drei Werte gemessen würden, da so eine typische Streuung erkennbar wird (die 'Wahrheit' ist beim Mittelwert).

• ein Dichtemesswert

gesamte Dauer 4,5 Minuten. Der Temperaturverlauf ist im gesamten Zeitraum: einigermaßen isotherm bei $23,51^\circ\text{C}$.

Diagramm Temperaturabhängigkeit'



Das Diagramm, "Temperaturabhängigkeit", oben, zeigt den Messwert als Kreissymbole in Temperaturabhängigkeit an. Es wird der Messwert bzw. der Angabewert mit einem Bereich der Unsicherheit in Form einer gestrichelten Linie eingefasst. Je nach Vorhandensein wird der Verlauf der Regressionsfunktion zu den Messwerten gezeigt, entsprechende Referenzwerte bzw. der Stoff mit der besten Übereinstimmung.

Daten zum Ergebnis:

Zeit	T	ρ_{Fl}	ρ_{Probe}	V_{Probe}	$\Delta t_{Akqu.}$	ΔT	$\Delta \rho_{Probe}$	N
2,6	23,51	0,7824	0,04160	3,9329	114,0	0,02	4,7E-5	12

Von links nach rechts: **Zeit** gibt den Zeitpunkt des Messwertes ab Beginn des Ablaufs in Minuten an, **T** die Temperatur in Celsiusgraden und ρ_{Fl} die zugehörige Dichte von "2-Propanol" in g/cm³, die den Massstab der Messung darstellt. Die dazu ermittelte Probendichte ρ_{Probe} , ist ebenfalls in der Einheit g/cm³ gegeben. **V** ist das Volumen der Probe bei der Temperatur in cm³, die aus dem Auftrieb gemäß der Flüssigkeitsdichte berechnet ist. Die Auftriebskraft kann sich durch verschiedene Effekte verändern, insbesondere durch Temperaturangleichung (Konvektion, Volumen Anpassung) oder Quellung, Auflösung. Die Verfolgung - als Stabilitätskriterium des Messwertes - wird über die Zeitdauer $\Delta t_{Akqu.}$, die in Sekunden angegeben ist. Im selben Zeitraum kann sich die Temperatur ändern (Angabe ΔT in Temperaturgraden) und auch die Dichte der Probe $\Delta \rho_{Probe}$ (wobei die evtl. vorliegende Änderung der Flüssigkeitsdichte hier nicht ausgegeben wird). Temperatur, Dichte und Volumenangaben der ersten Spalten stellen jeweils die Werte am Ende der 'Beobachtungsdauer' dar. **N** gibt die Anzahl der aufgenommenen Messwerte zur Auftriebskraft an. Dichte und Volumen werden um eine Dezimale genauer ausgegeben, um Trends anzuzeigen. Die Δ -Angaben zu Temperatur, Dichte über die registrierte Beobachtungsdauer $\Delta t_{Akqu.}$ helfen eventuelle Störungen beim Messablauf zu finden. Ein rel. großer Zeitraum ist bei einem Gleichgewichtsverfahren der Auftriebsbestimmung ein Hinweis auf Probleme, z.B. Wandkontakt, Quellung, Auflösung oder Wärmeaustauscheffekte und kann im anderen Fall die Stabilität der Wägung anzeigen. **BEARBEITUNGSHINWEIS:** Die Tabelle kann per "Paste und Copy" sehr einfach z.B. nach Excel transferiert um ggf. dort weiterbearbeitet zu werden. Ebenso, die Daten, die in ungekürzter Präzision hinter den Diagrammen stehen, sie können aus dem Diagrammfenster geordnet und als Zahlenwerte (und/oder als Bild) einfügbar in die Zwischenablage übernommen werden.

• Auswertungshinweise

Messflüssigkeit '2-Propanol', Temperatur/Dichte-Daten wurden aus der Referenzdatenbank entnommen. Die Unsicherheit des Zahlenwertes der Flüssigkeitsdichte wurde individuell zur Messung angegeben. Die Flüssigkeitsdichte, ρ_{Fl} , wurde demnach gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur Temperatur berechnet:

$$\rho_{Fl} = f(\zeta^{\circ}C) = -1.133642E-06 \cdot \zeta^2 - 7.955341E-04 \cdot \zeta + 0.8016984, \text{ Unsicherheit } \pm 0,0005g \cdot cm^{-3}.$$

• Technik

Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Die Probe wurde ohne weitere Hilfsmittel an der Aufhängung befestigt. Die im Datenblatt angegebene Korrektur für die Aufhängung (Meniskusgewicht + Auftrieb) beträgt 0,3mg.

Es wird eine Anzahl verschiedener Prüfkörperbefestigungen und Arbeitsmodi sowie Kombinationen daraus zur Messung angeboten. Aus diesem Grund ist die Angabe zur Rückkopplung über die eingesetzte Technik notwendig.

Die Tabelle unten zeigt die besten Hits in der Datenbank und deren prozentuale Abweichung zum Dichtemesswert. Einige der Referenzeinträge sind mit Zusatzinformationen versehen. Bei Mineralien werden oft die Mohs-Härte 'MH', Strichfarbe 'SF', metallischer/nichtmetallischer Glanz 'mG/nmG' u.a. Angaben ausgegeben. Es steht Ihnen frei die Referenzdaten entsprechend zu erweitern oder zu verändern, sodass Zusatzinformationen hier ausgegeben werden.

• Datenbankvergleiche

1. EPS (Typ 03) ¹	0,04	4,0%
2. Styropor ¹	0,05	20,0%

¹: Für 23,51°C berechneter Referenzwert.
(Auswahl nur aus Referenzdaten, Stand 24.04.06)

Die Liste wird in fallender Reihenfolge der Übereinstimmung aus den besten Treffern in den Einträgen der Referenzdatenbank generiert. Die Vergleichsdaten werden in der Präzision der jeweiligen Eintragsangabe formatiert und die relative Abweichung zum Angabewert der Messung angegeben. **BEARBEITUNGSHINWEIS:** Die Herkunft bzw. Richtigkeit der jeweiligen Referenzdaten sowie ggf. Zusatzinformationen kann über den Vermerk zur Substanz in der Referenzdatenbank geprüft werden.

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: Das Diagramm 1 "Temperaturverlauf und Ereignisse" zeigt eine Übersicht zum Verlauf der Messung, insbesondere auch, die Temperaturentwicklung und Ereignisse bei der Messung.

Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeeinstellungen: Datenbankvorschläge anzeigen, Erläuterungstexte, Detaillierte Ergebnisse, Allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, alternative Einheiten, Zusatzinformationen, Bearbeitungshinweise, formatierte Tabellen, Berichtseinstellungen.

Beschränkte Informationsausgabe durch negierte Optionen: Audit-Trail, Prüfmittelüberwachung, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, Authentifizierungen werden nicht angezeigt.

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 (Falsifizierbarkeit). Vollständigkeit ist Voraussetzung für die Kontrollierbarkeit und Haltbarkeit der Resultate und abgeleiteter Aussagen. Nicht zuletzt erfordern einschlägige Bestimmungen (GxP, FDA cfr. 11/21 etc.) zusammen mit schlicht zeitökonomischen Erwägungen diesen hiermit großteils erledigten Aufwand. [Prüfberichte, wie dieser, werden dynamisch aus den Daten erzeugt und benötigen daher sehr wenig Speicherplatz in der Datenbank]. Gleichwohl, bei Routinemessungen und/oder für die evtl. parallel noch papieren geführte Ablage, können Prüfberichte durch entsprechende Einstellungen der Formatier- und Ausgabeoptionen und durch manuelle Veränderung der Vorlage auf das Wesentliche eingekürzt und ausgedruckt werden. Das ganze 'File' inklusive der "Grund-Rohdaten" ist stets über die ID (hier Nummer 208, Datenbank imeter-Beispiele) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. nachfolgende ausgegebene Informationen enthalten, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'standard-i2'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.



„Der automatische Bericht zeigt eine Datenlage und interpretiert diese. Die „Datenlage“ ist die Folge dessen, was in einer Messung getan wurde bzw. wird und wie die Probe und Umstände interagieren. – Die Messung ist ein Vorgang dessen Ablauf und Randbedingungen in einem Skript formuliert sind. Mehr als zu wissen, was man erzielen will, braucht man kaum. Man entwerfe Regeln und sehe, wie die Materie reagiert! Die Sprache und die Techniken stehen bereit für genaueste, rückführbare, wohldokumentierte und wiederholbare Eigenschaftserfahrungen. -- Diagramme und auch der Bericht entstehen während der Messung in Echtzeit.

Ohne weiteres können die Messdaten per Dropdown und Angabe des Namens einer Verunreinigung (und Benennung als Polystyrol) in eine *Gehaltsbestimmung* verwandelt werden:



imeter/MSB, Augsburg am 24.04.06

Feststoffdichte & Gehalt

Titel: blaues Styropor

Bemerkung:

hellblau massegefärbtes EPS (Blockschaum) auf eine Stahlnadel gesteckt. Der Auftrieb der Nadel wurde im Tauchniveau der Messung (anhand der Marke) zuvor zu +0.3mg ermittelt.

Ergebnis: $\rho^{23,51^{\circ}\text{C}} = 0,0416\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $\text{C}_{\text{Polystyrol PS}} = 97,22\% \text{ m/m}$
gemessen in 2-Propanol

Bericht

...

• Vergleichsanalyse zu *Polystyrol PS*

	Referenzwert	Messung	Abweichung absolut	relativ	Signifikanz
ρ	1,10	0,04	-1,06g·cm ⁻³	100%	5300

Referenz "Polystyrol PS", Bezugstemperatur = 23,51°C. Zum Datenvergleich wurde das genauere Messergebnis auf die Präzision der Referenzangabe um zwei Stellen gekappt. Die Datenbank liefert mit *EPS (Typ 03)*, 0,04g·cm⁻³, einen ähnlichen, ggf. geeigneteren Wert.

Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'POLYSTYROL PS' gefunden werden, stellt die Werteübereinstimmung unabhängig von der Temperatur dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenwert Minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol ρ steht für die Messgröße; mit "Signifikanz" wird ausgedrückt, um wieviele Male die Messunsicherheit größer ist, als der Unterschied von Mess- und Referenzwert.

• **Gehalt**

		% %/m	% %/v	absolut [g]
Polystyrol PS	:	97,22	3,68	0,1591
Luft	:	2,78	96,32	0,0045

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

Polystyrol PS, ID20251.3: $\rho_1 = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 1.10 - 2.31\text{E-}4 \cdot (\zeta - 20)$

Präzision: zwei gültige Dezimalen.

Ref.Anmerkungen: 'Dichteangaben 1.05 bis 1.2, lin.Ausd.Koeff zw. 60-80 [1].

Luft, ID101250.5: $\rho_2 = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 0,0012$

Präzision: vier gültige Dezimalen.

Ref.Anmerkungen: 'Proforma-Eintrag als Konstante (Luftdichte bei p°, T°)'

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

Die Berechnung der Reinheit bzw. des Gehalts beruht auf der Beziehung: $\rho_{\text{Ges}} = (m_1 + m_2) / (m_1/\rho_1 + m_2/\rho_2)$. Dabei ist ρ_{Ges} der hier gemessene Dichtewert, dessen Verhältnis in der Summe der Massen ($m_1 + m_2$) und der Volumen ($V = m/\rho$) analysiert wird. Der $\rho_{1/2}$ - Koeffizient, der von "1" normalerweise nicht sehr verschieden ist und aus ermittelten Dichtewerten der Komponentenmischung dargestellt wird, ist der Zahlenwert, der mit ρ_1 multipliziert wird und Schwund (<1) oder Expansion (>1) durch die Wirkung der Mischung auf die Gesamtdichte ausdrückt. Der Wert '1', wie angegeben, ist für Konglomerate, Lunker, ideale Legierungen annehmbar sowie in der Regel bei geringfügigen Beimengungen. Bei höheren Anteilen der Verunreinigung (Luft) kann sich ein nicht ermittelter $\rho_{1/2}$ - Koeffizient verstärkt auswirken!

Es kommt auf die Qualität der Referenzdaten an ... (und darauf, dass man ggf. Wechselwirkungsparameter bestimmt hat).

- Man kann das Ergebnis auch für Polystyrol als Verunreinigung in EPS berechnen lassen:

• **Gehalt**

		% %/m	% %/v	absolut [g]
EPS (Typ 03)	:	96,01	99,85	0,1571
Polystyrol PS	:	3,99	0,15	0,0065



Messtechnik - nachhaltig zusammengefasst
- und trotzdem ein besseres Messgerät für

- ◆ Feststoff- und Flüssigkeitsdichte
- ◆ Grenz- und Oberflächenspannung
- ◆ Viskosität, Konsistenz, Textur
- ◆ Härte, Festigkeit, u.v.a.
- ◆ spezifische Automationen

Kreative Freiräume
einfache Handhabung
Beste Technik

©2011 IMETER/MSB Breitwieser MessSysteme

Verantwortung: Michael Breitwieser,

Morellstrasse 4, D-86159 Augsburg

Tel. (+49/0)821/706450, Fax (0)821/7473489

www.imeter.de

Wir setzen IMETER auch für Dienstleistungen ein:

www.imeter.de/adienstleistungen.html

Probieren Sie es einfach aus!